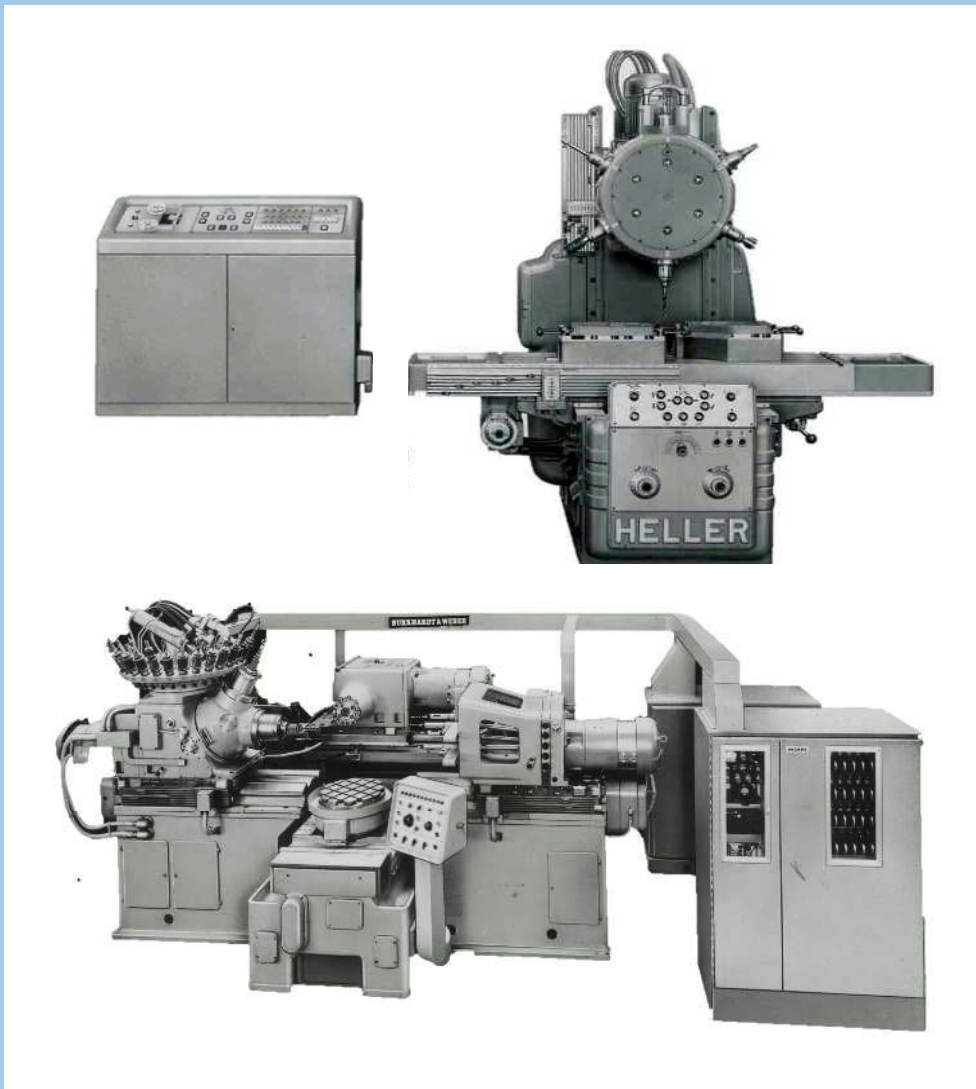


Thomas Wissert

Einführung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1950 und 1980 unter besonderer Berücksichtigung von Baden-Württemberg



Stuttgarter Beiträge zur Wissenschafts-
und Technikgeschichte

Band 18

Stuttgarter Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte

Band 18

Herausgegeben von

Prof. Dr. Klaus Hentschel

(Leiter der Abt. f. Geschichte der Naturwissenschaften und Technik)

und

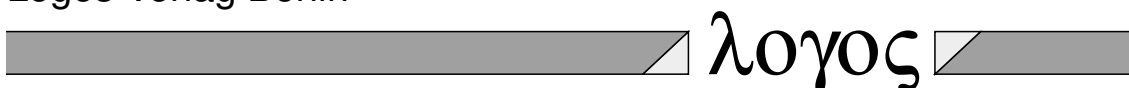
Prof. Dr. Reinhold Bauer

(Leiter der Abt. f. Wirkungsgeschichte der Technik, Universität Stuttgart)

Thomas Wissert

**Einführung der numerisch
gesteuerten Werkzeugmaschinen in der
Bundesrepublik Deutschland zwischen
1950 und 1980 unter besonderer
Berücksichtigung von Baden-Württemberg**

Logos Verlag Berlin



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bilder Umschlag:

Oben: NC-Revolverbohrmaschine SBR 32 der Gebr. Heller GmbH in Nürtingen

Unten: NC-Bearbeitungszentrum MT 3 der Burkhardt & Weber GmbH in Reutlingen

Beide NC-Maschinen wurden 1959 auf der 6. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Paris ausgestellt. Sie waren die ersten aus Baden-Württemberg.

© Copyright Logos Verlag Berlin GmbH 2023

Alle Rechte vorbehalten.



D93

ISBN 978-3-8325-5473-6

ISSN 2199-403X

Logos Verlag Berlin GmbH
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10,
12681 Berlin

Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90

Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92

<http://www.logos-verlag.de>

Zusammenfassung

Thema dieser Arbeit ist die Einführung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen (NC-Maschinen) in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1950 und 1980. Der Schwerpunkt liegt auf Baden-Württemberg, da dieses Bundesland den größten Anteil an der westdeutschen Werkzeugmaschinenproduktion hat. Es wird beantwortet, warum in der Bundesrepublik anfangs nur wenige Werkzeugmaschinenhersteller NC-Maschinen anboten, warum nur wenige Unternehmen NC-Maschinen beschafften, sich andererseits aber trotz dieser Anlaufschwierigkeiten ab Ende der 1970er Jahre die NC-Maschinen zum wichtigsten Produktionsmittel in der metallverarbeitenden Industrie entwickelten. Die Untersuchung wurde auf den Zeitraum zwischen 1950 und 1980 beschränkt, weil die grundlegende Entwicklung der NC-Technik um 1980 weitgehend abgeschlossen war.

Zur Beantwortung der obigen Fragen wird zuerst auf die Erfindung der numerischen Steuerungstechnik Ende der 1940er Jahre in den USA eingegangen. Sie wurde dort von John T. Parsons entwickelt, um die Fertigung von komplexen Werkstücken für die Flugzeugindustrie zu vereinfachen. Unter den Bedingungen des Kalten Krieges wurde sie mit Unterstützung der US Air Force trotz der noch unzulänglichen Rechnertechnik bis zur Industriereife vorangetrieben. Erst in den 1960er Jahren trat mit sinkenden Kosten die zivile Nutzung stärker in den Vordergrund.

In den nächsten Kapiteln wird die Entwicklung der NC-Technik in Westdeutschland analysiert. Wegen des Wiederaufbaus nach dem Zweiten Weltkrieg und einer hohen Fertigungsauslastung hatten in den 1950er Jahren nur wenige Werkzeugmaschinenhersteller Interesse an der NC-Technik, so dass zunächst ein technischer Rückstand zu den USA entstand. Diesen konnte die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie zunächst ab etwa 1960 abbauen und dann seit 1983 die US-Werkzeugmaschinenindustrie im Umsatz dauerhaft überholen. Die Arbeit untersucht, welche Faktoren dafür ausschlaggebend waren. Dabei ergab sich, dass neben der traditionellen maschinenbaulichen Kompetenz das produktionstechnische Innovationssystem eine entscheidende Rolle spielte. In ihm arbeiteten Werkzeugmaschinen- und Steuerungshersteller, Hochschulen, Verbände und die staatliche Forschungsförderung mit dem Ergebnis zusammen, dass die westdeutschen NC-Maschinen sich durch einen hohen Kundennutzen auszeichneten. Ein wichtiges Detail dabei war, dass einige westdeutsche Werkzeugmaschinenhersteller mit dem Aufkommen der CNC-Maschinen (NC-Maschinen mit Steuerungen auf Mikroprozessorbasis) schon in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre auf die Programmierung von CNC-Maschinen in der Werkstatt setzten, was die Nutzung der neuen CNC-Technik auch für kleine Dreh- und Fräsmaschinen wirtschaftlich machte.

In einem weiteren Kapitel wird am Beispiel von fünf baden-württembergischen Werkzeugmaschinenherstellern untersucht, warum diese vergleichsweise früh NC-Maschi-

nen entwickelten, was ihre Erfolgsfaktoren waren und mit welchen Argumenten sie ihre NC-Maschinen verkauften. Anschließend wird am Beispiel der Endanwender Daimler-Benz AG, Heidelberger Druckmaschinen AG und Gutehoffnungshütte AG die Frage beantwortet, wie diese die NC-Maschinen nach und nach in die Fertigung integrierten und mit welchen Herausforderungen sie dabei konfrontiert waren. Dabei wird auch darauf eingegangen, warum die Heidelberger Druckmaschinen AG im Untersuchungszeitraum am konsequentesten NC-Maschinen einsetzte und wie das die Entwicklung der NC-Maschinen beeinflusste. In Reaktion auf die vergleichsweise schlechte Überlieferung zur Einführung und Entwicklung von NC-Maschinen wurden im Rahmen der Arbeit zahlreiche Experteninterviews mit Zeitzeugen geführt, um die schriftlichen Quellen zu ergänzen.

NC-Maschinen müssen in anderer Weise als konventionelle Werkzeugmaschinen bedient und in die Fertigung integriert werden. Die Arbeit setzt sich daher in weiteren Kapiteln mit der Frage auseinander, wie die Unternehmen mit den damit verbundenen organisatorischen und personellen Veränderungen umgingen, d.h. wie die Beschäftigten auf den Einsatz der NC-Maschinen vorbereitet und geschult wurden und welche Auswirkungen die NC-Maschinen auf die Fertigungsstruktur hatten. In diesen Zusammenhang gehört auch die Frage, welche Schlussfolgerungen die Gewerkschaft IG Metall aus dem technischen Wandel durch NC-Maschinen für ihre Mitglieder zog und welche Auswirkungen sich daraus auf die Tarifverhandlungen und die Verhandlungsstrategie der IG-Metall-Betriebsräte in den Unternehmen ergaben.

Abgeschlossen wird die Arbeit mit einem kurzen Überblick über technische Weiterentwicklungen nach dem Untersuchungszeitraum. Ergänzt wird der Überblick noch um Beispiele aus anderen Technologien, die Elemente der NC-Technik, insbesondere die Positioniertechnik, übernahmen.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die NC-Technik die Fertigungs- und Automatisierungstechnik stark veränderte und in zahlreiche andere Technologien hineinwirkte. Wichtige Entwicklungsbeiträge dazu entstanden in Westdeutschland innerhalb des produktionstechnischen Innovationssystems. Es war von zentraler Bedeutung dafür, dass sich die vorhandene hohe maschinenbauliche Kompetenz trotz anfänglichen Zögerns der Werkzeugmaschinenhersteller in Richtung NC-Maschinen weiterentwickelte und bis heute besteht.

Abstract

This work describes the introduction of numerically controlled machine tools (NC machines) in the Federal Republic of Germany between 1950 and 1980. The main focus is on Baden-Württemberg, as this federal state has the largest share of West German machine tool production. The following questions are answered: Why initially in the Federal Republic only a few machine tool manufacturers offered NC machines, why only a few companies procured NC machines, but also why despite these early struggles from the late 1970s NC machines developed into the most important means of production in the metalworking industry. The investigation was limited to the period between 1950 and 1980 because the fundamental development of NC technology was largely completed around 1980.

To answer the above questions, the invention of numerical control technology in the USA at the end of the 1940s will be discussed first. It was developed by John T. Parsons to simplify the manufacturing of complex workpieces for the aircraft industry. During the Cold War, industrial maturity was achieved with the support of the US Air Force, despite the still inadequate computer technology. It was not until the 1960s that civil use came to the fore with decreasing costs.

In the next chapters, the development of NC technology in West Germany is analyzed. Due to the reconstruction after the Second World War and a high production capacity, only a few machine tool manufacturers were interested in NC technology in the 1950s, such that there was initially a technical deficit compared to the USA. The West German machine tool industry was able to reduce this starting around 1960, and since 1983 it has permanently overtaken the US machine tool industry in terms of sales. This work examines which factors were decisive for this achievement. It turned out that in addition to the traditional mechanical engineering competence, the innovation system of the production technology played a decisive role. Machine tool and control manufacturers, universities, associations and state research funding all contributed, with the result that the West German NC machines were characterized by a high level of customer benefit. An important detail was that with the advent of CNC machines (NC machines with microprocessor-based controls), some West German machine tool manufacturers were already focusing on programming CNC machines in the workshop in the second half of the 1970s, which made the use of the new CNC technology also economical for small lathes and milling machines.

A subsequent chapter investigates five machine tool manufacturers in Baden-Württemberg as examples to examine why they developed NC machines relatively early, what their success factors were and what arguments they used to sell their NC machines. Then, using the example of the end users Daimler-Benz AG, Heidelberger

Druckmaschinen AG and Gutehoffnungshütte AG, the question will be answered as to how they gradually integrated the NC machines into production and what challenges they were confronted with. It will also be explained why Heidelberger Druckmaschinen AG used NC machines most consistently during the period under study and how this influenced the development of NC machines. In response to the comparatively poor state of written records of the introduction and development of NC machines, numerous expert interviews with contemporary witnesses were conducted in order to supplement the written sources.

NC machines have to be operated and integrated into production in a different way than conventional machine tools. In further chapters, the work therefore deals with the question of how companies dealt with the associated organizational and personnel changes, i.e., how the employees were prepared and trained for the use of the NC machines and what effects the NC machines had on the manufacturing structure. In this context, there is also the question of what conclusions the IG Metall trade union drew from the technical change caused by NC machines for its members and what effects this had on collective bargaining and the negotiation strategy of the works councils in the companies.

The work is concluded with a brief overview of technical developments after the period investigated. The overview is supplemented by examples from other technologies that have adopted elements of NC technology, in particular positioning technology.

In conclusion, it can be stated that NC technology changed production and automation technology significantly and had an impact on numerous other technologies. Important contributions to development were made in West Germany within the innovation system of production technology. This system was of central importance for the further development of the existing high mechanical engineering competence in the direction of NC machines and for the fact that it still exists today, despite the initial hesitation of the machine tool manufacturers.

Vorwort

Die Arbeit entstand zwischen 2013 und Anfang 2022 und wurde an der Philosophisch-Historischen Fakultät der Universität Stuttgart im Februar 2022 als Dissertation eingereicht.

Der Gedanke, eine Arbeit über die Anfänge der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland zu schreiben, entstand während meiner letzten Berufsjahre.

Im Rahmen meiner beruflichen Tätigkeit beschäftigte ich mich überwiegend mit der Automatisierung von Werkzeugmaschinen. Rückblickend stellte ich fest, dass zu Beginn meiner beruflichen Tätigkeit (ab Mitte 1978) alle grundlegenden Entwicklungen der numerischen Steuerungen abgeschlossen waren, die Anfänge und die Entwicklung des Zeitraums 1950 bis 1980 aber nur lückenhaft als Gesamtbild dokumentiert sind. Daraus entstand die Idee, die Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland, insbesondere aber in Baden-Württemberg aufzuarbeiten.

Danken möchte ich insbesondere meinem Doktorvater Prof. Dr. Reinhold Bauer, der mir bei der Konzeption der Arbeit und der Definition der Schwerpunkte wertvolle Hilfestellung leistete ohne mich bei der eigentlichen Arbeit einzuengen. Die damit verbundenen begleitenden Gespräche haben entscheidend zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Ebenfalls danken möchte ich Prof. Dr. Boris Gehlen als Mitberichter, der mich ebenso mit seinem Rat unterstützte.

Sehr wertvoll für meine Arbeit waren die zahlreichen Interview- und Gesprächspartner, die mir über Ihre Erfahrungen und Erlebnisse aus der Anfangsphase der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen berichteten und ohne deren Beiträge die Arbeit große Lücken aufweisen würde. Sehr positiv empfand ich die Bereitschaft, ohne Vorbehalte in die Gespräche hineinzugehen und dadurch meine Arbeit zu unterstützen.

Danken möchte ich auch den vielen ungenannten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von Archiven, Bibliotheken, Instituten und Unternehmen, die mich bei der Suche nach passenden Quellen unterstützt haben. Von Ihnen erhielt ich oft wertvolle Hinweise, die mich auf eine neue Spur bei der Suche nach Dokumenten und Interviewpartnern geführt haben.

Besonders danken möchte ich meiner Frau Renate, die mir den Rücken für die Arbeit freigehalten hat und mich beim Feinschliff durch Korrekturvorschläge und Formulierungen unterstützt hat.

Thomas Wissert

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Einführung	7
1.1 Ziel der Arbeit.....	10
1.2 Forschungsstand.....	13
1.3 Quellen.....	21
1.3.1 Gedruckte Quellen	22
1.3.2 Öffentliche Archive	24
1.3.3 Firmenarchive	27
1.3.4 Verbands- und Vereinsarchive	31
1.3.5 Gewerkschaftsarchive.....	33
1.3.6 Oral History	33
1.3.7 Zusammenfassung	39
2 Wichtige elektrotechnische Voraussetzungen für die NC-Technik	43
2.1 Elektrische Antriebstechnik der Werkzeugmaschinen.....	43
2.2 Weitere elektrotechnische Entwicklungen zur Automatisierung der Werkzeugmaschinen	48
2.2.1 Elektrische Schaltgeräte	48
2.2.2 Halbleitertechnik.....	52
2.2.3 Rechnertechnik	54
2.2.4 Lochkarte und Lochstreifen.....	55
2.2.5 Positionsmessung.....	56
2.2.6 Servotechnik bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs.....	58
2.3 Zusammenfassung	60
3 Die Entwicklung der NC-Technik in den USA.....	61
3.1 Erfindung der NC-Maschine durch John T. Parsons	61
3.2 Kurzer Abriss der NC-Entwicklung in den USA bis Mitte der 1950er Jahre..	66
3.3 Beschleunigung der NC-Maschinenentwicklung durch die US Air Force.....	69
3.4 Die Programmierung der NC-Steuerungen	72
3.5 Durchbruch der NC-Technik ab Anfang der 1960er Jahre in den USA	73

3.6	Zusammenfassung	76
4	Einführung der NC-Technik in Westdeutschland	79
4.1	Politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen nach dem Zweiten Weltkrieg	79
4.2	Die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie nach dem Zweiten Weltkrieg	81
4.3	Tendenzen in der Produktionstechnik nach dem Zweiten Weltkrieg	89
4.4	Das produktionstechnische Innovationssystem nach dem Zweiten Weltkrieg	95
4.5	Erste Forschungen und Entwicklungen zur NC-Technik in den 1950er Jahren in der BRD.....	106
4.6	Beginn der westdeutschen NC-Maschinenproduktion	110
4.7	Vertrieb der ersten NC-Maschinen	117
4.8	Studien zu westdeutschen NC-Maschinen.....	121
4.9	NC-Forschung an den Hochschulen	124
4.9.1	Das Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen.....	124
4.9.2	Das Institut für Spanende Technologie der Werkzeugmaschinen (ITW) der TH Darmstadt	128
4.9.3	Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) und Institut für Produktionstechnische Automatisierung der TU Berlin.	129
4.9.4	Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der TH Stuttgart.....	132
4.9.5	Zusammenarbeit der Hochschulinstitute	136
4.9.6	Institutsleiter als Herausgeber von Zeitschriften	143
4.10	Der Einfluss von VDW und VDI auf die Einführung der NC-Maschinen....	145
4.11	Westdeutsche Hersteller von NC-Steuerungen.....	151
4.11.1	Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG)	152
4.11.2	Brown, Boveri & Cie. (BBC)	160
4.11.3	Grundig AG	163
4.11.4	Dr. Johannes Heidenhain GmbH	167
4.11.5	Dr. Masing & Co. KG/ Robert Bosch GmbH.....	169
4.11.6	Standard Elektrik Lorenz AG (SEL)	173
4.11.7	Siemens AG	175
4.11.8	Eigenbau von NC-Steuerungen durch Werkzeugmaschinenhersteller	183

4.11.9	Kleine NC-Steuerungshersteller am Beispiel der Firma Weinlich...	191
4.11.10	Zusammenfassung	193
4.12	Normung der NC-Technik	196
4.13	NC-Programmierung	200
4.14	Zusammenfassung	211
5	Einführung der NC-Technik bei ausgewählten baden-württembergischen Werkzeugmaschinenherstellern	217
5.1	Gebr. Boehringer GmbH in Göppingen.....	221
5.2	Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH in Reutlingen.....	230
5.3	Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH in Nürtingen	233
5.4	Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (Burr) in Ludwigsburg	242
5.5	Trumpf GmbH + Co. KG in Ditzingen.....	246
5.6	Zusammenfassung	254
6	Einführung der NC-Technik bei großen Fertigungsbetrieben	259
6.1	NC-Einführung bei der Daimler-Benz AG	260
6.2	NC-Einführung bei der Heidelberger Druckmaschinen AG.....	267
6.3	NC-Einführung bei der Gutehoffnungshütte Aktienverein bzw. deren Tochter M.A.N.	283
6.4	Zusammenfassung	297
7	Zubehör für NC-Maschinen	303
7.1	Mechanische Komponenten.....	304
7.2	Werkzeuge für NC-Maschinen	306
7.3	Werkzeugvoreinstellgeräte.....	308
7.4	Elektrische Komponenten.....	310
7.4.1	Anpasssteuerung	310
7.4.2	Antriebstechnik.....	315
7.4.3	Lagemesssysteme für NC-Maschinen	324
7.5	Werkzeugüberwachung.....	329
7.6	Programmiersysteme	332
7.7	Fertigungssteuerung.....	337
7.7.1	Direct Numeric Control (DNC).....	338
7.7.2	Flexible Fertigungssysteme	340
7.8	Zusammenfassung	345

8	Auswirkungen der NC-Technologie auf Ausbildung, Gewerkschaften und Verbände	347
8.1	Aus- und Weiterbildung	347
8.1.1	NC-Weiterbildung für Ingenieure und Führungskräfte	347
8.1.2	NC-Ausbildung an Universitäten und Fachhochschulen	351
8.1.3	Gewerbliche Ausbildung	353
8.1.4	NC-Weiterbildung der gewerblichen Mitarbeiter	355
8.2	Die Industriegewerkschaft Metall und die NC-Technik	359
8.2.1	Automation und NC-Technik	359
8.2.2	Auswirkungen der NC-Technik auf die Lohnpolitik der IG Metall ..	368
8.3	Metall-Arbeitgeberverbände	370
8.4	NC-Gesellschaft	372
8.5	Zusammenfassung	373
9	Einfluss der NC-Technologie auf die Betriebe	375
9.1	Maschinenbeschaffung	377
9.2	Auswirkungen auf die Berufsbilder	378
9.3	Organisatorische Maßnahmen	382
9.3.1	Schulungsmaßnahmen	384
9.3.2	Programmierung der NC-Maschinen	385
9.3.3	Materialfluss, Logistik und Vorrichtungen	386
9.3.4	Werkzeugorganisation	387
9.3.5	Fertigungsorganisation	389
9.3.6	Instandhaltung und Service	390
9.4	Zusammenfassung	392
10	Wirtschaftlichkeit der NC-Technik	393
10.1	Wirtschaftliche Aspekte der NC-Einführung bei den Endanwendern	394
10.2	Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen aus Sicht der Werkzeugmaschinenhersteller	398
10.3	Entlohnung an NC-Maschinen	408
10.4	Zusammenfassung	412
11	Migration der NC-Technik in andere Technologien	413
11.1	Positionierungstechnik im Maschinenbau	413
11.2	Industrieroboter	415

11.3	Elektronische Getriebe.....	417
11.4	Leiterplattenbestückung.....	419
11.5	Sonstige Anwendungen	420
11.6	Zusammenfassung	420
12	Weiterentwicklungen nach dem Untersuchungszeitraum	421
12.1	Wichtige Weiterentwicklungen bis etwa 2010	421
12.2	Aktuelle Entwicklungstendenzen	425
12.3	Die „Digitalisierung der Werkzeugmaschine“ mit „Industrie 4.0“	427
13	Fazit.....	431
	Anhang.....	447
	Abkürzungsverzeichnis.....	447
	Abbildungsverzeichnis.....	452
	Tabellenverzeichnis.....	455
	Quellen- und Literaturverzeichnis.....	457
	Nicht publizierte Quellen.....	457
	Archive	457
	Interviews.....	472
	Publizierte Quellen.....	474
	Gedruckte Quellen	474
	Handelsregister	498
	Internetquellen	498
	Normen, Richtlinien	503
	Patente	504
	Literatur.....	504
	Kurzbiografien der Interviewpartner.....	533
	Personenregister.....	541

1 Einführung

Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen (NC¹-Maschinen) sind heute aus der Metallbearbeitung nicht mehr wegzudenken. Sie werden eingesetzt, um metallische Industrie- und Konsumgüter aller Art herzustellen, überwiegend durch Zerspanung.² Da NC-Maschinen heute für die industrielle Produktion von zentraler Bedeutung sind, wird in dieser Arbeit ihre Entwicklung und Einführung in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) mit dem Schwerpunkt auf Baden-Württemberg untersucht. Der Untersuchungszeitraum wurde auf den Zeitraum zwischen der „Erfindung der NC-Maschine“ in den USA (um 1950, vgl. Kapitel 3.1) und dem Beginn der breiten Anwendung in der BRD um 1980 festgelegt (vgl. Kapitel 4.14). Dabei soll die Arbeit – neben der technikhistorischen Aufarbeitung – klären, warum es bis zur breiten Anwendung der NC-Maschinen fast dreißig Jahre dauerte, welche sozioökonomischen Probleme durch sie entstanden und wie sich die Fertigungstechnik durch die NC-Maschinen veränderte. Als Untersuchungsschwerpunkt wurde Baden-Württemberg ausgewählt, da dieses Bundesland schon 1960 den größten Anteil an der Werkzeugmaschinenproduktion der BRD hatte,³ und die Entwicklung in Baden-Württemberg deshalb im Großen und Ganzen repräsentativ für die Bundesrepublik Deutschland ist.

Maschinen für die Metallbearbeitung gibt es schon lange, Werkzeugmaschinen im heutigen Sinn seit etwas über 200 Jahren. Bei ihnen handelt es sich aber nicht, wie der Name vermuten lässt, um Maschinen zur Herstellung von Werkzeugen, sondern um „Werkzeuge des Maschinenbauers“⁴.

Ein wichtiger Wegbereiter der heutigen Werkzeugmaschinen war Henry Maudsly, der 1794 den Kreuzsupport erfand.⁵ Wenige Jahre später (1797–1800) koppelte er den

¹ Numerical Control.

² Nach Heisel und Stehle werden „unter dem Begriff Zerspanung alle mechanischen Bearbeitungsverfahren verstanden, bei denen der zu bearbeitende Werkstoff unter Berücksichtigung tolerierbarer Gestaltabweichungen in die gewünschte Form gebracht wird, indem der gegenüber dem Rohteil überflüssige Werkstoffanteil in Form von Spänen abgetragen wird“. Heisel/Stehle (2014), S. 14. Zu den Werkzeugmaschinen zählen neben den zerspanenden auch abtragende, umformende und zerteilende Maschinen. Vgl. Heisel/Stehle (2014), S. 12.

³ Im Jahr 1960 betrug der Produktionsanteil der baden-württembergischen Werkzeugmaschinenindustrie 38 % und hatte damit den größten Anteil in der Bundesrepublik Deutschland. Vgl. Schwab (1996), S. 7. 1964 war er auf 39 % gestiegen. Vgl. Kappel (1966), S. 182. Nach dem Marktbericht des VDW hatte er sich dann bis 2019 sogar auf 57,6 % der deutschen Werkzeugmaschinenproduktion erhöht. Vgl. o. V. (2020b), S. 59. Diese Verteilung stimmt aber nicht für das Maschinenzubehör wie Steuerungen, Antriebe, Kugelgewindetriebe usw., sodass in die Untersuchung auch Unternehmen aus anderen Bundesländern einbezogen wurden.

⁴ Spur (1991), S. 2. Die Bezeichnung Werkzeugmaschine entstand nach Spur als Sammelbegriff für die „Werkzeuge des Maschinenbauers“, wie Bohrwerke, Stoß- und Hobelmaschinen, Drehbänke oder Fräsmaschinen.

⁵ Vgl. Mommertz (1981), S. 13. Der entscheidende Punkt von Maudslys Erfindung war, dass durch seine Konstruktion das Drehwerkzeug in einem exakten rechten Winkel in den Achsen X und Z geführt wurde. Die Werkstücke konnten so wesentlich genauer gefertigt werden.

Kreuzsupport mit einer Leitspindel zum Schneiden von Gewinden und führte ihn in präzisen Metallschienen. Damit war das Konzept der Metaldrehbank entstanden,⁶ einem Vorläufer der heutigen Drehmaschinen. Der Drehmeißel musste nicht mehr vom Bediener gehalten werden, sondern wurde mechanisch über zwei Achsen geführt. Diese Erfindung ermöglichte prinzipiell die Fertigung von gleichen, austauschbaren Drehteilen.⁷

Seit der Erfindung des Kreuzsupports durch Maudsly wurden die Werkzeugmaschinen kontinuierlich in vielen Ländern weiterentwickelt und hatten bis zum Zweiten Weltkrieg durch Anpassung an die unterschiedlichen technologischen Anforderungen eine große Vielfalt und Präzision erreicht.⁸

In den USA hatte John T. Parsons kurz nach dem Zweiten Weltkrieg die Idee für eine programmgesteuerte Werkzeugmaschine, da mit der verfügbaren Technik komplizierte Werkstücke für die Luftfahrtindustrie nur sehr schwer hergestellt werden konnten (vgl. Kapitel 3.1). Das Programm für diese Maschinen sollte aus den numerischen Maßen der Werkstückzeichnung abgeleitet werden, was später zum Begriff der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine (NC-Maschine) führte. Um 1960 hatten die NC-Maschinen in den USA eine Reife erreicht, die kommerzielle Einsätze nicht nur in der Flugzeugindustrie ermöglichte.⁹

Die Jahre nach 1960 waren durch eine intensive Weiterentwicklung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen gekennzeichnet. Viele Impulse kamen von den Anwendern und Hochschulen, die im Dialog mit den Maschinenherstellern Verbesserungen für Maschinen und Steuerungen erarbeiteten. Den größten Einfluss auf die Weiterentwicklung der Steuerungen hatte jedoch die Halbleitertechnik. Mit jeder neuen Halbleitergeneration waren kompaktere und billigere Steuerungen bei gleichzeitig höherer

⁶ Vgl. Mommertz (1981), 13 und 67–70. Nach Mommertz war diese Maschine der Beginn von Werkzeugmaschinen mit Festführungen und mechanischem Antrieb des Werkzeugs. Der entscheidende Unterschied von Maudslys Kreuzsupport zu ähnlichen Vorläuferkonstruktionen war, dass Maudsly eine Lösung für die Fertigung genauer ebener Flächen fand, eine Voraussetzung für die genaue Führung des Werkzeugs. Auch Paulinyi gab den Erfindungen von Maudsly einen hohen Stellenwert: „Maudslys Werkstatt (...) beeinflusste die Entstehung des modernen Maschinenbaus (...) in zweierlei Hinsicht. Zum einen als Hersteller von Maschinen und zum anderen als Lehrstätte bzw. Informationsquelle für die neue Fertigungstechnik des Maschinenbaus.“ Paulinyi (1989), S. 98.

⁷ Vgl. Mommertz (1981), S. 69.

⁸ Einen ausführlichen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Werkzeugmaschinen stellte Spur zusammen. Spur (1991), S. 1–382. Weitere Literatur, die sich mit der Entwicklungsgeschichte der Werkzeugmaschinen beschäftigt, gibt es z. B. von Benad-Wagenhoff (1993), Bradley (1972), Fermer (1995), Mommertz (1981) und Rolt (1986). Haak beschäftigte sich speziell mit der Entwicklung des deutschen Werkzeugmaschinenbaus von 1930 bis 1960. Haak (1997).

⁹ Vgl. Kronenberg (1961), S. 1–3. In seinem Aufsatz über die Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Chicago berichtete Kronenberg an mehreren Beispielen über den wirtschaftlichen Einsatz von NC-Werkzeugmaschinen in den USA. Die Beispiele bezogen sich hauptsächlich auf Anwendungen im Maschinenbau und die Fertigung von Flugzeugteilen.

Funktionalität möglich. Waren die ersten Steuerungen fest verdrahtete Hardwaresteuerungen¹⁰, eröffneten programmierbare Prozessrechner (etwa ab Ende der 1960er Jahre) und Rechner auf Basis von Mikroprozessoren (etwa ab Anfang der 1970er Jahre) völlig neue Möglichkeiten. Die Funktionalität der Steuerungen konnte nun durch Software einfach geändert werden, und es konnten Funktionen realisiert werden, die mit einer fest verdrahteten Logikschaltung nicht möglich waren. Etwa ab 1975 waren die meisten neuentwickelten Steuerungen mit Rechnern, überwiegend auf Basis von Mikroprozessoren, ausgerüstet. Diese Steuerungen wurden zur Abgrenzung gegenüber den ursprünglichen NC-Steuerungen CNC¹¹-Steuerungen genannt. Die Leistungssteigerung der mit CNC-Steuerungen ausgerüsteten Maschinen – verbunden mit einem niedrigeren Preis – führte wegen ihrer höheren Wirtschaftlichkeit zu einem deutlichen Stückzahlanstieg. Etwa um 1980 hatten sich die CNC-Maschinen durchgesetzt (vgl. Kapitel 4.14).

Die weitere Entwicklung der CNC-Maschinen war nicht mehr durch so große technologische Umbrüche geprägt wie beim Umstieg von den NC- auf die CNC-Steuerungen; etwa um 1980 waren die meisten grundsätzlichen Entwicklungen abgeschlossen. Diese Einschätzung führte dazu, den Untersuchungszeitraum für die Einführung der NC-Maschinen in der Bundesrepublik Deutschland auf die Zeit zwischen 1950 und 1980 festzulegen.

Ein wichtiger Aspekt der Arbeit sind auch die Auswirkungen, die die NC-Maschinen auf die Struktur und Organisation der Fertigung und damit auch auf die Beschäftigten hatten. Diese waren vielfältig, da für einen wirtschaftlichen Betrieb die teuren NC-Maschinen anders als die handbedienten Werkzeugmaschinen in den Fertigungsablauf integriert werden mussten. Z. B. musste als neue Tätigkeit die Programmerstellung für die NC-Maschinen in den Fertigungsablauf eingepasst werden. Diese Aspekte werden in der Arbeit aus den Blickwinkeln von Arbeitgebern und Gewerkschaften betrachtet (vgl. Kapitel 9 und 10).

Auch im Ausland – zuerst in den USA, dann in Großbritannien und etwas später in Japan – wurde im Untersuchungszeitraum im Bereich der NC-Technik viel geforscht und entwickelt. Die dortigen Ergebnisse flossen in die Arbeit ein, wenn sie für die Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland relevant waren.

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der NC-Technik an den Hochschulen war in der Bundesrepublik Deutschland Anfang der 1960er Jahre noch sehr verhalten.

¹⁰ Viele der ersten Punkt- und Streckensteuerungen waren ganz oder überwiegend mit Relais aufgebaut. Die Relais wurden nach und nach durch Halbleiterschaltungen ersetzt, die über die Jahre immer kompakter und preiswerter wurden. Die Bauelemente bzw. Baugruppen waren fest verdrahtet, d. h. das „Programm“ bzw. die Logik der Steuerung steckte in der Verdrahtung.

¹¹ Computerized Numerical Control.

Durch neue Institute und Neuberufungen auf Lehrstühle der TU¹² Berlin und der TH¹³ Stuttgart entwickelte sich aber ab Mitte der 1960er Jahre zusammen mit dem WZL¹⁴ der RWTH¹⁵ Aachen ein fertigungstechnisches Forschungsnetzwerk, das sich intensiv mit den vielfältigen Aspekten der NC-Technik auseinandersetzte und eng mit Werkzeugmaschinenherstellern zusammenarbeitete. Außerdem konnten ab Mitte der 1960er Jahre die fertigungstechnischen Institute immer mehr sowohl den VDW¹⁶ als auch die staatliche Forschungsförderung als zusätzliche Geldgeber für die Weiterentwicklung der NC-Technik gewinnen. Diese Zusammenarbeit erfolgt bis heute im produktionstechnischen Innovationssystem, das der NC- und Fertigungstechnik in der Bundesrepublik Deutschland wichtige Impulse gibt (vgl. Kapitel 4.4).

1.1 Ziel der Arbeit

Ausgelöst wurde die NC-Entwicklung Ende der 1940er Jahre durch fertigungstechnische Probleme bei der Herstellung komplexer Werkstücke im US-Flugzeugbau (vgl. Kapitel 3). Die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie war zu diesem Zeitpunkt durch den Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg sehr gut ausgelastet, sodass kaum Bedarf und Kapazität bestand, sich mit neuen Techniken zu befassen.¹⁷ Erst Ende der 1950er Jahre griffen einige westdeutsche Werkzeugmaschinenhersteller die NC-Technik auf und erste Endanwender beschafften NC-Maschinen, um Erfahrungen mit der neuen Technologie zu sammeln.

Von Anfang der 1960er bis Mitte der 1970er Jahre wuchs der westdeutsche NC-Maschinenbestand nur langsam an, um sich dann aber bis Anfang der 1980er Jahre in etwa zu versechsfachen, sodass ab Ende der 1970er Jahre von einem Durchbruch der NC-Technologie in der Fertigung gesprochen werden kann (vgl. Kapitel 4.14), deutlich später als in den USA.

Ein Ziel der Arbeit war es deshalb, herauszufinden, warum die Einführung der NC-Technik in der Bundesrepublik Deutschland etwa dreißig Jahre dauerte und welche technischen, ökonomischen, sozialen und sonstigen Randbedingungen die Einführung beeinflussten. Dazu zählt auch die schon angesprochene Unterstützung der NC-Einführung durch die Zusammenarbeit der fertigungstechnischen Institute mit den Werkzeugmaschinenherstellern, die staatliche und halbstaatliche Forschungsförderung,

¹² Technische Universität.

¹³ Technische Hochschule.

¹⁴ Werkzeugmaschinenlabor der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

¹⁵ Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule.

¹⁶ Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.

¹⁷ Erst 1955, mit der Ratifizierung der Pariser Verträge, wurden durch die Westalliierten viele Beschränkungen auch für die Werkzeugmaschinenhersteller aufgehoben. Dazu gehörte z. B. das Verbot einer westdeutschen Flugzeugindustrie (vgl. Andres (1996), S. 44), die ein potenzieller Bedarfsträger für NC-Maschinen war.

die Mitwirkung der technischen Vereine/Verbände mit ihren Ausschüssen und Arbeitsgemeinschaften an der Normung, der Industrie- und Firmenverbände, der Industrie- und Handelskammern sowie der Gewerkschaften. Das Zusammenspiel all dieser Organisationen und Institutionen, das in der Literatur als Innovationssystem¹⁸ bezeichnet wird, hatte einen großen Einfluss auf den Entwicklungsverlauf und wird in den Kapiteln behandelt, die sich mit der Rolle der Hochschulen (Kapitel 4.9), der Gewerkschaften (Kapitel 8.2) und der Vereine und Verbände (Kapitel 4.10, 8.3 und 8.4) befassen.

Ein weiterer Aspekt der Arbeit war die Klärung der Frage, ob sich durch den zeitlichen Versatz zwischen der Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland und den USA Unterschiede in den Entwicklungspfaden ergaben, und wenn ja, inwieweit ihre Ursache in unterschiedlichen Strukturen der Firmen und deren Beschäftigten lag.¹⁹

Aus den genannten Punkten ergeben sich bezogen auf Westdeutschland u. a. die folgenden Fragen, die mit der Arbeit beantwortet werden sollen:

- Warum, wann und durch wen wurde die Idee der numerischen Steuerung aufgegriffen? Wo gab es die ersten Entwicklungen?
- Warum und durch wen wurde anfangs die NC-Technik abgelehnt?
- Warum entwickelten einige Werkzeugmaschinenhersteller schon sehr früh erste numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen und warum lehnten andere die Entwicklung von NC-Maschinen lange ab?
- Warum wurde die amerikanische Technologie von den westdeutschen Steuerungsherstellern anfangs im Wesentlichen nur kopiert?
- Warum und bis wann konnten die westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller den technologischen Rückstand zu den USA aufholen?
- Warum setzten sich in Westdeutschland andere Schwerpunkte bei der NC-Programmierung durch als in den USA?
- Warum wurden große Anstrengungen zur Normung der Steuerungs- und Maschinenschnittstellen unternommen?
- Warum und wie hatte das westdeutsche Innovationssystem Einfluss auf die NC-Entwicklung und NC-Einführung?
- Warum und wie veränderten die NC-Maschinen die Fertigungsabläufe in den Betrieben und welche Auswirkungen hatten sie auf die Beschäftigten?
- Wie wurden die Facharbeiter für die Arbeit mit NC-Maschinen geschult?
- Warum kam es zu dem starken Stückzahlanstieg der NC-Maschinen Ende der 1970er Jahre?

¹⁸ Vgl. z. B. Grupp u. a. (2002), S. 51–104.

¹⁹ Auf diese Frage wird nur zur Abrundung eingegangen, da sie unter verschiedenen Aspekten schon ausführlich Hirsch Kreinsen (Hirsch-Kreinsen (1993)) und Leibinger behandelten (Leibinger (2014)).

- Warum war die Innovation „NC-Maschine“ trotz ihrer langen Einführungsphase ein Erfolg? Warum scheiterte sie nicht?²⁰

Die Beantwortung dieser Fragen soll möglichst dem zeitlichen Ablauf folgen und bei parallelen Entwicklungen die zeitlichen Bezüge herstellen. Der Zusammenhang zwischen verschiedenen Fragestellungen wird, wo erforderlich, verdeutlicht. Zudem werden auch Bezüge zum politischen und ökonomischen Umfeld hergestellt und die Entwicklungen in anderen Ländern in die Darstellung einbezogen.

Aus den genannten Punkten ergibt sich der folgende Aufbau der Arbeit. Nach einem Exkurs über wichtige Vorentwicklungen für die NC-Technik (Kapitel 2) wird im Kapitel 3 die Erfindung und Entwicklung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in den USA bis Ende der 1960er Jahre dargestellt.

Im folgenden Kapitel 4 wird nach einem kurzen Exkurs über die politische und wirtschaftliche Situation nach dem Zweiten Weltkrieg die Einführung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Ende des Untersuchungszeitraums unter verschiedenen Aspekten geschildert. Dabei wird auf die gegenseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Entwicklungsschritte, auch in Bezug zum Innovationssystem, eingegangen. Es folgen zwei Kapitel, die die Einführung der NC-Technik bei fünf Werkzeugmaschinenherstellern (Kapitel 5) sowie drei unterschiedlichen Fertigungsbetrieben (Kapitel 6) analysieren. Im Kapitel 7 werden die wichtigsten mechanischen und elektrischen Komponenten besprochen, die NC-Maschinen zusätzlich zur Steuerung benötigen.²¹

Kapitel 8 beschäftigt sich unter anderem mit den Auswirkungen der NC-Technik auf die Aus- und Weiterbildung der betroffenen Mitarbeiter und auch mit der Frage, wie die IG²² Metall mit den Auswirkungen der NC-Technik auf ihre Mitglieder umging.

Wie die NC-Technik die Abläufe in der Fertigung veränderte, wird im Kapitel 9 untersucht, und Kapitel 10 beantwortet die Frage, nach welchen Kriterien die Wirtschaft-

²⁰ Eine Definition erfolgreicher Innovationen gibt es von Bauer (2006), S. 13: „Eine Innovation kann dann als erfolgreich bezeichnet werden, wenn ihre wirtschaftliche Verwertung grundsätzlich gelingt, d. h. es grundsätzlich gelingt, durch ihre Vermarktung die entstandenen Entwicklungskosten wieder zu erwirtschaften.“ Allerdings definiert Bauer den Zeitraum nicht. Die Entwicklung der NC-Technik kostete weltweit in den ersten Jahren sehr viel Geld. Das war mit großer Wahrscheinlichkeit bis zum Ende des Untersuchungszeitraums noch nicht hereingespielt, da erst dann die Stückzahlen der NC-Maschinen stark anstiegen. Die Entwicklungskosten waren vermutlich erst in den späten 1980er Jahren amortisiert, vor allem, wenn sie noch verzinst werden. Eine Nachprüfung ist wegen der vielen Beteiligten und den nicht bekannten Entwicklungsaufwendungen unmöglich.

²¹ Zum besseren Verständnis ein einfaches Beispiel: Bei einer NC-Maschine muss die Steuerung zu jeder Zeit die Achspositionen kennen. In der Anfangsphase der NC-Technik gab es zwar schon Systeme, die Achspositionen in eine elektrische Größe umwandeln konnten. Allerdings war die Zuverlässigkeit dieser Systeme nicht ausreichend. Es mussten also neue Verfahren entwickelt bzw. die bekannten Verfahren an die Anforderungen der NC-Maschinen angepasst werden.

²² Industriegewerkschaft.

lichkeit von NC-Maschinen im Vergleich zu konventionellen Maschinen in der Einführungsphase ermittelt wurde.

Die Kernfunktion der NC-Technik, das Positionieren von Achsen, wurde schon bald auch in anderen Anwendungen genutzt. In Kapitel 11 werden einige Anwendungen beschrieben, die diese Funktionalität übernommen und an ihre Anforderungen angepasst haben. In Kapitel 12 werden noch die wichtigsten Weiterentwicklungen nach dem Untersuchungszeitraum beschrieben, bevor in Kapitel 13 die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst werden.

Zu ergänzen ist noch, dass bis Ende der 1960er Jahre viele Werkzeugmaschinenhersteller, Endanwender, Anbieter von Schulungen und auch die Gewerkschaften daran zweifelten, dass sich NC-Maschinen in der Breite durchsetzen würden. Sie befürchteten, dass sich ihre Investitionen in die NC-Technologie nicht lohnen könnten. Es wurden deshalb von verschiedenen Akteuren Studien zum Potenzial der NC-Technik in Auftrag gegeben. Einige Ergebnisse dieser Studien wurden in die entsprechenden Kapitel eingearbeitet und bewertet.

1.2 Forschungsstand

Mit der Entwicklung der NC-Technologie und ihrer Einführung in die Fertigung beschäftigten sich eine ganze Reihe von Arbeiten aus unterschiedlichen Perspektiven. Es muss dabei zwischen ingenieurwissenschaftlichen, technikhistorischen, soziologischen und wirtschaftshistorischen Arbeiten unterschieden werden.

Die ingenieurwissenschaftliche Literatur geht von einer „Basiserfindung“ aus und beschreibt hauptsächlich die zeitliche Abfolge der Weiterentwicklung und die Wechselwirkungen mit anderen Erfindungen. Wenig Gewicht legt sie auf die Auswirkungen der „Basiserfindung“ auf ihr Umfeld.

Im Unterschied dazu gewichtet die technikhistorische Literatur stärker den Zusammenhang einer Erfindung mit dem gesellschaftlichen und politischen Umfeld und legt weniger Gewicht auf technische Details und die genaue zeitliche Abfolge der (Weiter-)Entwicklungen.

Die soziologische Literatur geht mehr der Frage nach, welche Auswirkungen eine neue Technologie in ihren Entwicklungsstadien für die direkt und indirekt Betroffenen hat und wie diese damit umgehen. Die Gründe, warum die Entwicklung so und nicht anders erfolgte, können aufgezeigt werden, spielen bei den meisten Untersuchungen aber nur eine untergeordnete Rolle. Manchmal wird aber versucht abzuschätzen, in welche Richtung Weiterentwicklungen gehen könnten, um durch einen Vergleich unterschiedlicher möglicher Szenarien die zukünftige Entwicklung zu beeinflussen.

Die wirtschaftshistorische Literatur legt ihren Schwerpunkt auf die Fragestellung, wie sich neue Technologien auf die Wirtschaft insgesamt auswirken, d. h. wie sie kurz- und

langfristig das Bruttosozialprodukt beeinflussen und welche Auswirkungen sie auf andere Wirtschaftsbereiche haben.

Zum Forschungsstand zur Geschichte der NC-Technik werden im Folgenden die wichtigsten Arbeiten vorgestellt. Für eine gute Übersichtlichkeit werden die Arbeiten möglichst chronologisch aufgeführt.

Eine der ersten historischen Arbeiten zur NC-Technik in den USA – mit großer Berücksichtigung industriesoziologischer Aspekte – war 1978 der Aufsatz „Social Choice in Machine Design: The Case of Automatically-Controlled Machine Tools“²³ von David F. Noble. Neben der technikhistorischen Betrachtung der NC-Technik ergänzte er seine Arbeit mit Untersuchungen bezüglich der Konsequenzen für die Beschäftigten und verglich dabei verschiedene Ausprägungen der NC-Technik.²⁴ Noble ging es vor allem darum, die unterschiedlichen Interessen des Managements und der Beschäftigten an der Maschine herauszuarbeiten. Seine These war, dass es bei der Entwicklung der NC-Technologie nicht nur um eine Fertigungsmöglichkeit für neuartige Teile ging, sondern auch darum, Facharbeiter durch ungelernte Arbeitskräfte auszutauschen. So sollte die Macht der Gewerkschaften beschnitten werden.²⁵ Die Ergebnisse seiner Forschungen präzierte Noble dann in seinem 1984 erschienenen und bekanntesten Werk „Forces of Production“²⁶, in dem er die Sozialgeschichte der Automatisierung insgesamt untersuchte und darin die NC-Technik als ein Beispiel ausführlich behandelte.²⁷

Als Ergänzung zur Werkzeugmaschinenausstellung des Deutschen Museums erschien 1981 von Mommertz das technikhistorische Taschenbuch „Bohren, Drehen und Fräsen“²⁸, das auch knapp die Geschichte der NC-Technik behandelte.

Kurz danach (1982) veröffentlichte Behrendt als Fachaufsatz eine technikhistorische Zusammenfassung aus Ingenieurssicht über die Anfänge der NC-Technik in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1954 und 1963; darin beschrieb er die wichtigsten Entwicklungsschritte der NC-Technik in diesem Zeitraum.²⁹

Die umfangreichsten technikhistorischen Arbeiten im deutschsprachigen Raum aus Ingenieurssicht über Werkzeugmaschinen und ihr Umfeld entstanden von und bei Spur, der an der TU Berlin von 1965 bis 1997 das IWF³⁰ leitete.³¹ Spur befasste sich

²³ Noble (1978).

²⁴ Ein Jahr später erschien die deutsche Übersetzung. Noble (1979).

²⁵ Vgl. Noble (1979), S. 16–29.

²⁶ Noble (1984). Nach Heßler wurde das Werk breit rezipiert. Vgl. Heßler (2012), S. 61.

²⁷ Die Geschichte der NC-Entwicklung in den USA schilderte Noble ausführlich im sechsten Kapitel seines Buchs. Vgl. Noble (1984), S. 106–143.

²⁸ Mommertz (1981). Auf den Seiten 153–160 behandelte Mommertz knapp die NC-Technik.

²⁹ Behrendt (1982).

³⁰ Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb an der TU Berlin.

³¹ Vgl. Spur (2004), S. VIII.

schon ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahre immer wieder mit technikhistorischen Fragestellungen zur Produktionstechnik.³² Im Auftrag des VDW schrieb Spur zu dessen hundertjährigem Bestehen das Standardwerk „Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen“³³, bei dem er einen Mittelweg zwischen der ingenieurwissenschaftlichen und der technikhistorischen Sicht wählte. Spur beschrieb darin detailliert, wie aus den ersten steinzeitlichen Werkzeugen und dem menschlichen Bestreben, Werkzeuge besser zu nutzen, Maschinen entstanden, aus denen sich dann die heutigen Werkzeugmaschinen entwickelten. Im Kapitel 7 behandelte er dann ausführlich die Veränderungen in der Fertigung durch das Aufkommen der Rechner, wozu seiner Meinung nach auch die NC-Technik gehörte.

Darüber hinaus entstanden an seinem Institut auch mehrere technikhistorische Dissertationen. Den Anfang machte 1980 die Arbeit von Folz „Über die Anfänge der Zerspanforschung“.³⁴ 1995 folgte die Dissertation von Schröder,³⁵ der die Erfindung der numerischen Steuerung, ausgehend von den USA, noch ausführlicher als Spur in seinem Buch für den VDW behandelte. Kurz danach (1997) erschien die Arbeit von Haak über „Die Entwicklung des deutschen Werkzeugmaschinenbaus in der Zeit von 1930 bis 1960“³⁶, die auch kurz auf die Anfänge der NC-Maschinen eingeht.

Ebenfalls Anfang der 1990er Jahre erschien vom Industriesoziologen Hirsch-Kreinsen das Buch „NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozess“ mit dem Untertitel „Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik“. Es war aus einer Studie des Sonderforschungsbereichs 333 an der Ludwig-Maximilian-Universität München entstanden.³⁷ Die Studie beschäftigte sich vergleichend mit der Entwicklung der NC-Technik in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland. Die herausgearbeiteten Unterschiede spiegelte Hirsch-Kreinsen dann an dem in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland unterschiedlichen Umgang mit Innovationen, die er In-

³² Die erste technikhistorische Arbeit von Spur war die Festschrift „Fertigungstechnik in Lehre, Forschung und Praxis“ zum 70. Geburtstag seines Vorgängers Schallbroch, die er herausgab und zu der er drei Beiträge beisteuerte. Vgl. Spur (1967). Etwas über zehn Jahre später folgte zum 75-jährigen Jubiläum seines Instituts das umfangreiche Werk „Produktionstechnik im Wandel“, das sich etwa je zur Hälfte mit der historischen Entwicklung der Produktionstechnik und mit der Chronik des (West-)Berliner Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik befasste. Vgl. Spur (1979). Darin setzte sich Spur im Abschnitt „Wandel der Arbeitsstrukturen“ intensiv mit den Auswirkungen neuer Technologien auf die Fabrikorganisation und damit auf die Struktur der Arbeitsplätze auseinander. Vgl. Spur (1979), S. 195–206.

³³ Spur (1991).

³⁴ Folz (1980).

³⁵ Schröder (1995).

³⁶ Da sein Untersuchungszeitraum 1960 endete, berichtete Haak nur kurz über die Entwicklung der ersten deutschen NC-Maschinen von 1949 bis 1960. Danach untersuchte er den Neuaufbau der fertigungstechnischen Forschung nach dem Zweiten Weltkrieg. Vgl. Haak (1997), S. 146–163.

³⁷ Vgl. Hirsch-Kreinsen (1993), S. 1.

novationsmuster nannte, und erklärte damit die Unterschiede der technischen Entwicklung in diesen beiden Ländern.³⁸

In den USA erschien 1991 ein umfangreiches Werk von J. Francis Reintjes, einem der NC-Entwickler am MIT³⁹. Reintjes legte den Schwerpunkt auf die technikhistorische Darstellung der NC-Entwicklung ab 1949 am MIT. Im Buch werden sehr viele Entwicklungsdetails ausführlich geschildert, sodass sich ein gutes Bild der Arbeiten am MIT in den 1950er Jahren ergibt.⁴⁰

Einen Überblick über die Entwicklung der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie nach dem Zweiten Weltkrieg gibt die wirtschaftshistorische Diplomarbeit von Schwab (1995), die 1996 vom Verein Deutscher Werkzeugmaschinenhersteller in überarbeiteter und gekürzter Form herausgegeben wurde.⁴¹ Schwab betrachtete die Entwicklung aber nicht aus technischer Sicht, sondern mehr unter dem Aspekt der Einbettung in das globale wirtschaftliche Umfeld. Technologische Aspekte wurden von ihm deshalb nur knapp behandelt. Die Arbeit enthält u. a. zahlreiche Grafiken und Statistiken über die Entwicklung der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie.

Der englische Wirtschaftshistoriker Alan Booth beschäftigte sich in seinem Buch „The management of Technical Change“ im Kapitel „Automation in Engineering“ mit der Entwicklung, Einführung und den wirtschaftlichen Auswirkungen der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in Großbritannien und den USA.⁴² Schwerpunkte seiner Untersuchung waren die Gründe für die anfangs zu positiv geschätzte Stückzahlentwicklung der NC-Maschinen⁴³ und die Historie der NC-Entwicklung in Großbritannien.⁴⁴ In seiner Analyse zitierte Booth öfters Nobles⁴⁵ Interpretation der Entwicklung.

Richard A. Thomas, ein ehemaliger Mitarbeiter der General Electric Company, veröffentlichte 2008 ein Buch, in dem er die Entwicklung der NC-Technik und ihrer Vorläufer bei seinem ehemaligen Arbeitgeber zwischen 1943 und 1988 schilderte. Neben seinen eigenen Erinnerungen finden sich in dem Buch auch Beiträge ehemaliger Kollegen, die mit ihm in die NC-Entwicklung involviert waren.⁴⁶

³⁸ Ein Alleinstellungsmerkmal der Studie ist, dass Hirsch-Kreinsen für die NC-Entwicklung in den USA im Mai 1991 ein Interview mit deren Erfindern John T. Parsons und Frank Stulen führen konnte, dessen Inhalte er hauptsächlich in das Kapitel über die NC-Entwicklung in den USA integrierte. Vgl. Fußnote 1 in Hirsch-Kreinsen (1993), S. 73.

³⁹ Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (USA).

⁴⁰ Reintjes (1991).

⁴¹ Schwab (1996).

⁴² Booth (2007), S. 84–94.

⁴³ Vgl. Booth (2007), S. 84–85.

⁴⁴ Vgl. Booth (2007), S. 86–88.

⁴⁵ Insbesondere im Abschnitt „Numerically-controlled machine tools“. Vgl. Booth (2007), S. 84–94.

⁴⁶ Thomas (2008c).

Etwa Ende der 1950er Jahre begann in der Bundesrepublik Deutschland eine Rationalisierungs- und Automatisierungsdebatte, die Auswirkungen auf die Produktionstechnik hatte (vgl. Kapitel 4.3). Wichtige Akteure waren der Stuttgarter Professor Dolezalek, der ab 1957 in Stuttgart Automatisierungstagungen⁴⁷ organisierte, und ein paar Jahre später die IG⁴⁸ Metall, die 1963 ihre erste Automatisierungstagung abhielt.⁴⁹ Ab Mitte der 1960er Jahre wurde die NC-Technik auf den Tagungen der IG Metall immer mehr thematisiert, war aber bis Mitte der 1970er Jahre noch kein beherrschendes Thema; andere Technologien hatten anfangs noch einen deutlich größeren Rationalisierungseffekt als die NC-Technik (vgl. Kapitel 8.2).

Die von der IG Metall auf ihren Automatisierungstagungen diskutierten neuen Technologien, wie z. B. die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, die Industrieroboter oder auch die Textverarbeitung veränderten sukzessive viele Berufsbilder. Die damit verbundenen Auswirkungen auf die Qualifikation der Beschäftigten untersuchten am „Institut für südwestdeutsche Wirtschaftsforschung“ Jäckle-Sönmez u. a.⁵⁰. Der Schwerpunkt ihrer Untersuchung lag aber nicht auf den einzelnen Technologien, sondern darauf, wie sich durch diese (darunter auch die NC-Technik) die Arbeitsplätze und -inhalte, die Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten und die innerbetriebliche Organisation veränderten. Verknüpft war diese Diskussion auch mit den Erkenntnissen von Piore/Sabel⁵¹ und Wittke⁵², die feststellten, dass z. B. NC-Maschinen dazu beitrugen, die fordistische Großserienproduktion in Frage zu stellen. Diese wurde immer mehr von individuelleren Produkten in kleineren Serien ersetzt, die andere Fertigungsstrukturen erforderten.

Zu den neuen Fertigungsmethoden gehörten auch die ab den 1970er Jahren aufkommenden flexiblen Fertigungssysteme. Bei diesen waren mehrere NC-Maschinen mit Transportvorrichtungen verbunden und der Materialfluss durch die Fertigungsanlage war rechnergesteuert. Die dadurch mögliche weitere Flexibilisierung der Produktion intensivierte die Diskussion über menschenleere bzw. menschenarme Fabriken. Von der technischen Seite nahm hierzu z. B. Spur in seinem Einführungsvortrag auf dem „Produktionstechnischen Kolloquium 1975“ in Berlin Stellung⁵³ und Uhl fasste den aktuellen Forschungsstand zu der schon seit 1835 mit wechselnder Intensität geführten Diskussion 2019 zusammen.⁵⁴ Insgesamt wird auf diese Aspekte im Kapitel 4.3 ausführlich eingegangen.

⁴⁷ Beispielhaft seien der Tagungsband der Automatisierungstagung von 1957 (Verein Deutscher Ingenieure (1958)) und Cordes (1957) genannt.

⁴⁸ Industriegewerkschaft.

⁴⁹ Friedrichs (1963).

⁵⁰ Jäckle-Sönmez u. a. (1985).

⁵¹ Piore/Sabel (1985).

⁵² Wittke (1996).

⁵³ Spur (1975).

⁵⁴ Uhl (2019).

Auch Vahrenkamp, ein Betriebswirtschaftler, versuchte in seinem Buch „Von Taylor zu Toyota“⁵⁵, die Rationalisierungsdebatten des 20. Jahrhunderts zusammenzufassen. Der NC-Technik widmete er im Untersuchungszeitraum aber noch keine große Aufmerksamkeit. Die NC-Technik wurde für Vahrenkamp erst nach dem Untersuchungszeitraum interessant, da sie für ihn erst zusammen mit CIM⁵⁶ ein Baustein bei der Umstrukturierung der Fertigung wurde.⁵⁷

Stark beeinflusst wurden die Rationalisierungsdebatte und die NC-Einführung vom deutschen Innovationssystem. Hierzu gibt es einige grundlegende Arbeiten, so z. B. von Keck⁵⁸ und Grupp/Domiguez-Lacasa/Friedrich-Nishio⁵⁹. Die genannten Arbeiten gehen aber nicht auf die für die NC-Einführung entscheidende Ausprägung, nämlich das produktionstechnische Innovationssystem ein. Dieses wird deshalb im Kapitel 4.4 der Arbeit ausführlich behandelt. Es war stark vom Hochschulausbau ab den 1960er Jahren beeinflusst, der eine deutliche Zunahme der staatlichen Forschungsförderung brachte.⁶⁰ Hierzu gehörte die verstärkte Förderung der Grundlagenforschung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und von Untersuchungen zur Verwendung von Prozessrechnern in der Industrie mit dem Projekt „Prozeßlenkung mit Datenverarbeitungsanlagen“ (PDV). Deren Einfluss auf die NC-Einführung wird in den Unterkapiteln 4.4 und 4.9 herausgearbeitet.

In der Breite bekannter ist das Forschungs- und Aktionsprogramm „Humanisierung des Arbeitslebens (HdA)“⁶¹. Es war eines der größten Forschungsprogramme in der BRD und lief von 1974 bis 1989. Insgesamt wurden fast 1600 Einzelprojekte gefördert, von denen allerdings nur wenige einen Bezug zur NC-Technik hatten.⁶² Trotzdem wurde für das Programm mit einem Plakat geworben, auf dem Fertigungsanlagen, ein menschlicher Kopf und mehrere als Windrad angeordnete NC-Lochstreifen bildlich miteinander verknüpft waren (Abbildung 1). Kleinöder, Müller und Uhl interpretierten das Plakat dahingehend, dass es u. a. ausdrücken sollte, dass der technologische Fortschritt u. a. als „ein Mittel zur Überwindung industrieller Eintönigkeit, zur Befreiung von monotoner Fließbandarbeit“⁶³ begriffen werden kann.

⁵⁵ Vahrenkamp (2010).

⁵⁶ Computer Integrated Manufacturing.

⁵⁷ Vahrenkamp (2010), S. 115–127.

⁵⁸ Keck (1993).

⁵⁹ Grupp u. a. (2002).

⁶⁰ Hierzu gehört auch die Neugründung von produktionstechnischen Hochschulinstituten.

⁶¹ Der HdA-Projektträger war die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), die sich 1989 in deutsche Versuchsanstalt für Raumfahrt (DLR) umbenannte.

⁶² Mit dem HdA-Programm wurden über die Laufzeit 1588 Projekte gefördert. Von den Projekten hatten nur acht einen direkten Bezug zur NC-Technik Vgl. Projektliste Privatarchiv Thomas Wissert, HdA 1; Zettel (06.10.2022). In der Anfangsphase lagen die Schwerpunkte z. B. auf Arbeitsschutzmaßnahmen und neuen Arbeitsstrukturen. Müller, Stefan (2019), S. 69.

⁶³ Kleinöder u. a. (2019), S. 11.

Die Gewerkschaften, insbesondere die IG Metall, fremdelten mit dem Programm obwohl sie in vielen HdA-Projekten mitarbeiteten. Die IG Metall war nach Müller der Meinung, dass sie das „Prinzip der Humanisierung erfunden habe“⁶⁴. Außerdem waren in der IG Metall einige davon überzeugt, dass viele der im HdA-Programm geförderten Projekte weniger die Humanisierung der Arbeit zum Ziel hatten, sondern unter dem Deckmantel der Humanisierung die Rationalisierung vorantrieben.⁶⁵ Da jedoch – wie schon angemerkt – mit dem HdA-Programm nur wenige NC-Projekte gefördert wurden, wird es in der vorliegenden Arbeit nicht weitergehend behandelt.



Abbildung 1: Plakat „Humanisierung des Arbeitslebens“ (1976)⁶⁶

Viele der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Aspekte der NC-Einführung sind in der genannten Literatur noch nicht aufgearbeitet. Über die NC-Einführung bei den Werkzeugmaschinenherstellern gibt es nur vereinzelt kurze Darstellungen in Jubiläumsschriften, wie z. B. vom hessischen Drehmaschinenhersteller Pittler in Langen⁶⁷ und vom baden-württembergischen Sondermaschinenhersteller Burkhardt+Weber⁶⁸ in Reutlingen (vgl. Kapitel 5.2). Ausführlicher dokumentiert ist die NC-Einführung bei der Firma Trumpf in Ditzingen nahe Stuttgart in der Autobiografie des ehemaligen

⁶⁴ Müller, Moritz (2019), S. 260.

⁶⁵ Vgl. Müller, Moritz (2019), S. 267–270.

⁶⁶ Bildquelle: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung (BAU) 1976

⁶⁷ Die NC-Einführung bei Pittler wird hauptsächlich im Kapitel „Das wunderbare Wachstum“ ab Seite 108 geschildert. Vgl. Glunk/Weidemann (1989), S. 108–118.

⁶⁸ In mehreren kurzen Kapiteln werden in der Festschrift die wichtigsten NC-Maschinen und ihre Entwicklung zwischen 1957 und 2014 dargestellt. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 29–41.

Geschäftsführers Bertold Leibinger⁶⁹ und im Ende 2018 erschienenen Buch des Wirtschaftshistorikers Streb⁷⁰ zur Unternehmensgeschichte.

Ein gemeinsames Ergebnis aller Arbeiten ist, dass die Entwicklung der ersten westdeutschen NC-Maschinen eher zufallsgesteuert als systematisch war. Entweder wurden die Werkzeugmaschinenhersteller von ihren Kunden aufgefordert eine (spezielle) NC-Maschine zu entwickeln oder sie entwickelten ihre erste NC-Maschine aus eigener Motivation und warteten die Reaktion ihrer Kunden ab. Diese konnte sehr positiv (Trumpf), aber auch eher zurückhaltend (z. B. bei den Gebr. Boehringer) ausfallen, was sich auch bei den anderen untersuchten Werkzeugmaschinenherstellern bestätigte. Hinzu kam, dass die Anforderungen an die NC-Maschinen immer stärker von den Endanwendern geprägt wurden und sich ständig veränderten. Nur Werkzeugmaschinenhersteller, die flexibel waren, hatten langfristig Überlebenschancen. Hierauf wird in den Kapiteln 4.2 und 5 näher eingegangen.

Ein Überblick über die NC-Entwicklungen bei den westdeutschen Steuerungsherstellern – mit Ausnahme von Siemens⁷¹ und bedingt Heidenhain⁷² – ist in der Literatur nicht zu finden. Hier schließt die vorliegende Arbeit eine Lücke, in dem im Kapitel 4.11 die NC-Entwicklung bei den wichtigsten westdeutschen Steuerungsherstellern im Untersuchungszeitraum beschrieben wird.

Auch über die NC-Einführung bei Endanwendern (Kapitel 6) wurde nur wenig veröffentlicht. In der Literatur und in Fachzeitschriften finden sich überwiegend Berichte über die Auslegung und Wirtschaftlichkeit einzelner Maschinen und Anlagen, sieht man von umfragebasierten Studien ab.⁷³ Was fehlt, sind Berichte und Analysen darüber, wie die mehrere Jahre dauernde NC-Einführung in den Betrieben ablief, mit welchen Problemen die Unternehmen dabei kämpften aber auch, welchen Nutzen sie und die Werkzeugmaschinenhersteller daraus zogen. Die vorliegende Arbeit soll ein Beitrag sein, diese Forschungslücke etwas zu verkleinern.

Dies gilt auch für einige in der Arbeit behandelte technische Detaillösungen, u. a. die Antriebstechnik für Werkzeugmaschinen (Kapitel 7.4.2), die essenziell für die indust-

⁶⁹ Leibinger (2010).

⁷⁰ Streb (2018). Es soll sich um eine Auftragsarbeit von Trumpf handeln, bei der dem Autor keine Vorgaben gemacht wurden.

⁷¹ Vgl. Schröder (1995), S. 163–186.

⁷² Ein kurzer Fachaufsatz über die NC-Geschichte von Heidenhain erschien 1996 in der Zeitschrift Produktion. O. V. (1996b).

⁷³ Z. B. die Studie von Clausnitzer (Clausnitzer (1974)) oder von Infratest Industria (Privatarchiv Thomas Wissert, Infratest 1; Infratest-Industria (1974)).

rielle Nutzung der NC-Technik war und deren Bedeutung für NC-Maschinen bis jetzt zu wenig betrachtet wurde.⁷⁴

Auch zu vielen im Kapitel 8 behandelten Themen wie die Entwicklung der NC-Ausbildung an den Hochschulen⁷⁵, die Weiterbildung der Beschäftigten bei den Werkzeugmaschinenherstellern und Endanwendern wurde bis jetzt wenig publiziert. Das Gleiche gilt für eine übergreifende Darstellung der Rolle der Gewerkschaften und Verbände (vor allem des VDI und des VDW), insbesondere deren Einbindung in das produktionstechnische Innovationssystem.

Besser sieht es mit den in den Kapiteln 9 und 10 behandelten Auswirkungen der NC-Technik auf die Betriebe und die Wirtschaftlichkeit aus. Hier gab es ab Mitte der 1960er Jahre viele Veröffentlichungen, um den Endanwendern Hinweise zu geben, wie sie die neuartigen NC-Maschinen möglichst problemlos in ihre Fertigung integrieren konnten. Anfangs erfolgte das hauptsächlich durch Fachaufsätze und Veröffentlichungen in Firmenzeitschriften,⁷⁶ später in Kursen und Lehrbüchern.⁷⁷ Ziel war, möglichst viele Endanwender zum Kauf von NC-Maschinen zu motivieren.

Zusammengefasst gibt es über die Entwicklung und Einführung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland im Untersuchungszeitraum eine beachtliche Zahl von Veröffentlichungen, die viele, aber nicht alle Facetten der komplexen Thematik behandeln. Ziel der Arbeit ist es deshalb, die angesprochenen Forschungslücken teilweise zu schließen, um den Forschungsstand zu verbessern.

1.3 Quellen

Im Kapitel über den Forschungsstand wurde festgestellt, dass es insbesondere zur NC-Einführung bei den Maschinenherstellern und den Endkunden größere Lücken in der

⁷⁴ Das in der VDE-Reihe „Geschichte der Elektrotechnik“ erschienene Buch „Alles bewegt sich, Beiträge zur Geschichte elektrischer Antriebe“ geht auf Servoantriebe für NC-Maschinen nicht ein. Jäger u. a. (1998). Das Buch basiert in großen Teilen auf der Dissertation von Dittmann, die Servoantriebe für Werkzeugmaschinen nicht behandelte. Dittmann (1993).

⁷⁵ Zur Entwicklung der großen fertigungstechnischen Forschungsinstitute in Aachen und Berlin gibt es ausführliche Literatur, die aber auf die Lehre nur am Rande eingeht. Die Entwicklung der Berliner Produktionswissenschaft findet sich ausführlich in Spur (2004). Die über hundertjährige Geschichte des Aachener Werkzeugmaschinenlabors wird ausführlich in Eversheim u. a. (2006) beschrieben. Vergleichbare Werke zu Darmstadt und Stuttgart gibt es nicht.

⁷⁶ Z. B. von Schuler in den VDF-Mitteilungen (Schuler (1967)) bzw. von Rohs in der Zeitschrift Werkstattstechnik. Rohs (1969).

⁷⁷ Eine der ersten Dissertationen zur Wirtschaftlichkeit stammt von Stehle. Stehle (1966). Herold, Maßberg und Stute befassten sich in zwei umfangreichen Kapiteln mit organisatorischen Maßnahmen beim Einsatz von NC-Maschinen und deren Wirtschaftlichkeit. Vgl. Herold u. a. (1971), S. 246–304. Koschnick, Meyer und Rohs veröffentlichten ihre an der Technischen Akademie in Esslingen gehaltenen Kurse zur Vorgehensweise bei der Einführung von NC-Maschinen in einem Betrieb als Buch. Koschnick u. a. (1977).

Literatur gibt. Diese sollen mit dieser Arbeit reduziert werden, wofür auf die in der technikhistorischen Forschung üblichen Quellen zurückgegriffen wurde.

Die Auswertung der gedruckten Quellen und eine breit angelegte Archivrecherche ergaben, dass sich mit den verfügbaren Quellen nicht alle Lücken schließen lassen. In den Archiven wurden viele erhoffte Unterlagen nicht gefunden, insbesondere wenn es sich um Entscheidungsprozesse für oder gegen Investitionen in der Fertigung handelte. Diese wurden fast nie archiviert. Ein weiteres Problem war, dass einige nichtstaatliche Archive (Firmenarchive, Verbandsarchive) keine Einsicht gewährten, und viele Unterlagen bei Firmenübernahmen, Umzügen und Insolvenzen verloren gingen.

Ergänzend wurde deshalb versucht, die nach Auswertung der schriftlichen Quellen verbliebenen Lücken durch Interviews mit Zeitzeugen, also durch Oral History, zumindest teilweise zu schließen. Hierzu wurden Interviews mit mehreren Akteuren geführt, die im Untersuchungszeitraum in unterschiedlichen Positionen wichtige Beiträge zur NC-Einführung geleistet hatten. Insgesamt ergab sich dann eine ausreichende Quellengrundlage.

1.3.1 Gedruckte Quellen

Über NC-Steuerungen und NC-Maschinen gab es während und nach dem Untersuchungszeitraum eine Vielzahl von Fachveröffentlichungen, die für die Arbeit als gedruckte Quellen ausgewertet wurden. Die meisten befassten sich mit den NC-Steuerungen oder den Vorteilen einer NC-Maschine für die Fertigung bestimmter Teilefamilien. Dabei legten die Autoren in der Einführungsphase der NC-Maschinen oft großen Wert darauf, die wirtschaftlichen Vorteile der NC-Maschinen gegenüber den konventionellen Maschinen herauszustellen, welche sich durch kürzere Bearbeitungszeiten ergaben.

Die ersten Publikationen über NC-Maschinen erfolgten in US-Fachzeitschriften schon bald nach der MIT-Tagung vom 15. bis 17. September 1952, auf der die erste funktionsfähige NC-Fräsmaschine vorgestellt wurde.⁷⁸

Eine für das breite Publikum wichtige Zeitschrift war der „American Machinist“. In ihm erschienen ab 1954 zahlreiche Artikel über die NC-Technik. Bemerkenswert ist der „Special Report Number 377“ (23 Seiten) „Numerical Control – what it means to Metalworking“ vom 25. Oktober 1954, der alle damals bekannten Aspekte der noch jungen Technologie beleuchtete.⁷⁹ 1960 erschien ein zweiter, ähnlich umfangreicher Bericht, der wieder den aktuellen Stand repräsentierte.⁸⁰

⁷⁸ Einladung, Programm und Teilnehmerliste der Tagung befinden sich im Anhang B von Reintjes (1991), S. 196–200.

⁷⁹ Stocker/Emerson (1954).

⁸⁰ Stocker (1960).

Auch die weitverbreitete US-Fachzeitschrift „Control Engineering“⁸¹ nahm sich der NC-Technik immer wieder an.

Die westdeutschen Fachzeitschriften griffen erst mit einiger Verzögerung die NC-Technik auf. Hier sind an erster Stelle die Zeitschriften „Werkstatt & Betrieb“, „Werkstattstechnik“ und die „Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung“ zu nennen, deren Herausgeber/Berater im Untersuchungszeitraum die Professoren der westdeutschen fertigungstechnischen Hochschulinstitute waren. So erschien z. B. in „Werkstatt & Betrieb“ 1957 ein erster ausführlicher Artikel von Wilhelm Simon⁸² über den Entwicklungsstand von Werkzeugmaschinensteuerungen.⁸³

Die amerikanische Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago 1960 war die Initialzündung für die Einführung der NC-Technik (vgl. Kapitel 3.5). Immer mehr Werkzeugmaschinenhersteller und Endanwender beschäftigten sich auch in Westdeutschland mit der neuen Technologie, was zu einem deutlichen Anstieg der Veröffentlichungen führte.

Im Untersuchungszeitraum hatten alle großen westdeutschen Elektrokonzerne haus eigene Zeitschriften, in denen sie ihre Forschungs- und Entwicklungsergebnisse veröffentlichten. Dazu gehörten ab Anfang der 1960er Jahre auch die NC-Steuerungen.⁸⁴ Die ersten Veröffentlichungen kamen von der AEG, die Anfang 1961 eine erste Artikelserie zur NC-Technik in ihren AEG-Mitteilungen platzierte.⁸⁵

Das erste ausführliche westdeutsche Lehrbuch über numerische Steuerungen erschien 1963 von Wilhelm Simon⁸⁶. In seinem Buch fasste Simon das damalige Wissen über die NC-Technik zusammen; es ist heute eine hervorragende Quelle über den damali-

⁸¹ Z. B. der Aufsatz von Mergler (1962).

⁸² Simon wurde 1956 Assistent im Laboratorium für Technologie und Werkzeugmaschinen bei Prof. Stromberger an der TH-Darmstadt. 1958 erhielt er dort einen Lehrauftrag für eine Vorlesung über „Antriebe, Steuerung und Regelung von Werkzeugmaschinen“. 1960 habilitierte Simon an der TH Darmstadt mit einer Arbeit über NC-Steuerungen. Ab 1961 war er dann Dozent an der TH Darmstadt. Vgl. Simon (1960b), gez. S. 162. Schon 1959 hatte er die Leitung des Unterausschusses „Informationsverarbeitung“ der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure (ADB) übernommen. 1963 erschien sein Grundlagenwerk „Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen“. 1964 wurde Simon als ordentlicher Professor für „Automatisierung“ an die TU Berlin berufen. Als Folge seiner Berufung wurde 1965 an der TU Berlin das Institut für „Produktionstechnische Automatisierung“ gegründet. Vgl. Zentrum Berlin für Zukunftsforschung (1968), S. 25.

⁸³ Simon (1957b).

⁸⁴ Durchgesehen auf NC-relevante Veröffentlichungen ab Ende der 1950er Jahre wurden die AEG-Mitteilungen, die BBC-Mitteilungen (Baden, Schweiz), die BBC-Nachrichten (Mannheim), die SEL-Nachrichten und die Siemens-Zeitschrift bzw. ihr Nachfolger Siemens Energietechnik.

⁸⁵ Beispielsweise Pabst (1961) von der AEG. Ein erster Artikel von Siemens folgte ein halbes Jahr später. Feist (1961).

⁸⁶ Simon (1963).

gen Stand der NC-Technik. Von anderen Autoren folgten nach und nach weitere Lehrbücher.⁸⁷

Wichtige gedruckte Quellen sind auch die Berichte und Tagungsbände von den zahlreichen Tagungen und Kongressen, die im fertigungstechnischen Umfeld im Untersuchungszeitraum stattfanden. So wurde auf fast allen Kongressen ab dem AWK⁸⁸ 1956 mindestens ein Vortrag gehalten, der die NC-Technik zumindest in irgendeiner Form erwähnte. Die Tagungs- bzw. Kongressberichte erschienen anfangs meistens in Fachzeitschriften, verteilt über mehrere Ausgaben, manchmal aber auch zusammengefasst in einem Sammelband einer Schriftenreihe. Gegen Ende des Untersuchungszeitraums lagen die Vorträge oft als Vorabdruck von Zeitschriftenaufsätzen schon zu Beginn der Tagung vor.⁸⁹ Speziell auf den großen, von den Universitäten organisierten fertigungstechnischen Tagungen hielten oft auch Führungskräfte aus der Industrie Vorträge und berichteten von ihren Erfahrungen mit NC-Maschinen.⁹⁰

1.3.2 Öffentliche Archive

Hochschularchive

Im Rahmen der Arbeit gab es Kontakte zu den wichtigsten Archiven der Hochschulen mit fertigungstechnischen Instituten, d. h. zur TU Berlin, der RWTH Aachen, der TU Darmstadt und der Universität Stuttgart. Ziel war es, Hintergrundinformationen zu Institutsneugründungen (Institut für Automatisierung in Berlin und Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen in Stuttgart) und zu Ehrenpromotionen wichtiger Persönlichkeiten im Umfeld der NC-Einführung zu erhalten.

Aus dem Archiv der Universität Stuttgart wurden vor allem die Unterlagen zur Gründung des Lehrstuhls „Werkzeugmaschinen B“ und die damit verbundene Berufung von Gottfried Stute zum ordentlichen Professor ausgewertet. Besonders wertvoll waren die Unterlagen des IFF⁹¹, dessen ehemaliger Leiter Dolezalek sich für Einrichtung des neuen Lehrstuhls einsetzte (vgl. Kapitel 4.9.3). Die Unterlagen gaben auch Einblick in seine Aktivitäten als Obmann des Ausschusses „Automatisierung“ in der ADB⁹², einer

⁸⁷ Etwa Kohring (1966) und Herold u. a. (1971).

⁸⁸ Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium. Das Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium ist auch heute noch die wichtigste fertigungstechnische Tagung in Deutschland.

⁸⁹ Zu Beginn des Fertigungstechnischen Kolloquiums (FTK) 1979 lagen z. B. die Vorträge als Vorabdruck der Zeitschrift „wt Werkstattstechnik“ für die Tagungsteilnehmer vor. Vgl. FTK (1979), Inhaltsverzeichnis.

⁹⁰ Z. B. Goebel u. a. (1971) auf dem Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium (AWK).

⁹¹ Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb.

⁹² Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure. Durch die Neustrukturierung des VDI wurde 1973 aus der ADB die VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB).

Unterorganisation des VDI⁹³. Daraus war das große Engagement der ADB bei der NC-Einführung ersichtlich. Dies war insofern wichtig, da das VDI-Archiv in Düsseldorf darüber keine Unterlagen mehr hat.

Während das Archiv der TU Berlin keine Unterlagen zur Gründung des Instituts für Automatisierung unter Simon hatte, war das Archiv des IWF in Berlin eine außerordentlich ergiebige Quelle. Das lag daran, dass unter dem ehemaligen Institutsleiter Spur zahlreiche Arbeiten zur NC-Technik und ihrer Geschichte angefertigt wurden. Er veranlasste, dass die dafür gesammelten Unterlagen an seinem Institut archiviert wurden. So befinden sich dort beispielsweise viele Prospekte aus den 1960er Jahren von Steuerungs- und Werkzeugmaschinenherstellern für Studien- und Diplomarbeiten, aber auch Arbeitsunterlagen zu Dissertationen.

Scans von Vorlesungsverzeichnissen, aus denen die Lehrtätigkeit zu NC-Steuerungen abgeleitet werden konnte, wurden von den Universitätsarchiven der RWTH Aachen, Berlin, Darmstadt und Stuttgart auf Nachfrage zur Verfügung gestellt.

Unterlagen zur Entwicklung der fertigungstechnischen Institute wurden in den Universitäts- und Institutsarchiven nur vereinzelt vorgefunden. Die Institute verwalteten alle ihre Unterlagen selbst und waren nicht verpflichtet, sie bei einem Wechsel der Institutsleitung an die Universitätsarchive abzugeben. Die Konsequenz war, dass viele Unterlagen der Institute im Laufe der Zeit, oft auch durch Umzüge, verloren gingen. So hat z. B. das Universitätsarchiv Stuttgart fast keine Bestände über die Entwicklung des ISW⁹⁴. Noch ungünstiger sah es in Berlin beim Institut für Automatisierung aus, das Simon 1964 gründete. Hierüber gibt es im Berliner Universitätsarchiv keine Unterlagen. Ähnlich war die Situation an der RWTH Aachen beim WZL und in Darmstadt beim PTW⁹⁵. Etwas reduziert wird dieser Mangel durch Jubiläumsschriften, die von einzelnen Instituten erschienen sind.⁹⁶

Hilfreich waren die Universitätsarchive bei Unterlagen zu Personen, denen die Ehren doktorwürde verliehen worden war, da die Gründe für die Verleihung dokumentiert werden mussten.

⁹³ Verein Deutscher Ingenieure.

⁹⁴ Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen an der Universität Stuttgart.

⁹⁵ Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen an der Universität (früher Technischen Hochschule) Darmstadt.

⁹⁶ Die Geschichte des WZL in Aachen ist z. B. ausführlich im Buch „100 Jahre Produktionstechnik“ beschrieben (Eversheim u. a. (2006)), die des vergleichbaren IWF in Berlin u. a. von Spur im Buch „Vom Faustkeil zum digitalen Produkt“, das zum hundertjährigen Jubiläum des IWF erschien (Spur (2004)). Zum 125-jährigen Jubiläum des PTW an der TU Darmstadt erschien eine kurze Festschrift (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (2013)), ebenso zum 25-jährigen Jubiläum des ISW an der Universität Stuttgart (ISW Stuttgart (1990)).

Wirtschaftsarchive

Wichtige Archive für technikhistorische Recherchen sind die Wirtschaftsarchive. Diese archivieren typischerweise Unterlagen von erloschenen Firmen, Vereinen, Verbänden und Kammern, manchmal aber auch Unterlagen aus der Anfangszeit noch bestehender Firmen und Nachlässe von Privatpersonen zu speziellen Themen.⁹⁷

Im Rahmen der Arbeit gab es Kontakte zum Bayrischen Wirtschaftsarchiv (wg. seines Bestandes zur Friedrich Deckel AG), zum Hessischen Wirtschaftsarchiv (wg. seines Bestandes zum VDW), zum Rheinisch-Westfälischen Wirtschaftsarchiv (wg. seines Bestandes zur Deutz AG) und zum Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (WABW).

Für die Arbeit relevante Unterlagen hatte nur das WABW.⁹⁸ Dort wurden u. a. auch Unterlagen von einigen nicht mehr bestehenden Werkzeugmaschinenherstellern eingesehen. Diese gaben für den Untersuchungszeitraum Einblick in den schwierigen Entscheidungsprozess, ob und wann bei diesen Firmen NC-Maschinen in das Fertigungsprogramm aufgenommen werden sollten.⁹⁹

Die für die Arbeit interessantesten Archivalien des WABW waren die der IHK-Region Stuttgart.¹⁰⁰ Diese befassten sich u. a. mit der Frage, ob und wenn ja wie stark sich die IHK bei der Weiterbildung der Facharbeiter bzgl. der NC-Technik engagieren sollte. Die Ergebnisse flossen in Kapitel 8.1.4 ein.

Außerdem verwaltet das WABW Teile des Archivs der baden-württembergischen Sektion des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA).¹⁰¹ Für den Untersuchungszeitraum enthielt der Bestand nur wenig Material direkt zu Werkzeugmaschinen, da sich der VDMA fast ausschließlich mit übergeordneten Themen wie Lohnpolitik, Konjunktur, Ausbildung und Nachwuchsgewinnung beschäftigt.

⁹⁷ Die Bestände der Wirtschaftsarchive sind unterschiedlich strukturiert und nicht auf erloschene Firmen etc. beschränkt. Manche Firmen etc. übergeben z. B. ihre „alten“ Unterlagen den Wirtschaftsarchiven, verwalten aber die Neueren noch selbst. Die Wirtschaftsarchive wurden zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten gegründet: Das Rheinisch-Westfälische Wirtschaftsarchiv (RWVA) z. B. schon 1906 (vgl. Industrie- und Handelskammer Köln (2019)), das Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (WABW) hingegen erst 1980 (vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (2020)). Bestände von Firmen, die vor 1980 in Baden-Württemberg erloschen waren, konnten nur noch in Ausnahmefällen ins WABW überführt werden.

⁹⁸ Von den genannten Wirtschaftsarchiven wurden nur das Rheinisch-Westfälische Wirtschaftsarchiv und das Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg besucht. Bei den anderen konnte telefonisch geklärt werden, dass sie keine für die Arbeit relevanten Archivalien haben.

⁹⁹ Durchgesehen wurden die Archivalien zu Böhner & Köhle (Bestand Y209), Boley & Leinen (Bestand Y22), G. Boley (Bestand Y266) und Hahn & Kolb (Bestand Y181). Außerdem wurde das im WABW vorhandene Archivmaterial der Gebr. Boehringer (Bestand B10) gesichtet. Im Gegensatz zu den noch in Göppingen vorhandenen Unterlagen des Firmenarchivs hatte das WABW keine für die Arbeit relevanten Unterlagen.

¹⁰⁰ Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16; IHK Stuttgart (1924–2010).

¹⁰¹ Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW V5; VDMA Landesverband Baden-Württemberg (o. J.). Der Bestand deckt den Zeitraum von 1947–2011 ab.

1.3.3 Firmenarchive

Archive der großen deutschen Elektrokonzerne

Eine Schlüsselrolle bei der Einführung der NC-Technik in der Bundesrepublik Deutschland spielten die westdeutschen Elektrokonzerne AEG, BBC Deutschland, Dr. Masing (Bosch), SEL und Siemens. Diese boten ab Anfang der 1960er Jahre NC-Steuerungen und zum Teil auch elektrische Antriebe für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen an. Wichtig ist auch noch die Firma Heidenhain, die Anfang der 1960er Jahre nur Wegmesssysteme für NC-Maschinen anbot, ihr Fertigungsprogramm aber am Ende des Untersuchungszeitraums um NC-Steuerungen erweiterte und heute der zweitgrößte deutsche Anbieter von elektrischen Komponenten für NC-Maschinen ist (vgl. Kapitel 4.11).

Im Folgenden werden die Firmenarchive der ehemaligen AEG und von Siemens kurz vorgestellt, da nur aus ihnen Unterlagen für die Arbeit ausgewertet wurden. BBC Deutschland und die ehemalige SEL haben kein Archiv. Das Archiv von Heidenhain ist nicht zugänglich.¹⁰²

Von der AEG, einem der Pioniere der westdeutschen NC-Technik, gibt es kein firmeneigenes Archiv mehr, denn sie meldete 1982 Vergleich an.

Die AEG wurde 1985 von der Daimler-Benz AG übernommen und 1996 mit der Daimler-Benz AG verschmolzen. Dabei wurden viele Firmenteile veräußert. Teile des AEG-Archivs wurden bei der Verschmelzung vom Deutschen Technikmuseum Berlin (DTMB) übernommen (vgl. Kapitel 4.11.1). Darunter fanden sich auch einige Unterlagen aus den Anfängen der NC-Entwicklung bei der AEG bis Mitte der 1960er Jahre, die für die Arbeit relevant waren.

Von den westdeutschen Elektrokonzernen, die schon Anfang der 1960er Jahre NC-Steuerungen anboten, stellt heute nur noch die Siemens AG NC-Steuerungen her (vgl. Kapitel 4.11.7). Das Siemens-Archiv hat allerdings nur wenig für die Arbeit relevante Unterlagen aus der Anfangszeit der NC-Technik. Dazu gehören insbesondere Unterlagen zur Zusammenarbeit mit dem japanischen NC-Hersteller Fanuc und einige alte Prospekte.

Für die Arbeit wurden die Unterlagen des Siemens-Archivs durch Archivalien aus Privatarchiven ergänzt, die ehemalige Siemens-Mitarbeiter dem Verfasser bei Interviews überließen oder in die sie Einblick gewährten (vgl. auch Kapitel 1.3.6).

¹⁰² Bei Heidenhain konnte das Firmenmuseum besucht werden. Es enthält die wichtigsten Produkte der Firmengeschichte zusammen mit historischen Informationen.

Sehr wenig Material hatten die Archive zur Antriebstechnik für Werkzeugmaschinen, obwohl ab den 1970er Jahren NC-Maschinen zunehmend mit elektrischen Antrieben ausgerüstet wurden.¹⁰³

Zusammengefasst gab es aus der Frühzeit der NC-Technik von den Herstellern der NC-Steuerungs- und Antriebstechnik nur wenig Material in Firmenarchiven. Die Lücken mussten deshalb durch die Auswertung von gedruckten Quellen, Privatarchiven und Interviews geschlossen werden.

Archive der Werkzeugmaschinenhersteller

Auch bei den Werkzeugmaschinenherstellern war die Einsicht in Archivmaterial schwierig. Dafür gab es folgende Gründe:

- Mehrere Werkzeugmaschinenhersteller, die eine wichtige Rolle im Untersuchungszeitraum spielten, sind mittlerweile durch Insolvenzen oder Firmenübernahmen vom Markt verschwunden. Da im Untersuchungszeitraum das technikhistorische Interesse noch nicht ausgeprägt, und das Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (WABW) noch nicht gegründet war, wurden bei Insolvenzen, Firmenübernahmen etc. oft alle nicht betriebsnotwendigen Unterlagen vernichtet.
- Viele Werkzeugmaschinenhersteller sind kleine, mittelständische Betriebe. Sie verfügen über kein Archiv, in dem die Akten der Geschäftsleitung systematisch gesammelt wurden. Archiviert wurden nur die Maschinenakten, da diese für Service und Instandhaltung der ausgelieferten Maschinen benötigt wurden. Selbst wenn alte Unterlagen der Geschäftsführung noch vorhanden sind, gibt es meistens niemand, der sich in alten Unterlagen auskennt. Der Zugang wird deshalb abgelehnt, weil er mit einem sehr großen Aufwand für das Unternehmen verbunden ist.
- Selbst bei halbwegs geordneten Unterlagen wird Außenstehenden die Einsicht von der Geschäftsleitung oft mit dem Argument des „Datenschutzes“ verweigert.

Trotz dieser Einschränkungen konnte Archivmaterial bei den Gebr. Boehringer in Göppingen und Gebr. Heller in Nürtingen eingesehen werden.¹⁰⁴

Eine glückliche Konstellation für die Archivrecherche gab es bei dem traditionsreichen Drehmaschinenhersteller Gebr. Boehringer in Göppingen. Boehringer war bis 1972 in Familienbesitz und wurde dann bis 1978 in mehreren Tranchen an das Schweizer Rüstungsunternehmen Oerlikon verkauft. Geschäftsführer war aber noch bis Ende 1980

¹⁰³ Dies gilt auch für Indramat, den im Untersuchungszeitraum einzigen westdeutschen reinen Antriebshersteller für permanentmagneterregte Servoantriebe. Indramat war ab Mitte der 1970er Jahre den damals marktbeherrschenden amerikanischen Anbietern technisch ebenbürtig (vgl. Kapitel 7.4.2) und ist heute in der Bosch-Tochter Rexroth aufgegangen.

¹⁰⁴ Dabei handelt es sich allerdings nicht um systematisch gepflegte Archive mit eindeutigen Signaturen und Findbüchern.

Werner Boehringer von der Gründerfamilie. 1981 wurde der Name in Oerlikon-Boehringer geändert. Ab 1987 wechselte Boehringer dann mehrfach den Eigentümer; aktuell werden in Göppingen keine Boehringer-Maschinen mehr produziert (vgl. Kapitel 5.1). Der alte Standort in Göppingen ist aber noch vorhanden. Dort befand sich 2016 auch noch das ehemalige Archiv von Boehringer.

Werner Boehringer, der letzte ehemalige Geschäftsführer aus der Familie, hat es sich in den letzten Jahren zur Aufgabe gemacht, die noch vorhandenen Unterlagen zu sichten und evtl. weitere Teile an das Württembergische Wirtschaftsarchiv in Stuttgart zu überführen.¹⁰⁵ Durch Kontakt zu Werner Boehringer konnten im Keller des ehemaligen Verwaltungsgebäudes in Göppingen umfangreiche Unterlagen gesichtet werden, die Einblick in die Einführung der NC-Technik bei Boehringer geben.¹⁰⁶

Bei den Gebr. Heller in Nürtingen konnten im Maschinenarchiv alte Maschinenakten und allgemeine Unterlagen der Konstruktionsabteilung eingesehen werden, in einem weiteren Archiv Unterlagen aus dem Umfeld der Geschäftsleitung. Letztere enthielten im Wesentlichen alte Prospekte, Zeitungsausschnitte und Belegexemplare von Veröffentlichungen der Heller-Mitarbeiter. Besprechungsprotokolle der Geschäftsleitung zur Entwicklung numerisch gesteuerter Maschinen waren leider nicht darunter.

Die Firma Trumpf GmbH & Co. KG hat ein nichtöffentliches Archiv. Auf konkrete Nachfrage wurden dem Verfasser einige Informationen, speziell über die ersten Trumpf NC-Maschinen zur Verfügung gestellt.

Insgesamt war die Verfügbarkeit von Archivunterlagen bei den ausgewählten Werkzeugmaschinenherstellern besser als bei den Elektrounternehmen; aber auch hier wurden für die Arbeit die Archivunterlagen durch die Auswertung von gedruckten Quellen und Interviews ergänzt.

Archive der Endanwender

Die Archive der großen Anwender von Werkzeugmaschinen waren für die Untersuchung der Einführung der NC-Technologie in der Bundesrepublik Deutschland eine

¹⁰⁵ Im Juli 1981, etwa zur Zeit der Umbenennung der Firma Gebr. Boehringer in Oerlikon-Boehringer, wurden Archivalien, die hauptsächlich den Zeitraum zwischen 1900 und 1945 abdecken (vereinzelt auch bis in die 1970er Jahre) vom Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (WABW) übernommen (vgl. Kollmer-von Oheimb-Loup (1985), S. I–III). Die Unterlagen der Gebr. Boehringer im WABW stammen also hauptsächlich aus der Zeit vor dem Untersuchungszeitraum.

¹⁰⁶ Die Unterlagen durften fotografiert werden, waren im Archiv allerdings auch nicht eindeutig signiert, sodass ein späteres Wiederauffinden schwierig sein wird. Ungeklärt ist, wie mit den Unterlagen langfristig verfahren wird. Einige Unterlagen, insbesondere Dubletten, durfte der Verfasser behalten und werden als Bestand im Privatarhiv Wissert zitiert. Außerdem befinden sich noch Unterlagen im Privatbesitz von Werner Boehringer. Diese werden als Privatarhiv Werner Boehringer zitiert, wenn dem Verfasser Fotografien vorliegen.

wichtige Quelle. Schließlich entschieden die „Werkzeugmaschinenverbraucher“ mit der Beschaffung von NC-Maschinen darüber, ob sie die Fertigung mit NC-Maschinen im Vergleich zu den eingeführten Fertigungsmethoden für eine Alternative hielten. Anhand der am Anfang von Kapitel 6 erläuterten Kriterien wurden drei Endanwender für die Untersuchung ausgewählt. Auf die Beiträge von deren Firmenarchiven für die vorliegende Arbeit wird im Folgenden kurz eingegangen.

Das Firmenarchiv der heutigen Daimler AG¹⁰⁷, früher Daimler-Benz AG (im Folgenden Daimler genannt), ist öffentlich zugänglich. Recherchen in den Findbüchern erbrachten nur wenig verwertbare Unterlagen über die NC-Einführung, aber den Hinweis, dass die Einführung der NC-Technik bei Daimler im Wesentlichen von der Verfahrensentwicklung (VE) gesteuert wurde. Weitere Nachforschungen ergaben, dass die VE ein kleines eigenes, unverzeichnetes Archiv hat. Daraus durften für die Arbeit relevante Unterlagen kopiert werden. Außerdem hatte die VE zu ihrem 50-jährigen Jubiläum für ihre Mitarbeiter ein Buch zur Geschichte der VE zusammengestellt, in dem in zwei Kapiteln über Einführung der NC-Technologie berichtet wurde.¹⁰⁸ Insgesamt ergibt sich aus diesen Unterlagen ein Bild über die Einführungsphase der NC-Technik bei Daimler, das hauptsächlich auf dem „inoffiziellen“ Archiv der VE und dem Jubiläumsbuch basiert (vgl. Kapitel 6.1).

Die Heidelberger Druckmaschinen AG (im Folgenden Heidelberger genannt), früher Schnellpresse Heidelberg¹⁰⁹, war im Untersuchungszeitraum einer der ganz großen NC-Anwender. Details hierzu finden sich in Kapitel 6.1. Leider hat Heidelberger kein offizielles Firmenarchiv.¹¹⁰ Nach intensiven Rückfragen stellte sich aber heraus, dass der Maschineneinkauf noch einige Unterlagen zu den ersten Beschaffungen von NC-Maschinen aufbewahrte. Diese enthielten überraschend viele Informationen über die NC-Einführung und die Vorgehensweise der damaligen Entscheider. Zusätzlich konnten noch einige ehemaligen Mitarbeiter aus dem Umfeld der damaligen Entscheider¹¹¹ und wichtiger Zulieferer¹¹² interviewt werden (vgl. Kapitel 1.3.6), sodass sich die

¹⁰⁷ Am 1. Februar 2022 nannte sich die Daimler AG in Mercedes-Benz Group AG um. Vgl. o. V. (2021a).

¹⁰⁸ Bartl u. a. (2002).

¹⁰⁹ Den zügigen Ausbau des Offset-Maschinen-Programms unterstrich die „Schnellpressenfabrik“ 1967 durch die Namensänderung in „Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft“. Moormann (2000), S. 69.

¹¹⁰ Im Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg befindet sich seit Kurzem ein noch unverzeichneter Teilbestand von Heidelberger (Bestand Y486). Nach Auskunft des zuständigen Archivars sind darunter aber keine für die Arbeit relevanten Unterlagen.

¹¹¹ Z. B. mit Herrn Kenn (Kenn (28.01.2017)), einem zeitweisen engen Mitarbeiter des Produktionsvorstandes Kuhnert, und Herrn Bader, einem ehemaligen NC-Programmierer, der die Interessen von Heidelberger im EXAPT-Verein wahrnahm (Bader (15.02.2017)).

¹¹² Z. B. Herr Weinlich, der Entwickler der damaligen NC-Spezialsteuerungen für Heidelberger (Weinlich (16.02.2016)) und Herr Geiger, der Entwickler der Burr-Bearbeitungszentren für Heidelberger (Geiger (24.11.2016)).

Quellenlage weiter verbesserte. Die Interviews waren eine wichtige Ergänzung, da Heidelberger fast über den gesamten Untersuchungszeitraum großen Wert auf die Geheimhaltung seiner Fertigungsmethoden legte und deshalb nur sehr wenig über seine wegweisende NC-Fertigung veröffentlichte.

Die ehemalige Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg (MAN) verfügt über zwei Archive. Ein Archiv befindet sich in Augsburg und ist an das dortige MAN-Museum angeschlossen. Das „Historische Archiv der MAN Truck & Bus SE“ befindet sich in München-Karlsfeld.¹¹³

Die MAN-Archive besitzen sehr interessante Unterlagen zur Einführung der NC-Technik. Diese befinden sich hauptsächlich in den Sitzungsprotokollen der sogenannten Betriebskommission (BK), die meistens halbjährlich tagte. Die Sitzungsprotokolle sind über die zwei Archivstandorte fast lückenlos vorhanden, insbesondere für den relevanten Zeitraum zwischen 1960 und 1980. Die BK setzte sich aus den für die Fertigung zuständigen Vorständen und Direktoren der M.A.N.-Gruppe und leitenden Mitarbeitern der Maschinenfabriken im GHH-Konzern zusammen. Auf den BK-Sitzungen tauschten sich die BK-Mitglieder über organisatorische Probleme, Entlohnung und neue Fertigungstechnologien aus. Dazu gehörte ab etwa 1960 auch die NC-Technik, über die auf den BK-Sitzungen immer wieder diskutiert wurde. Die Protokolle sind sehr ausführlich und enthalten im Anhang oft eine schriftliche Version der gehaltenen Vorträge. Aus den über mehrere Jahre vorliegenden Vorträgen zur NC-Technik wurde so ersichtlich, mit welchen praktischen und organisatorischen Problemen der GHH-Konzern sich bei der NC-Einführung auseinandersetzte und welche Bedeutung die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen für den GHH-Konzern bei der Beschaffung hatte (vgl. Kapitel 6.3).

1.3.4 Verbands- und Vereinsarchive

Wenige für die Arbeit relevante Unterlagen hatten die Archive der Verbände und Vereine im Umfeld des deutschen Werkzeugmaschinenbaus. Um Archiveinsicht gebeten wurden der „Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau e. V.“ (VDMA),¹¹⁴ der „Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken“ (VDW)¹¹⁵ und der „Verein Deutscher

¹¹³ MAN SE (2019).

¹¹⁴ Der VDMA vertritt über 3.400 Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus und ist damit die größte Netzwerkorganisation in Europa. Der Verband vertritt die gemeinsamen wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Interessen des Maschinenbaus, insbesondere gegenüber nationalen und internationalen Behörden und Wirtschaftskreisen. Vgl. VDMA (2021). Ein Teil des Archivmaterials des Landesverbandes Baden-Württemberg befindet sich im Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg. Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW V5; VDMA Landesverband Baden-Württemberg (o. J.).

¹¹⁵ „Der VDW vertritt die gemeinsamen wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Interessen des Werkzeugmaschinenbaus gegenüber der Politik, anderen Wirtschaftszweigen und der Öffentlichkeit.“ Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (2019b).

Ingenieure“ (VDI)¹¹⁶. Dabei stellte sich heraus, dass der VDW Externen prinzipiell keinen Zugang zu seinem Archiv ermöglicht und VDI und VDMA keine relevanten Unterlagen in ihren Beständen hatten. VDI und VDW verwiesen als Ausweg auf ihre zahlreichen gedruckten Quellen. So veröffentlichte der VDW seine in Zusammenarbeit mit den Hochschulen im Untersuchungszeitraum gewonnenen Forschungsergebnisse in seinen VDW-Forschungsberichten, von denen z. B. die Technische Informationsbibliothek (TIB) in Hannover eine vollständige Sammlung besitzt.

Der VDI veröffentlichte z. B. den Arbeitsstand seiner Ausschüsse zu VDI-Richtlinien¹¹⁷, darunter auch die zur NC-Technik, in der Zeitschrift „Werkstattstechnik“, die bis heute das Organ der zuständigen VDI-Fachgruppe „Betriebstechnik“ (ADB)¹¹⁸ ist.¹¹⁹

Ergänzend zu den gedruckten Quellen wurden einige Unterlagen in anderen Archiven gefunden. So befinden sich einige Protokolle zur Normungsarbeit der ADB im Archiv der Gebr. Heller.¹²⁰ Zahlreiche Unterlagen zur Zusammenarbeit zwischen dem VDI, VDW und den Hochschulen vor allem in den 1960er Jahren hat z. B. das Universitätsarchiv Stuttgart (Bestand 27). Im Archiv des Württembergischen Ingenieurvereins (WIV)¹²¹ in Stuttgart fanden sich noch einige Unterlagen, die einen Einblick in die Aktivitäten des VDI geben, um die berufstätigen Ingenieure Anfang der 1960er Jahre über die NC-Technik in Vorträgen und Seminaren zu informieren und bei Bedarf zu schulen.

Zusammengefasst stand von den für die NC-Technik wichtigen Verbänden und Vereinen aus dem Umfeld der Werkzeugmaschinen für den Untersuchungszeitraum nicht sehr viel auswertbares Archivmaterial zur Verfügung. Die Unterlagen sind entweder nicht zugänglich oder nicht mehr vorhanden. Für die Arbeit konnte deshalb oft nur auf gedruckte Quellen in Fachzeitschriften zurückgegriffen werden.

¹¹⁶ Der VDI ist im Unterschied zum VDMA und VDW kein Unternehmensverband, sondern ein Zusammenschluss bzw. eine Interessenvereinigung der Ingenieure. Er ist deshalb nicht weisungsgebunden und kann flexibler agieren.

¹¹⁷ Eine der selbst gestellten Aufgaben des VDI ist die Entwicklung von VDI-Richtlinien, die einen Empfehlungscharakter für die Ausführung technischer Lösungen haben und oft Vorläufer von Normen sind. Die VDI-Richtlinienarbeit ist in der VDI-Richtlinie 1000 definiert. Vgl. VDI-Richtlinie 1000:2017-02.

¹¹⁸ Die ADB, heute VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB), ist eine Unterorganisation des VDI. Im Untersuchungszeitraum erarbeitete der Unterausschuss „Informationsverarbeitung“ des Ausschusses „Automatisierung in der Fertigung“ die VDI-Richtlinien zur NC-Technik. Vgl. hierzu Kapitel 4.12.

¹¹⁹ Die offiziellen Versionen der Richtlinien werden bis heute im Berliner Beuth-Verlag veröffentlicht.

¹²⁰ Rückfragen beim VDI in Düsseldorf ergaben, dass die für die Arbeit interessanten Protokolle des ADB-Unterausschusses „Informationsverarbeitung“ nicht mehr auffindbar sind. Sie wurden angeblich beim Umzug des Archivs vernichtet.

¹²¹ Der Württembergische Ingenieurverein ist ein Unterverband des VDI.

1.3.5 Gewerkschaftsarchive

Von den Gewerkschaftsarchiven wurde nur das Archiv der IG Metall ausgewertet. Es wird heute vom Archiv der sozialen Demokratie (AdsD)¹²² in Bonn verwaltet.¹²³

Das AdsD hat viele Unterlagen von der mit den Auswirkungen der Automatisierung hauptsächlich befassten IG-Metall-Abteilung „Automation und Kernenergie“¹²⁴. Der umfangreiche Bestand dieser Abteilung gibt einen guten Einblick in deren Arbeit. Die Ergebnisse aus der Auswertung des Archivmaterials flossen hauptsächlich in das Kapitel 8.2 ein und wurden durch Interviews mit einem ehemaligen Mitarbeiter dieser Abteilung ergänzt.¹²⁵ Dieser hatte sich hauptsächlich mit den Auswirkungen der NC-Technik auf die Facharbeiter beschäftigt (vgl. auch Kapitel 1.3.6).

Ergänzt wird das Archivmaterial durch zahlreiche gedruckte Quellen, die die IG Metall im Untersuchungszeitraum veröffentlichte. Dazu zählen z. B. die in Buchform veröffentlichten Vorträge auf ihren Automatisierungstagungen der 1960er Jahre.

1.3.6 Oral History

Die bisher vorgestellten Quellen weisen Lücken auf. Es wurde daher versucht, diese durch Interviews mit Zeitzeugen, d. h. durch die sogenannte Oral History¹²⁶, zu schließen.

Die Methode der Oral History wurde in der Breite zuerst im angelsächsischen Raum ab den 1960er Jahren angewandt.¹²⁷ Allerdings gab es auch schon Vorläufer der Methode.¹²⁸ Zunächst soll kurz die prinzipielle Vorgehensweise der Oral History vorgestellt werden, bevor ihre Grenzen und Schwächen diskutiert werden.

Bei der Oral History wird das Gespräch oder Interview mit dem Gesprächspartner auf einem Tonträger oder als Video aufgezeichnet und danach transkribiert, d. h. in eine

¹²² Träger des AdsD ist die Friedrich-Ebert-Stiftung.

¹²³ Ab Mitte der 1980er Jahre übernahm das AdsD nach und nach die Archive vieler Einzelgewerkschaften des Deutschen Gewerkschaftsbundes (DGB). 1995 beschloss auch der DGB, sein Archiv dem AdsD anzuvertrauen. Vgl. Krause (2006), S. 13.

¹²⁴ Bestand 5/IGMA, Vorstand. Krause (2006), S. 523.

¹²⁵ Blum (25.2. und 18.07.2016).

¹²⁶ Ein Leitfaden zur Oral History erschien z. B. 2013 von Michael Egger, der auch die Probleme und Risiken der Oral History behandelte. Egger (2013).

¹²⁷ Vgl. Egger (2013), S. 12. Nach Vorländer hat sich auch in der Bundesrepublik Deutschland der amerikanische Begriff eingebürgert, weil es keinen Konsens für eine deutsche Übersetzung gibt. Vgl. Vorländer (1990), S. 7.

¹²⁸ Strittig ist, ab wann der Begriff Oral History üblich war. Nach Egger sind manche Fachleute der Meinung, dass es Oral History erst ab der allgemeinen Verfügbarkeit von leicht tragbaren Sprachaufzeichnungsgeräten gibt. Für andere sind auch aus schriftlichen Aufzeichnungen transkribierte Gespräche Oral History, was schon deutlich früher erfolgte. Vgl. Egger (2013), S. 11–13. Abrams berichtet, dass 1953 die israelische Regierung ein Projekt startete, um die Erlebnisse von Überlebenden des Holocausts auf Tonbänder aufzunehmen und auszuwerten. Vgl. Abrams (2010), S. 154.

schriftliche Form gebracht. Für die Transkription gibt es verschiedene Methoden. So ist es z. B. bei Transkriptionen von Interviews im sozialen Bereich wichtig, auch möglichst viele der nonverbalen Äußerungen in der Transkription zu dokumentieren.¹²⁹ Bei Interviews von technischen Experten zu ihrem Fachgebiet ist dies eher unwichtig, da es meistens um (technische) Fakten geht. Bei der Transkription von „Experteninterviews“ wird deshalb auf die Transkription der nonverbalen Äußerungen meistens verzichtet.¹³⁰

Nach Egger wurde ab Beginn der 1980er Jahre die Oral-History-Methode verstärkt kritisiert, weil oft versäumt wurde, die Ergebnisse einer Quellenkritik zu unterziehen, wie es bei schriftlichen Quellen eigentlich üblich ist.¹³¹ Bemängelt wurde insbesondere, dass bei länger zurückliegenden Ereignissen die Gefahr besteht, dass die Erinnerung an das Ereignis nur ein geschöntes Zerrbild sei. Dadurch könne die Erinnerung nur wenig zur Klärung eines historischen Sachverhalts beitragen.¹³² Rosenthal widerspricht diesem Vorwurf mit dem Hinweis, dass der zeitliche Abstand zwischen Ereignis und Interview kein Kriterium für den Modifizierungsgrad der Erzählung ist.¹³³ Ein häufiges Problem ist auch, dass die interviewte Person über die Ereignisse – vor allem wenn sie aktiv in das Geschehen eingebunden und nicht nur Beobachter war – oft sehr subjektiv berichtet und den eigenen Beitrag zur Entwicklung überbewertet. Bei einem solchen Verdacht müssen die Aussagen bei der Auswertung des Interviews einer besonders intensiven Quellenkritik unterzogen werden. Eine gut handhabbare Empfehlung, wie mit dem methodischen Problem der Oral History umgegangen werden kann, hat Geppert zusammengestellt.¹³⁴

Ein grundsätzliches Problem bei allen für die Arbeit geführten Interviews war, dass die NC-Einführung und ihre Auswirkungen zum Zeitpunkt der Interviews ungefähr zwischen 40 und 60 Jahren zurücklagen. Es war deshalb zu erwarten, dass schon ein erster Vergleich der einfach nachprüfbaren Fakten bei der Transkription Differenzen zu schriftlichen Quellen ergibt, insbesondere bei der zeitlichen Verortung.¹³⁵ Diese „Fehler“ wurden dann bei der Autorisierung angesprochen und in Abstimmung mit dem

¹²⁹ Hierzu zählen vor allem die Mimik und andere körperliche Reaktionen.

¹³⁰ Vgl. Gläser/Laudel (2010), S. 194. Die Vereinfachungen, die Gläser und Laudel bei der Transkription von Experteninterviews vorschlagen, beziehen sich auf Interviews im sozialwissenschaftlichen Umfeld. Im technikhistorischen Umfeld sind die nicht verbalen Äußerungen weniger wichtig, sodass diese Vereinfachung der Transkription bei den vom Autor durchgeführten Interviews gemacht wurde.

¹³¹ Vgl. Egger (2013), S. 56. In der Arbeit besteht die Quellenkritik im Wesentlichen aus Plausibilitätsüberprüfungen durch andere Interviews oder gedruckte Quellen.

¹³² Vgl. Egger (2013), S. 55.

¹³³ Vgl. Rosenthal (1995), S. 83.

¹³⁴ Vgl. Geppert (1994), S. 313–318.

¹³⁵ Auch Geppert empfiehlt Quer- oder Kontrollvergleiche, um die „Übereinstimmung einzelner Aussagen entweder miteinander oder den historisch gesicherten Tatbeständen“ vorzunehmen. Geppert (1994), S. 317.

Interviewpartner korrigiert. Generell fiel bei den Interviews auf, dass die Zeitzeugen sich an Zusammenhänge deutlich besser erinnerten als an die genaue zeitliche Abfolge.¹³⁶

Insgesamt ergibt sich, dass trotz der geschilderten Problematik transkribierte Interviews dann wertvoll und aussagekräftig sind,¹³⁷ wenn für wichtige Aspekte wenige oder keine anderen Quellen zur Verfügung stehen.¹³⁸ Hilfreich für die Bewertung der Interviewqualität ist, wenn zu wichtigen Aspekten eine grundsätzliche Übereinstimmung mit anderen Zeitzeugen oder Quellen besteht.¹³⁹

Um die Subjektivität der Interviews zu reduzieren, wurden für die Arbeit ausschließlich Experteninterviews¹⁴⁰ geführt; diese erfolgten zwischen 2012 und 2017. Der lange Zeitraum erklärt sich daraus, dass die Erstellung der Arbeit abschnittsweise erfolgte und, wenn für bestimmte Fragestellungen die Quellenlage verbessert werden sollte, weitere Interviews geführt wurden.

Ausgewählt wurden die Interviewpartner nicht danach, ob durch sie die Themen der Arbeit repräsentativ abgedeckt werden,¹⁴¹ sondern danach, ob durch sie Lücken in den Quellen und in der Literatur geschlossen werden konnten. Ihre Auswahl erfolgte im ersten Schritt meistens mit Unterstützung schriftlicher Quellen, nachdem sich durch die Recherchen abgezeichnet hatte, welche Werkzeugmaschinenhersteller, Endanwender und Hochschulinstitute für die Arbeit interessant waren. Auch wenn die verfügbaren Quellen lückenhaft waren, wurden darin oft Namen von Personen genannt, die für Entscheidungen bzw. Entwicklungen verantwortlich waren bzw. die sie umsetzten. Das bedeutet, dass die genannten Personen mit großer Wahrscheinlichkeit Entscheidungsbefugnisse oder eine hohe fachliche Kompetenz hatten. Im nächsten Schritt wurde recherchiert, welche der genannten Personen noch lebten und für ein Gespräch zur Verfügung standen. Weder das eine noch das andere war immer der Fall, sodass sich zum Teil ganz unterschiedliche Konstellationen ergaben. So wurden z. B. mit fünf ehemaligen Mitarbeitern des Göppinger Werkzeugmaschinenherstellers Gebr. Boehringer persönliche Interviews geführt, während vom auch heute noch bedeutenden Nürtinger Werkzeugmaschinenhersteller Gebr. Heller nur mit einem ehemaligen Mitarbeiter ein

¹³⁶ Vgl. Egger (2013), S. 82–87.

¹³⁷ Vgl. Egger (2013), S. 65.

¹³⁸ Geppert kommt deshalb zu dem Schluss, dass die Oral History eine anspruchsvolle historische Methode ist, die zwar „andersartige, aber nicht prinzipiell schwierigere theoretische Probleme aufweist als sonstige geschichtswissenschaftliche Techniken“. Vgl. Geppert (1994), S. 320.

¹³⁹ Wenn Widersprüche zwischen Interviewpartnern und gedruckten Quellen zu klären sind, ist es sinnvoll, die ganze Bandbreite darzustellen und ev. eine eigene Wertung vorzunehmen.

¹⁴⁰ Vorländer bezeichnet Interviewpartner als Experten, „von denen Informationen über Entwicklungen, vielleicht sogar Entscheidungen, erwartet werden, an denen sie beteiligt waren“. Vorländer (1990), S. 14.

¹⁴¹ Vgl. Geppert (1994), S. 315. Die Ausführungen Gepperts bezogen sich auf Arbeiten, deren Ergebnisse überwiegend auf Oral History basierten.

kurzes Telefoninterview geführt werden konnte. Alle anderen für ein Interview interessanten Personen waren entweder schon verstorben oder standen für ein Interview nicht zur Verfügung.

Die Interviewpartner gaben oft Hinweise auf aus ihrer Sicht weitere potenzielle Gesprächspartner. Diese Hinweise wurden verfolgt, wenn die Wahrscheinlichkeit groß war, dass die genannte Person einen Beitrag für die Arbeit leisten konnte. Manchmal ergab sich dann schon bei der ersten Kontaktaufnahme, dass dies nicht zutraf, oft handelte es sich aber um äußerst interessante Gesprächspartner.

Ergänzt wurde die Suche nach Gesprächspartnern noch durch Listen der Doktoranden der fertigungstechnischen Hochschulinstitute,¹⁴² persönliche Erinnerungen des Verfassers und Hinweise ehemaliger Arbeitskollegen.

Bei der ersten Kontaktaufnahme zu einem potenziellen Interviewpartner zeigte sich schnell, ob überhaupt Gesprächsbereitschaft bestand. Wenn ja, wurde ihm meistens vorab ein auf sein Tätigkeitsfeld im Untersuchungszeitraum abgestimmter Fragebogen zugeschickt. Im nächsten Schritt wurde dann geklärt, ob der Gesprächspartner die Fragen lieber telefonisch, schriftlich oder im persönlichen Gespräch beantworten wollte; bei einigen ergab sich auch eine Kombination aus schriftlicher und persönlicher/telefonischer Beantwortung. Schriftliche Antworten wurden in die Transkription in einem eigenen Abschnitt integriert.

Da es sich um Experteninterviews handelte, erfolgte die Transkription nach einfachen Transkriptionsregeln,¹⁴³ d. h. möglichst wörtlich. Füllwörter, wie z. B. „also“, „gut“, „da würde ich sagen“, „unbedingt“, oder „eigentlich“, wurden in die Transkription nur übernommen, wenn sie zum Verständnis erforderlich waren. Das Gleiche galt für Gefühlsäußerungen. Unklare oder missverständliche Sätze wurden in Abstimmung mit dem Interviewpartner im Autorisierungsprozess angepasst.

Alle Transkriptionen wurden den Gesprächspartnern zur Korrektur und zur Autorisierung vorgelegt. Zusätzlich wurden sie um Erlaubnis zur Archivierung der Transkription im Universitätsarchiv gebeten.¹⁴⁴ Die Reaktion der Interviewpartner hierauf war unterschiedlich:

- 30 der 34 Interviewpartner erteilten eine uneingeschränkte Freigabe. Diese wurde mit der Transkription dokumentiert.
- Ein Gesprächspartner gab keine schriftliche Freigabe, da er keine Zeit habe, die Transkription zu lesen, erlaubte aber die Verwendung des Interviews.

¹⁴² Vgl. z. B. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1972), S. 7–8 und o. V. (2006).

¹⁴³ Empfehlungen für die einfache Transkription siehe Dresing/Pehl (2015), S. 20–23.

¹⁴⁴ Die von den Interviewpartnern autorisierten und freigegebenen Transkriptionen sind im Universitätsarchiv Stuttgart unter der Signatur SN113 abgelegt.

- Ein Gesprächspartner gab das Interview nicht generell frei und auch nicht die Archivierung im Universitätsarchiv. Er sagte aber zu, einzelne Passagen des Interviews bei Bedarf freizugeben.
- Von einem Gesprächspartner erhielt der Verfasser trotz mehrfacher Nachfrage keine Freigabe, da er keine Zeit habe, die Transkription zu lesen. Einer erteilte nur eine teilweise Freigabe, da er nicht die ganze Transkription gelesen hatte.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ausgewerteten Interviews. In den Spalten ist angegeben, wie die jeweiligen Interviews hauptsächlich¹⁴⁵ durchgeführt wurden, und in den Zeilen bei welchem Typ von Arbeitgeber der Interviewte im Untersuchungszeitraum beschäftigt war. Zwei Interviews wurden mit mehreren Personen geführt.¹⁴⁶ Diese wurden in der Tabelle als einzelne Teilnehmer erfasst.

Arbeitgeber der Interviewten	Persönliches Interview	Telefon-interview	Übergabe von Unterlagen
Steuerungs- und Antriebshersteller	4	5	4 ¹⁴⁷
Hochschule	2		
Projektträger	2		
Gewerkschaften	1		
Industrie- und Handelskammer	1		
Werkzeugmaschinenhersteller	9	4	3
Hersteller von Werkzeugen und Werkzeugvoreinstellgeräten	2		
Endanwender	1	3	
Summe	22	12	7

Tabelle 1: Übersicht durchgeführter Interviews¹⁴⁸

¹⁴⁵ Zu einigen Interviews gab es im Vorfeld oder danach noch einen ergänzenden Mailwechsel zu einigen Fragen. Dieser ist in der Transkription in einem zusätzlichen Kapitel enthalten.

¹⁴⁶ Das Interview über die NC-Einführung beim Werkzeugmaschinenhersteller Gebr. Boehringer wurde mit dem ehemaligen Geschäftsführer Werner Boehringer und Heinz Böhringer, einem der Konstrukteure der ersten NC-Maschine der Gebr. Boehringer, geführt. Das Interview mit ehemaligen Entwicklern der ersten NC-Steuerungen von Siemens wurde mit vier Personen geführt: Günter Brömer, Dieter Gurtner, Dieter Kremper und Peter Stark.

¹⁴⁷ In einem Fall wurden nur Unterlagen übergeben und kein Interview geführt.

¹⁴⁸ Eigene Darstellung.

Der Vergleich mit dem Inhaltsverzeichnis zeigt, dass zu vielen Themenfeldern der Arbeit Interviews durchgeführt wurden. Einige Interviewpartner übergaben dem Verfasser im Rahmen des Gesprächs auch Unterlagen aus ihren „Privatarchiven“ dauerhaft oder zum Kopieren (vgl. Tabelle 1). Diese Unterlagen sind teilweise in die Arbeit eingeflossen und als „Privatarchiv“ gekennzeichnet. Kopien der verwendeten Unterlagen aus den Privatarchiven sind zusammen mit den autorisierten der Interviews im Universitätsarchiv Stuttgart unter der Signatur SN113 hinterlegt.

Eine große Bandbreite hat auch die Ausbildung der Interviewpartner (Tabelle 2). Danach haben immerhin acht der Interviewpartner eine Lehre gemacht, wovon zwei vor ihrem nächsten Ausbildungsschritt in ihrem Lehrberuf auch länger gearbeitet haben. Wenn die Tätigkeit im Lehrberuf für die Bewertung der Aussagen im Interview wichtig ist, wird bei der Auswertung darauf hingewiesen.

Lehre	8
Techniker	1
Hochschulstudium	33
Promotion	11
Habilitation	2

Tabelle 2: Ausbildung Interviewpartner¹⁴⁹

Die beruflichen Tätigkeiten der Interviewpartner im Untersuchungszeitraum nach Tabelle 3 decken ein breites Tätigkeits- und Funktionsspektrum sowohl bei den Werkzeugmaschinenherstellern als auch bei den Endkunden ab. Um auch noch Teile des Umfelds zu berücksichtigen, wurde noch je ein Interview mit einem ehemaligen Mitarbeiter der IG Metall und dem Leiter einer beruflichen Weiterbildungseinrichtung der IHK geführt. Da alle Interviewpartner im Untersuchungszeitraum mehrere Tätigkeiten ausübten, wurden in Tabelle 3 nur die Tätigkeiten aufgenommen, über die die Interviewpartner hauptsächlich berichteten bzw. befragt wurden.

Zusammengefasst wurden durch die Oral History umfangreiche Hintergrundinformationen zur Einführung der NC-Technologie gewonnen, die die gedruckten Quellen ergänzen. Außerdem konnten durch die große Zahl der Befragten und das durch sie breit abgedeckte Spektrum Lücken und Unklarheiten in den schriftlichen Quellen, in Archiven und Fachaufsätzen geschlossen, abgesichert oder relativiert werden. Insgesamt

¹⁴⁹ Eigene Darstellung. Die Summe ist größer als die der Interviewpartner, da einige Interviewpartner mehr als eine Ausbildung haben. Im Extremfall Lehre, Hochschule, Promotion und Habilitation.

sind die ausgewerteten Interviews eine wichtige Ergänzung zu den schriftlichen Quellen dieser Arbeit – trotz der mit der „Oral History“ verbundenen Einschränkungen.

Entwicklungsingenieur	7	Leiter Bildungshaus	1
Fertigungsingenieur	2	Leiter Schaltschrankbau	1
Geschäftsführer	3	Marketing	1
Gewerkschaftsmitarbeiter	1	NC-Programmierer	1
Hochschulprofessor	2	Projektleiter	2
Inbetriebnehmer	1	Vertriebsingenieur	3
Konstrukteur	5	Vertriebsvorstand	1
Konstruktionsleiter	2	Vorstandsassistent	1

Tabelle 3: Haupttätigkeiten der Interviewpartner im Untersuchungszeitraum¹⁵⁰

1.3.7 Zusammenfassung

In den Archiven der für die Arbeit interessanten Steuerungshersteller, Werkzeugmaschinenhersteller und Endanwender waren weniger für die Arbeit verwertbare Unterlagen zu finden als erhofft. Dies gilt besonders für die Einführungsphase der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, in der die Steuerungs- und Werkzeugmaschinenhersteller entscheiden mussten, ob der Einstieg in die neue Technologie für das betroffene Unternehmen zum damaligen Zeitpunkt schon sinnvoll war.

Diese Lücken konnten durch die Auswertung gedruckter Quellen (insbesondere von Fachaufsätzen und Tagungsunterlagen) geschlossen werden. Im Untersuchungszeitraum war es nämlich üblich, dass auf Tagungen die Entscheidungsträger der Steuerungs- und Werkzeugmaschinenhersteller über ihre aktuellen Überlegungen zur NC-Technik berichteten. Dies galt insbesondere für die von den Hochschulinstituten veranstalteten Tagungen, auf denen auch die Steuerungs- und Werkzeugmaschinenhersteller einen Teil der Vorträge bestritten, die meistens gut dokumentiert wurden.¹⁵¹ Ergänzt

¹⁵⁰ Eigene Darstellung.

¹⁵¹ Auf dem z. B. vom WZL veranstalteten Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium (AWK) hielten oft auch Referenten aus der Industrie Vorträge. Auf dem 8. AWK 1956 sprach erstmals Shaw über die NC-Technik (Shaw (1956)). Auf dem gleichen AWK hielten z. B. auch Steeger (Steeger (1956)) und Moll (Moll (1956)) aus der Industrie ohne Nennung ihres Arbeitgebers Vorträge. Diese Praxis ist auch heute noch üblich (vgl. Brecher u. a. (2017)) und verdeutlicht die Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie.

wurden die Quellen durch Interviews mit ehemaligen Entwicklern, die später oft Entscheidungsträger wurden.

Bei den Endanwendern von Werkzeugmaschinen nehmen die MAN-Archive in Augsburg und in München-Karlsfeld eine Sonderstellung ein. Diese haben fast lückenlos die ausführlichen Protokolle der halbjährlich tagenden Betriebskommission (BK) einschließlich einer schriftlichen Fassung der auf den Sitzungen gehaltenen Vorträge archiviert, sodass sich aus ihnen ein guter Überblick über viele Entscheidungsprozesse bei der Beschaffung von Werkzeugmaschinen ergibt. Bei allen angefragten Unternehmen hat sich aber gezeigt, dass Dokumente über länger zurückliegende Investitionsentscheidungen für Maschinen in den meisten Unternehmen nicht archiviert wurden.

Auch bei den Werkzeugmaschinenherstellern konnte weniger Archivmaterial eingesehen werden als erhofft. Viele haben wegen des damit verbundenen Verwaltungsaufwands kein zugängliches Archiv oder die Unterlagen gingen bei Übernahmen bzw. Insolvenzen verloren oder wurden bewusst vernichtet. Deshalb wurden – von Ausnahmen wie Boehringer und Heller abgesehen – überwiegend gedruckte Quellen oder die Oral History genutzt. Hierzu ist noch anzumerken, dass die gedruckten Quellen über die Aktivitäten der Werkzeugmaschinenhersteller im Markt sehr ergiebig sind, da die Publikation über Fachzeitschriften langjährige Praxis war. Diese geben aber leider keine Auskunft über die Entscheidungsprozesse im Unternehmen.

Enttäuschend war auch die Archivlage bei den Vereinen und Verbänden, sodass sich hier die Recherche überwiegend auf die gedruckten Quellen stützen musste.

Die Gewerkschaften hingegen heben sich positiv ab. Sie haben ihre Archive an das von der Friedrich-Ebert-Stiftung verwaltete Archiv der sozialen Demokratie abgegeben. Die dort aufbewahrten Akten der IG Metall geben einen Einblick, wie die IG Metall auf die wachsende Automatisierungstechnik und damit auch die Einführung der NC-Technik (vgl. Kapitel 8.2) reagierte. Außerdem führte die IG Metall mehrere große Tagungen zur Automatisierung durch, deren Vorträge in Tagungsbänden veröffentlicht wurden.

Verbessern können sich auch die Universitäten. Diese haben zwar alle ein Archiv, aber anscheinend keinen Prozess, dass bei Ausscheiden oder Tod eines Professors seine (privaten) Akten vor der Entsorgung dem Universitätsarchiv angeboten werden müssen. Dadurch gehen viele Unterlagen verloren, wie sich z. B. am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart nach dem frühen Tod von Professor Stute zeigte. Über dessen wissenschaftliches Wirken gibt es im Universitätsarchiv Stuttgart fast keinen Bestand, obwohl er kurz vor seinem Tod eines der großen Universitätsinstitute leitete.

Auch über den westdeutschen Hauptpromotor der numerischen Steuerungstechnik bis Mitte der 1960er Jahre, den Berliner Professor Simon, befinden sich weder im Archiv der Universität Darmstadt (seiner ersten Station) noch in dem der Technischen Universität Berlin nennenswerte Unterlagen.

Insgesamt waren die Archivbestände weniger ertragreich als erhofft. Ausgeglichen wurden diese Lücken durch die Oral History und die Auswertung der umfangreichen gedruckten Quellen in Form von Fachaufsätzen und Tagungsbänden. Begünstigt wurden die zahlreichen Veröffentlichungen dadurch, dass es für das Netzwerk aus Werkzeugmaschinenherstellern, ihren Zulieferern und den verbundenen Hochschulinstituten schon vor der NC-Technik viele Fachzeitschriften und Tagungen als Plattform gab, über die auch die NC-Technik nach und nach intensiv publiziert wurde. Durch die Auswertung dieser Quellen stand genug Material zur Verfügung, um die Fragestellungen dieser Arbeit zu beantworten.

2 Wichtige elektrotechnische Voraussetzungen für die NC-Technik

2.1 Elektrische Antriebstechnik der Werkzeugmaschinen

Die Geschichte der Werkzeugmaschinen ist eng mit der Antriebstechnik verknüpft. Von ihren verschiedenen Ausprägungen wird in diesem Unterkapitel nur auf die elektrische Antriebstechnik der Werkzeugmaschinen eingegangen, weil deren Entwicklung eine wichtige Voraussetzung für die Einführung der NC-Technik war.¹⁵²

Schon vor der Entwicklung elektrischer Maschinenantriebe bestand das Problem, die Antriebsenergie auf mehrere Maschinen zu verteilen. Da der Standort des Antriebs (z. B. bei einer wasserbetriebenen Mühle) fest war, musste die Antriebsenergie mechanisch auf die einzelnen Maschinen verteilt werden. Dies erfolgte üblicherweise durch sogenannte Transmissionen (Abbildung 2).

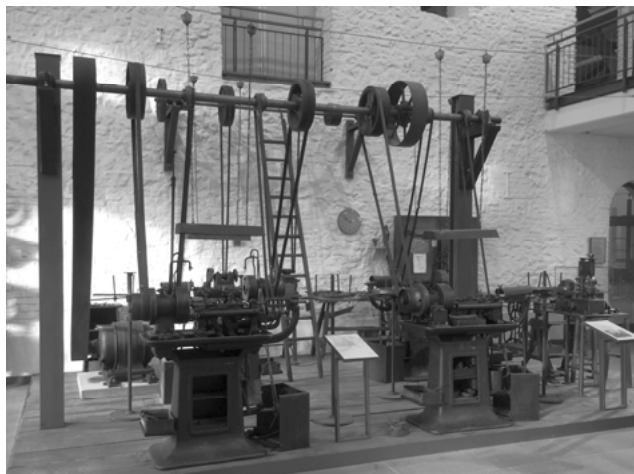


Abbildung 2: Transmission einer Maschinengruppe mit Elektromotoren.¹⁵³

Vom Antrieb (im Bild ein Elektromotor) wurde über einen Riemen eine zentrale Welle angetrieben, von der die Einzelmaschinen oder Gruppen von Maschinen durch über Kupplungen zuschaltbare Abtriebe (üblicherweise Riemen) ihre Antriebsenergie bezogen. Bei den früheren Antrieben mit Wasserkraft reichte die Antriebsenergie oft nur für wenige Maschinen. Als die Wasserkraft durch leistungsfähigere Dampfmaschinen ersetzt wurde, stand genügend Antriebsenergie zur Verfügung, um über komplexe

¹⁵² Zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Werkzeugmaschinen bzw. der Werkzeugmaschinenindustrie gibt es diverse Arbeiten. Z. B. wurden die Entwicklungen im Zeitraum 1870–1914 ausführlich von Benad-Wagenhoff untersucht (Benad-Wagenhoff (1993)). Dem sich daran anschließenden Zeitraum bis zum Zweiten Weltkrieg widmete sich Haas (Haas (1997)). Den Zeitraum zwischen 1930 und 1960 bis zum Aufkommen der ersten NC-Maschinen untersuchte Haak (Haak (1997)).

¹⁵³ Bildquelle: Museum Zinkhütter Hof.

Transmissionen ganze Maschinenhallen mit der benötigten Antriebsleistung zu versorgen. Ein weiterer Vorteil war die größere Ortsunabhängigkeit der Dampfmaschine; ihr Standort war nicht mehr wie bei Mühlen an Wasserläufe gebunden.

Aber auch die Dampfmaschinen hatten noch Nachteile. So musste z. B. die für ihren Betrieb erforderliche Kohle herangeschafft werden und die Sicherheitsanforderungen an ihren Aufstellungsort erschwerten dezentrale Anlagen. Mit dem Aufkommen elektrischer Antriebe wurden deshalb die Dampfmaschinen ab Ende des 19. Jahrhunderts – wenn möglich – nach und nach durch elektrische Antriebe ersetzt. Diese waren deutlich flexibler einsetzbar.

Ein Meilenstein bei der Entwicklung der elektrischen Antriebe war das 1866 von Werner von Siemens¹⁵⁴ wiederentdeckte „dynamoelektrische Prinzip“. Es wurde von Gustav Heinrich Magnus am 17.1.1867 der Akademie der Wissenschaften in Berlin vorgelegt. Das dynamoelektrische Prinzip nutzte die magnetische Restremanenz eines Elektromagneten aus Weicheisen derart, dass der in einem durch dieses Magnetfeld bewegten Leiter induzierte Strom zu einer Selbstverstärkung des Elektromagneten bis zu seiner Sättigung führte. Durch die Selbstverstärkung des Magnetfeldes wurde der induzierte Strom vergrößert und der Bau eines Generators ohne Fremderregung, d. h. ohne Elektro- oder Permanentmagnete, möglich.¹⁵⁵ Das von Werner von Siemens wiederentdeckte Prinzip der selbsterregten Dynamomaschine vereinfachte und verbilligte den Aufbau einer flächendeckenden Stromversorgung.¹⁵⁶

Die Durchsetzung der elektrischen Energie in der Breite benötigte noch eine Vielzahl weiterer Entwicklungen bzw. Erfindungen. Eine der wichtigsten war 1885 der Drehstrom.¹⁵⁷ Dieser ermöglichte die verlustarme und kostengünstige Übertragung großer elektrischer Leistungen (z. B. von Wasserkraftwerken) über größere Entfernungen. Mit dem Drehstrom konnten Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie getrennt wer-

¹⁵⁴ Werner Siemens erhielt 1888 von Kaiser Friedrich III den preußischen erblichen Adelstitel. Vgl. Feldenkirchen/Bartels (1997), Chronik S. 6. In der Arbeit wird immer der Adelstitel verwendet.

¹⁵⁵ Die Forschung kam mittlerweile zu dem Ergebnis, dass Werner von Siemens das dynamoelektrische Prinzip nicht alleine erfunden hat. Anianus Jedlick (1851/ 1853), Sören Hjorth (1854) und Samuel Varley mit seinem Bruder (1866) hatten den Effekt auch schon gefunden, aber nicht verwertet. Werner von Siemens hat wohl als Erster die Bedeutung einer kostengünstigen Stromerzeugung erkannt; die Entdeckungen von Jedlick, Hjorth und Varley kannte er nicht. Vgl. Heilbronner (2000), S. 25–26.

¹⁵⁶ Heute sind die meisten Generatoren wieder fremderregt. Vgl. Heilbronner (2000), S. 27.

¹⁵⁷ Das Drehstromsystem hat den großen Vorteil, dass die drei um jeweils 120° elektrisch versetzten Phasen keinen Nullleiter benötigen, da sich die Rückströme durch die Phasenverschiebung aufheben. Dadurch halbiert sich der Materialaufwand für die Leitung. Da jede Phase Wechselstrom hat, kann die Spannung für den Transport auf ein höheres Spannungsniveau transformiert werden, was die Stromstärke auf der Übertragungsstrecke reduziert. Die Leitungen können dünner ausfallen. Das Drehstromsystem wurde um 1885 etwa gleichzeitig durch G. Ferraris, Ch. S. Bradley, N. Tesla, F. Haselwander, M. Dolivo-Dobrowolski u. a. entwickelt. Vgl. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (1956), S. 263.

den; große Verbraucher mussten nicht mehr zwingend in der Nähe eines Kraftwerks sein.¹⁵⁸

Für den direkten Antrieb an Drehstrom stand wenig später (1889) ein einfacher und robuster Motor, der Asynchron- oder Drehstrommotor¹⁵⁹, zur Verfügung, das Vordringen der elektrischen Antriebe in der industriellen Fertigung zog sich aber über einen langen Zeitraum hin, weil dafür mehrere Entwicklungsschritte benötigt wurden.

Relativ einfach war es (wenn die technischen Voraussetzungen passten, insbesondere die verfügbare elektrische Leistung), die Dampfmaschine als Transmissionsantrieb durch einen oder mehrere elektrische Antriebe zu ersetzen bzw. Neuanlagen gleich mit elektrischen Transmissionsantrieben auszurüsten. In beiden Fällen konnten die Vorteile der elektrischen Antriebe genutzt werden. Diese waren:

- Wegfall der Dampfmaschine mit Kohlelager (wenn der Strom nicht selbst erzeugt wurde)
- Einfacheres Hoch- und Herunterfahren der Antriebe
- Geringerer Personalbedarf
- Bessere Regelbarkeit und höhere Antriebsleistung¹⁶⁰
- Möglichkeit zur Dezentralisierung der Transmissionen und Reduzierung der Antriebsverluste durch einfachere Transmissionen

Im einfachsten Fall (Ersatz der Dampfmaschine durch einen Elektromotor) musste in der Fertigung nichts umgebaut werden. Aufwendiger war es, die Fertigung in Maschinengruppen aufzuteilen und jeder Gruppe einen eigenen Antrieb zuzuordnen. Diese Variante hatte zwar höhere Investitionskosten, erhöhte aber die Flexibilität und Produktivität der Fertigung, da die Antriebsauslegung besser an die Fertigung angepasst werden konnte bzw. eine bestehende Fertigung einfacher an neue Produkte durch Anpassung der Gruppenzuordnung. Ein Beispiel für eine Transmissionsgruppe von Werkzeugmaschinen zeigt Abbildung 2.

Der nächste Entwicklungsschritt war, jede Maschine mit einem eigenen Elektromotor auszurüsten. Im weiteren Entwicklungsverlauf wurde dieser immer besser in die Maschine integriert. Etwa ab 1930 wurden immer mehr Maschinen mit einem in die Ma-

¹⁵⁸ Die erste Drehstromübertragung erfolgte 1891 von Laufen am Neckar zur Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. Vgl. Dittmann (1998), S. 25.

¹⁵⁹ Die AEG meldete im März 1889 den von Michael von Dolivo-Dobrowolski entwickelten Dreiphasen-Käfigläufermotor zum Patent an. Vgl. Neidhöfer (2008), S. 70.

¹⁶⁰ Die höhere Antriebsleistung war bei der Verwendung von neuen Werkzeugstählen wie dem Taylor-White-Schnellarbeitsstahl (um 1900) besonders vorteilhaft. Vgl. Ruby (1985), S. 501.

schine integrierten Elektromotor angeboten.¹⁶¹ Diese Maschinen wurden „Elektrowerkzeugmaschinen“ genannt.

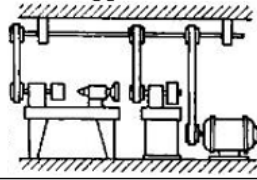
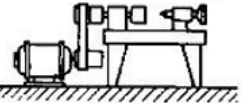
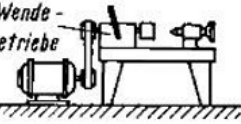
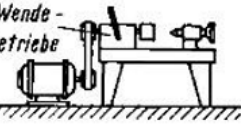
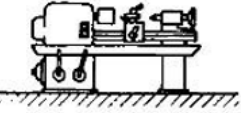
Jahr	Antriebsart	Schaltzahl bei 8 stündl. Betrieb	Motor und Anlaufstrom	Abnutzungszahl	Vergrößerung der Abnutzung gegenüber 1907 durch
1907	Gruppenantrieb 	Beginn, Ende und Pausen: ≈ 5	Schleifringläufer $J_A = 1,5J$	Die Abnutzungszahl zu dieser Zeit sei als 1 angenommen	–
1917	Einscheibenantrieb 	Beginn, Ende und Pausen und zusätzlich bei allen Arbeitsunterbrechungen: ≈ 10	Schleifringläufer $J_A = 1,5J$	2	Erhöhung der Schalthäufigkeit
1920 – 1927	Beginn der Elektromaschine 	Ingangsetzen und Stillsetzen ≈ 200	Schleifringläufer $J_A = 1,5J$	40	Erhöhung der Schalthäufigkeit
Nach 1927	Übergang zum Kurzschlussläufer 	Ingangsetzen und Stillsetzen ≈ 200	Kurzschlussläufer $J_A = 6J$	Etwa 500	Erhöhung des Anlaufstroms durch Kurzschlussläufer und Erhöhung der Schalthäufigkeit
Nach 1930	Weiterentwicklung zur Elektrowerkzeugmaschine 	Ingangsetzen und Stillsetzen; Wenden und Tippen beim Einrichten ≈ 1000-2000	Kurzschlussläufer $J_A = 6 J$	<u>Ohne</u> Tippen etwa 2500-5000 <u>Mit</u> Tippen etwa 3500-7000	Erhöhung der Schalthäufigkeit und des Anlaufstromes, durch Abschalten des Anlaufstromes beim Tippen

Abbildung 3: Entwicklung der Antriebstechnik von Werkzeugmaschinen.¹⁶²

Einen Überblick über die Integrationsschritte der elektrischen Antriebe in die Werkzeugmaschinen von 1907 bis zum Zweiten Weltkrieg gibt Abbildung 3. Wird ab der

¹⁶¹ Die zeitliche Einordnung gilt für die allgemeine Anwendung. Ruppert berichtete, dass schon auf der Weltausstellung in Paris im Jahr 1900 Werkzeugmaschinen mit elektrischen Einzelantrieben zu sehen waren. Dies war nach Ruppert aber kein grundsätzlicher Trend, sondern der Tatsache geschuldet, dass auf der Weltausstellung keine Transmissionen erlaubt waren. Vgl. Ruppert (1907), S. 30. Ruppert war damals schon von der Zukunft der Einzelantriebe überzeugt. Er beschrieb ausführlich Lösungen, wie elektrische Antriebe mithilfe von Getrieben optimal in Werkzeugmaschinen integriert werden können, nannte aber auch die Hemmnisse wie die z. B. die fehlende Standardisierung der Stromnetze (Gleichstrom versus Drehstrom). Vgl. Ruppert (1907), S. 31–36.

¹⁶² Bildquelle: Moeller (1938), S. 4.

Erfindung des Drehstrommotors (1889) gerechnet, dauerte die Entwicklung bis zur Elektrowerkzeugmaschine über 40 Jahre.¹⁶³

Der lange Entwicklungszeitraum zur Elektrowerkzeugmaschine hatte mehrere Gründe. Einer war die Wirtschaftlichkeit, die eng mit der Zuverlässigkeit der Stromversorgung verknüpft war. Da Anfang des 20. Jahrhundert die Stromversorgung noch nicht stabil war, zögerten viele Entscheidungsträger, die neue Technologie einzuführen. Zur Umstellung auf elektrische Antriebe waren sie nur bereit, wenn sie unter Berücksichtigung des Risikos einen finanziellen Nutzen sahen.¹⁶⁴ Ähnliche Überlegungen gab es bei den Maschinenherstellern. Sie wollten zur Risikominimierung möglichst lange an ihren bewährten Maschinenkonzepten festhalten.

Einen weiteren wichtigen Grund, der auch eng mit der Zuverlässigkeit verknüpft war, zeigt die letzte Spalte in der Abbildung 3. Danach erhöhte sich mit zunehmender Dezentralisierung bzw. Vereinzelung der Antriebe die Schaltheufigkeit (Ein- und Ausschalten des Elektromotors) drastisch, was von Stufe zu Stufe höhere Anforderungen an die elektrischen Schaltgeräte stellte. Im Umkehrschluss bedeutete dies, dass für jede Entwicklungsstufe auf dem Weg zur Elektrowerkzeugmaschine erst geeignete Schaltgeräte entwickelt werden mussten, was eine schnelle Markteinführung verzögerte.¹⁶⁵

Der Hauptantrieb einer (Elektro-)Werkzeugmaschine versetzte z. B. an einer Drehmaschine das Werkstück in Rotation. Bei der Fertigung eines Werkstücks musste dann der Facharbeiter den Kreuzsupport mit den Werkzeugen über Handräder so am Werkstück vorbeibewegen, dass die geforderte Werkstückkontur durch Abspannen entstand. Die Tätigkeit war anstrengend, verlangte eine hohe Konzentration und die Werkstücke waren nicht exakt gleich, weil der Facharbeiter bei jedem Werkstück die Maschine minimal anders bediente.

Um in großen Stückzahlen benötigte Werkstücke günstig und in vergleichbarer Qualität herzustellen, wurden deshalb z. B. „Sonderdrehmaschinen“ entwickelt.¹⁶⁶ Diese hatten immer ausgeklügelte mechanische Vorrichtungen, mit denen der Support automatisch am Werkstück (z. B. durch Abfahren von Schablonen) bewegt wurde. Der Antrieb der Vorrichtungen erfolgte über zuschaltbare Getriebe vom Hauptantrieb. Das Gleiche galt für den Antrieb weiterer Nebenaggregate.

¹⁶³ Vgl. Ruby (1995), S. 192–193 und Ruby (1985). Nach Benad-Wagenhoff wurde der Einzelantrieb erst nach 1920 zur vorherrschenden Antriebsart. Vgl. Benad-Wagenhoff (1993), S. 227.

¹⁶⁴ Damit ist gemeint, dass die Kapital- und Betriebskosten elektrischer Antriebe niedriger sein mussten als bei Antrieben mit Dampfmaschinen. Hier gab es große lokale Unterschiede, da je nach Lage einer Fabrik die Energiekosten durch unterschiedliche Transportkosten große Differenzen aufweisen konnten.

¹⁶⁵ Die Entwicklung der Antriebstechnik vom Transmissionsantrieb zum Einzelantrieb wurde von Haas ausführlich beschrieben. Vgl. Haas (1997), S. 140–153.

¹⁶⁶ Vgl. Ruby (1997), S. 43.

Da diese Sondermaschinen störende mechanische Abhängigkeiten hatten, waren die nächsten Automatisierungsschritte, Maschinenachsen und Nebenaggregate sukzessive mit eigenen Antrieben auszustatten, um die „Elektrowerkzeugmaschine“ weiter zu flexibilisieren.¹⁶⁷ Eine Ausprägung dieser Weiterentwicklungen führte dann nach dem Zweiten Weltkrieg zur NC-Maschine, die für jede Bewegungsachse einen eigenen Antrieb hatte, die untereinander durch eine Steuerung koordiniert wurden. Dieser Entwicklungsschritt dauerte dann – wie in den folgenden Kapiteln gezeigt wird – ab den ersten Elektrowerkzeugmaschinen (um 1930) bis zu den ersten in Kleinserie gefertigten NC-Maschinen Anfang der 1960er Jahre etwa 30 Jahre. Bis zum Einsatz in der Breite Ende der 1970er Jahre vergingen weitere 20 Jahre. Erst dann war der „zweite“ große Entwicklungsschritt abgeschlossen und die „NC-Elektrowerkzeugmaschine“ mit elektrischen Antrieben an allen Bearbeitungsachsen Stand der Technik.

2.2 Weitere elektrotechnische Entwicklungen zur Automatisierung der Werkzeugmaschinen

Die Weiterentwicklung der Werkzeugmaschine zur Elektrowerkzeugmaschine und später zur NC-Maschine war nur möglich, weil neben den schon beschriebenen elektrischen Antrieben diese mit weiteren elektrotechnischen Komponenten automatisiert wurden. Die wichtigsten werden im Folgenden kurz beschrieben.

2.2.1 Elektrische Schaltgeräte

Relais

Eines der ältesten elektrotechnischen Bauteile ist das Relais.¹⁶⁸ Es wurde 1835 durch Joseph Henry (USA) zur Weiterschaltung (Verstärkung) elektrischer Kabelsignale erfunden.¹⁶⁹ Das Grundprinzip ist einfach: Ein Elektromagnet mit vielen Windungen wird mit einem relativ schwachen Strom beaufschlagt. Durch die Anziehungskraft des Elektromagneten wird mechanisch der Schalter eines Stromkreises geschlossen. Wird

¹⁶⁷ In der 1936 fertiggestellten, aber erst 1956 veröffentlichten Schrift zum 50-jährigen Jubiläum der AEG findet sich im Abschnitt „Werkzeugmaschinen“ hierzu folgende Formulierung: „Bei vielen Werkzeugmaschinen beansprucht die Ableitung der Nebenbewegungen vom Hauptantrieb verwickelte Getriebe. Nimmt man für jede dieser Nebenbewegungen einen besonderen Motor, so erzielt man dabei bedeutende Kraftersparnisse, ganz abgesehen davon, dass diese Hilfsmotoren billiger sind als die sonst nötigen Zwischengetriebe.“ Geyer (1956), S. 330. Schon vor dem Zweiten Weltkrieg machte die AEG also Untersuchungen, wie die Werkzeugmaschine mit mehr elektrischen Antrieben ausgerüstet werden konnte.

¹⁶⁸ Der Begriff Relais kommt vom französischen „Relais“ und bedeutet eigentlich Station für den Pferdewechsel.

¹⁶⁹ Die Erfindung des Relais wird heute in der Literatur und im Internet Joseph Henry zugeschrieben. Vgl. Hartmann (2006), S. 228. Ältere Literatur wies die Erfindung 1837 William Cooke und Charles Wheatstone zu. Vgl. Zetzsche (1861), S. 379.

der Strom durch den Elektromagneten unterbrochen, öffnet sich der Schaltkontakt wieder durch eine Feder. Somit kann mit einem schwachen Strom ein deutlich stärkerer Strom geschaltet werden. Das Ergebnis war ein „digitaler“ Verstärker.¹⁷⁰

Im Laufe der Jahre wurden die Relais ständig weiterentwickelt; es entstanden zahlreiche Versionen zur Anpassung an die unterschiedlichsten Anforderungen, insbesondere für die Nachrichten- und Fernmeldetechnik. Ab Anfang des 20. Jahrhunderts wurden Relais in großen Mengen für die telefonischen Selbstwählvermittlungen benötigt. Die erste öffentliche deutsche Selbstwählvermittlung wurde 1908 im Ortsnetz Hildesheim in Betrieb genommen.¹⁷¹

Durch die hohen Stückzahlen im Fernmeldebereich wurden die Relais immer kleiner und zuverlässiger. Dies erkannte auch Konrad Zuse, der einen Digitalrechner bauen wollte. Nachdem 1937/1938 der Bau des mechanischen Digitalrechners Z1 gescheitert war, versuchte Zuse 1939, das Rechenwerk des Rechners Z2 mit Relais zu realisieren.¹⁷² Die zweite Weiterentwicklung – die Zuse Z3 – hatte ungefähr 2000 Relais (600 Relais im Rechenwerk und 1400 Relais im Speicherwerk) und wurde 1941 fertiggestellt. Sie enthielt schon alle wichtigen Elemente einer programmgesteuerten Rechenmaschine für wissenschaftliche Zwecke, wie z. B. Speicher, Gleitkommaarithmetik und Lochstreifenprogrammierung.¹⁷³

Auch in der Automatisierungstechnik wurden Relais eingesetzt. Erste Anwendungen sind z. B. schon aus dem Jahr 1910 aus Aufzugssteuerungen für die Erkennung der Stockwerke (Abbildung 4) bekannt, die durch Relais kleiner gebaut werden konnten. Etwa ab 1950 wurden die Maschinensteuerungen durch die zunehmende Automatisierung komplizierter.¹⁷⁴ Die Steuerungen benötigten eine immer größere Anzahl von Schaltgeräten wie Relais oder Schütze (vgl. Kapitel 2.2.1) für die Logik der Steuerung. Für einen möglichst kompakten Aufbau der Steuerungen mussten Schaltgeräte, Verdrahtung und deren Aufbau optimiert werden. Hilfestellung bei der Optimierung leistete die Theorie logischer Schaltungen. Ende der 1930er Jahre erschienen hierzu erste Fachaufsätze von Piesch¹⁷⁵ und Shannon¹⁷⁶, die eine Verknüpfungstheorie für logische Schaltungen entwickelten.

¹⁷⁰ Die ersten Anwendungen des Relais gab es in der Telegrafie. Durch den Leitungswiderstand war nach einigen Kilometern das Telegrafiesignal so schwach, dass seine Energie nicht mehr ausreichte, um beim Empfänger der Nachricht das Papier im Takt des Senders zu beschriften. Das Relais löste das Problem, da die Energie noch ausreichte, seine Schaltkontakte zu betätigen. Mit dem Relais wurde ein neuer Stromkreis im Takt des Telegrafiesignals geschaltet, der genügend Energie hatte, das Papier im Takt der Telegrafiesignale zu beschriften. Vgl. Zetzsche (1861), S. 378.

¹⁷¹ Vgl. Gerke (2013), S. 2.

¹⁷² Czauderna (1979), S. 49–53.

¹⁷³ Vgl. Zuse (2010), S. 55.

¹⁷⁴ Vgl. Ose (1982), S. 259.

¹⁷⁵ Piesch (1939a) und Piesch (1939b).

¹⁷⁶ Shannon (1938).

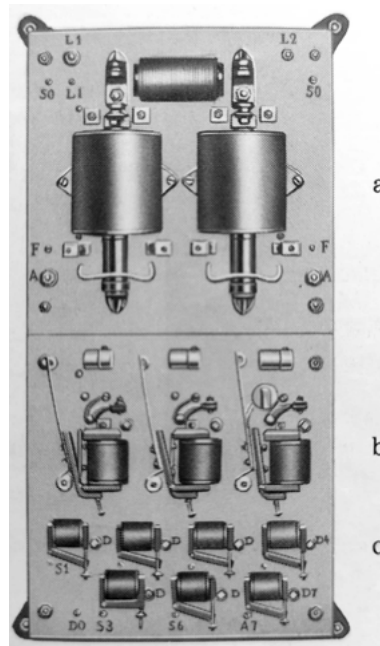


Abbildung 4: Aufzugsdruckknopfsteuerung von Klöckner-Moeller vor 1910 für Gleichstrom: a Wendeschütz, b drei Anlassschütze, c sieben Stockwerksrelais¹⁷⁷

Für die Automatisierungstechnik war besonders der zweite Aufsatz von Piesch wichtig, der sich mit einer Systematik zur Vereinfachung logischer Schaltungen beschäftigte. Damit konnten die für eine Steuerung erforderlichen Kontakte und damit die Anzahl der benötigten Relais und der Verdrahtungsaufwand reduziert werden.

Erste industrielle Anwendungen von Relais im Werkzeugmaschinenumfeld sind seit Anfang der 1950er Jahre bekannt. Ein Pionier war der Nürtinger Werkzeugmaschinenhersteller Gebr. Heller (vgl. Kapitel 5.3), der Relaissteuerungen bei hohen Automatisierungsanforderungen einsetzte. So hatte eine der ersten westdeutschen NC-Maschinen, die Heller SBR32 von 1959, für die NC-Logik einen Relaisrahmen (Abbildung 5). Bei einfachen Steuerungen wurde der Einsatz von Relais aber möglichst vermieden, da die Verdrahtung gelötet werden musste. Das war eine im Maschinenbau eher unübliche Verbindungstechnik. Außerdem wurde eine zusätzliche Spannungsebene mit 24 V Gleichspannung benötigt. Einfache Steuerungen wurden deshalb meistens mit Schützen (vgl. nächster Abschnitt) aufgebaut, die für Steuerungsfunktionen zusätzliche Hilfskontakte hatten, oder aus sogenannten Hilfsschützen, die speziell für einfache Steuerungslogiken entwickelt wurden.¹⁷⁸

¹⁷⁷ Bildquelle: Ose (1982), S. 107. Der Begriff Schütz wird im nächsten Abschnitt erläutert.

¹⁷⁸ Das Hilfsschütz hat Bauform und Anschlusstechnik eines Schützes. Seine Kontakte können aber keine hohen Ströme schalten, sodass es nur für logische Schaltungen geeignet ist, dafür aber etwas kleiner sein kann. Das erste Hilfsschütz für Steuerungsfunktionen wurde 1937 von Calor-Emag entwickelt. Weitere Entwicklungen z. B. von Siemens und Klöckner-Möller, erfolgten Anfang der 1950er Jahre. Vor der Entwicklung der Hilfsschütze wurden für diese Anwendungen normale Schütze für kleine Leistungen verwendet. Vgl. Ose (1982), S. 159–160.

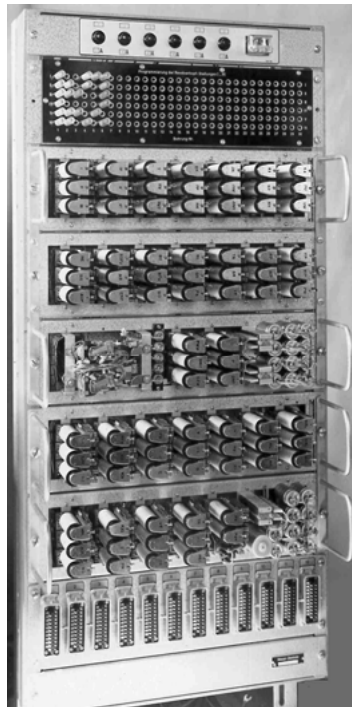


Abbildung 5: Relaisrahmen der Heller-Bohrmaschine SBR 32 von 1959¹⁷⁹

Schütze

Mit dem Ausbau der elektrischen Energieversorgung mussten elektrische Verbraucher ferngesteuert geschaltet werden. Die Relais der Nachrichtentechnik waren dafür nicht geeignet, denn es wurden „fernsteuerbare Schalter“ für hohe elektrische Leistungen benötigt. Abhängig von der Schaltleistung bürgerten sich für diese Schalter unterschiedliche Bezeichnungen ein. Die in Deutschland gebräuchlichste war „Schütz“.¹⁸⁰ Damit wurden fernsteuerbare Schaltgeräte kleiner bis mittlerer Leistung bezeichnet.

Eines der ersten Schütze baute um 1885 Hermann Meyer bei Siemens & Halske. Es diente dazu, beim Ausfall eines von zwei Generatoren einen Teil einer Beleuchtungsanlage abschalten zu können (Abbildung 6).¹⁸¹

Bis etwa 1930 spielte das „ferngesteuerte“ Schütz als Motorschaltgerät (zum Ein- und Ausschalten von Elektromotoren) eine eher untergeordnete Rolle und wurde vorwiegend in Aufzügen und Walzwerken verwendet. Die meisten Elektroantriebe wurden wegen der geringen Schaltfrequenz von Hand geschaltet, z. B. über Hebelschalter. Erst etwa ab 1930/1935 wurde das Schütz wegen seiner Fernbetätigung, seiner einfachen

¹⁷⁹ Bildquelle: Archiv Gebr. Heller: Bildarchiv, Bild 3185-21; Gebr. Heller Maschinenfabrik (1959).

¹⁸⁰ Die etymologische Herkunft der Bezeichnung Schütz ist nicht ganz eindeutig. Eigentlich kommt der Begriff aus dem Wasserbau. Dort wird unter Schütz eine über ein Seil fernsteuerbare Anlage zum Öffnen und Schließen eines Wehrs verstanden. Vermutlich wurde der Begriff in der Union-Electricitäts-Gesellschaft in Wien um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert geprägt, um den Schutzcharakter des elektrischen Schaltgeräts zu verdeutlichen. Bis 1915 hatte sich dann der Begriff Schütz für ferngesteuerte elektrische Schaltgeräte durchgesetzt. Vgl. Ose (1982), S. 134–135.

¹⁸¹ Vgl. Ose (1982), S. 136.

Verriegelungsmöglichkeit und seiner langen Lebensdauer¹⁸² zum am meisten verwendeten Motorschaltgerät.¹⁸³

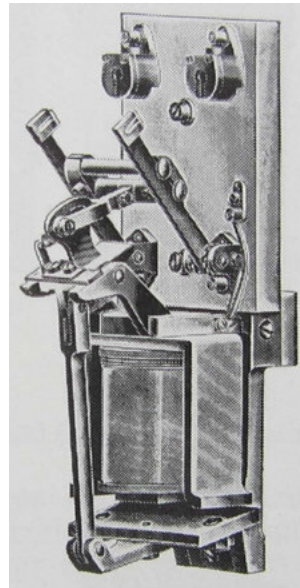


Abbildung 6: Zweipoliges 30A Gleichstromschütz der Siemens-Schuckertwerke für Lichtstromkreise aus dem Jahr 1905¹⁸⁴

Da die Verwendung von Schützen in den Elektrokonstruktionen der Maschinenbauunternehmen und im Schaltschrankbau gängige Praxis war, wurden diese in den 1950er Jahren – wie schon erwähnt – auch gerne für einfache Steuerungen eingesetzt. Wenn es technisch möglich war, wurden für Steuerungsfunktionen aber Hilfsschütze verwendet, die preiswerter und kleiner als Standardschütze waren.

2.2.2 Halbleitertechnik

In den Bell Laboratories (USA) erfanden 1947 John Bardeen, Walter H. Brattain und William Bradford Shockley den bipolaren Transistor.¹⁸⁵ Dieser ersetzte z. B. in Radio-geräten nach und nach die Elektronenröhren.

¹⁸² Nach Abbildung 3 erhöhte sich mit der Abkehr vom Transmissionsantrieb und der Tendenz, vom Einzelantrieb zum Mehrmotorenantrieb überzugehen, die Schalthäufigkeit der Schütze. Damit erhöhten sich auch die Anforderungen an die Lebensdauer der Schütze ab den 1930er Jahren (vgl. Ose (1982), S. 145). Diese erfüllten die Ölschütze nicht mehr, denn bei häufigem Schalten nutzten sich die Kontakte durch die induktive Last der Motoren, die zu Funken führte, schnell ab. C. E. I. Brown hatte um 1900 Öl zum Löschen der Funken eingeführt, das gleichzeitig auch Kühl- und Schmiermittel war (vgl. Ose (1982), S. 139). Spätere Untersuchungen zeigten, dass die Lebensdauer der Kontakte an der Luft deutlich höher war, sodass sich die Weiterentwicklung auf Luftschütze konzentrierte. Klöckner-Moeller z. B. stellte die Fertigung von Ölschützen 1957 ein (vgl. Ose (1982), S. 145–147).

¹⁸³ Vgl. Ose (1982), S. 135.

¹⁸⁴ Bildquelle: Breisig (1905), S. 376.

¹⁸⁵ Im Jahr 1956 erhielten die Erfinder des Transistors den Nobelpreis für Physik. Vgl. Gross/Marx (2014), S. 528.

Auch die Automatisierungstechnik wurde vom Transistor stark beeinflusst, weil er sich auch als Schalter eignete. Mit transistorisierten Logikbaugruppen konnten z. B. Maschinensteuerungen viel kompakter als mit Relais oder Schützen aufgebaut werden.¹⁸⁶ Durch Weiterentwicklungen konnte die Größe eines Transistors so verkleinert werden, dass viele Transistoren in einem Gehäuse mit mehreren Anschlüssen untergebracht werden konnten. Diese „integrierten Schaltungen“¹⁸⁷ ermöglichten komplexe logische Schaltungen zu einem Bruchteil der Kosten und des Platzbedarfs von Relaischaltungen.

Bauelement	Typische Verwendung in der Automatisierungstechnik
Transistor	Schalter (Verwendung anfangs nur für die Logik, später auch in Gleich- und Wechselrichtern)
Diode	Erlaubt Stromfluss nur in Durchgangsrichtung (Verwendung z. B. in einem Gleichrichter)
Thyristor	Einschaltbare Diode in Durchgangsrichtung (Verwendung z. B. in Gleichrichtern mit einstellbarer Ausgangsspannung)
Fotodiode	Durch Licht einschaltbare Diode; Durchlassstrom abhängig von der Intensität des Lichteinfalls (Verwendung z. B. in Messsystemen)

Tabelle 4: Gängige Halbleiterbauelemente der Automatisierungstechnik Anfang der 1960er Jahre¹⁸⁸

Transistoren bestehen aus Halbleitern¹⁸⁹, deren elektrische Eigenschaften durch Verunreinigung (Dotierung) gezielt beeinflusst werden. Je nach Ausgangsmaterial, Dotierung und Aufbau lassen sich mit Halbleitern elektronische Bauelemente für die Automatisierungstechnik mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften herstellen. Tabelle 4 zeigt Beispiele für gängige aus Halbleitern aufgebaute Bauelemente der Automatisierungstechnik Anfang der 1960er Jahre. Die Verwendung der in Tabelle 4 genannten Bauelemente gab der Automatisierungstechnik einen gewaltigen Entwick-

¹⁸⁶ Erste Baugruppen mit Germaniumtransistoren wurden z. B. von Siemens 1959 unter dem Namen Simatic 1959 auf der Pariser Werkzeugmaschinenausstellung gezeigt. Vgl. Hahn (2001), S. 32. Vorausgegangen waren lange Versuche, z. B. ab 1957 mit einer Pittler Revolverdrehbank. Vgl. Hahn (2001), S. 44.

¹⁸⁷ „Integrierte Schaltung: Elektronische Schaltung, bei der alle aktiven und passiven Schaltungselemente auf einem einzigen Halbleiterplättchen (Chip) enthalten sind.“ Attiyate/Shah (1992), S. 129. Den integrierten Schaltkreis (mehrere Transistoren auf einem Chip, aber noch ohne Verdrahtung) erfand 1958 Jack Kilby. 1959 gelang es Robert Noyce auch noch, die Verdrahtung auf dem Chip zu integrieren. Beide zusammen gelten als die Erfinder des integrierten Schaltkreises. Vgl. Slater (1989), S. 152–161.

¹⁸⁸ Eigene Zusammenstellung.

¹⁸⁹ „Halbleiter: Ein Werkstoff, dessen elektrische Leitfähigkeit zwischen den Leitfähigkeitsbereichen für Metalle und für Isolatoren liegt und in dem ein Stromtransport durch die Bewegung von Elektronen und Defektelektronen möglich ist.“ Attiyate/Shah (1992), S. 112.

lungsschub und führte zu neuen Lösungskonzepten für Steuerungen und elektrische Antriebe, die auch viele andere Technologien beeinflussten.

2.2.3 Rechnertechnik

Die wichtigste Anwendung für Transistoren bzw. deren Miniaturisierung, die integrierten Schaltungen, wurde die Rechnertechnik;¹⁹⁰ vorher waren die Rechner elektromechanisch mit Relais oder mit Röhren aufgebaut.

Der erste Entwurf einer funktionsfähigen mechanischen Rechenmaschine stammte von Charles Babbage (1791–1871). Babbage, ursprünglich Mathematiker, begann 1834 das Projekt einer mechanischen Maschine, der „Analytischen Maschine“, eines konzeptionellen Vorläufer des modernen Computers.¹⁹¹ Ende 1837 erstellte Babbage die erste Beschreibung seiner mechanischen „Analytischen Maschine“,¹⁹² die nie gebaut wurde. Heute herrscht in Fachkreisen die Meinung vor, dass die Maschine von Babbage funktioniert hätte.¹⁹³

Den ersten deutschen Rechner mit der auch heute noch üblichen Basisarchitektur, die „mechanische Zuse Z1“, baute 1937/1938 Konrad Zuse mit Unterstützung von Studienfreunden auf. Zuse, ein ausgebildeter Statiker, wollte mit der Entwicklung eines Rechners komplizierte Berechnungen beschleunigen.¹⁹⁴ Im Nachfolgemodell Z2 (1939) hatte Zuse einen Teil der Mechanik durch Relais ersetzt und die Weiterentwicklung Z3 (1941) basierte schon ganz auf Relais (vgl. Kapitel 2.2.1). Die Entwicklung wurde von der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt unterstützt. Mit Relais aufgebaut war auch die Version Z4, auf der 1945, also noch kurz vor Kriegsende, in der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen erste Rechnungen durchgeführt wurden.¹⁹⁵

Die Entwickler in den USA arbeiteten vor der Erfindung des Transistors abweichend zu Zuse (Mechanik, Relais) mit Elektronenröhren als Schalter. Wer den ersten elektronischen Digitalrechner in den USA gebaut hatte, musste vor Gericht geklärt werden. 1978 wurde die Erfindung John Atanasoff gerichtlich zugesprochen. Er und sein Assis-

¹⁹⁰ Der erste Transistorrechner entstand 1953 an der englischen Universität Manchester. Bekannt wurde aber der Tradic-Rechner, der 1954 von den Bell Telephone Laboratories in New Jersey (USA) entwickelt wurde. Vgl. Bruderer (2020), Tabelle 1.16, S.108.

¹⁹¹ Vgl. Hyman (1987), S. 8. Der Begriff Computer wurde 1967 in den Duden aufgenommen. Vgl. Duden (2021).

¹⁹² Charles Babbage beschrieb wesentliche Elemente der „Analytischen Maschine“ 1837 in einem Manuskript, das sich in Oxford im „Museum of the History of Science“ befindet. Die Veröffentlichung erfolgte durch Brian Randall. Babbage (1982).

¹⁹³ Ein Nachbau der „Differenzmaschine Nr. 1“ von Babbage wurde 1991 in London vorgeführt. Vgl. o. V. (1991).

¹⁹⁴ Vgl. Zuse (2010), S. 29–31.

¹⁹⁵ Vgl. Zuse (2010), S. 82.

tent Clifford Berry hatten den Atanasoff-Berry-Computer, auch „ABC“ genannt, am Iowa State College entwickelt. Der ABC wurde Mitte 1940 in Betrieb genommen und war zum Lösen großer linearer Gleichungssysteme entwickelt worden.¹⁹⁶

Das Gegenstück mit Elektronenröhren zu Zuses Z4 war der am 14. Februar 1946 vorgestellte ENIAC-Rechner. Die Entwicklung durch J. Presper Eckert und John W. Mauchly wurde durch die US-Armee finanziert. Der ENIAC¹⁹⁷ genannte Rechner wurde zur Berechnung von Geschossflugbahnen entwickelt.¹⁹⁸

Die ersten Rechner waren anfangs also aus ganz unterschiedlichen Gründen entwickelt worden, die militärische Anwendung wurde aber kurz vor Ende des Zweiten Weltkriegs immer wichtiger. Dazu zählte in der zweiten Hälfte der 1950er Jahren auch die Programmerstellung für die ersten NC-Maschinen, für die das MIT in den USA im Auftrag der US Air Force ein Konzept entwickelte (siehe Kapitel 3.4). Bis spezielle Rechner für die direkte Steuerung von Maschinen und Anlagen zur Verfügung standen, dauerte es dann noch bis Ende der 1960er Jahre.

Die Logikschaltungen der ersten NC-Steuerungen wurden mit den Bauelementen der Rechnertechnik (Relais, Elektronenröhren, Transistoren und integrierte Schaltkreise) aufgebaut. Näheres hierzu findet sich in den Kapiteln 3 und 4, die die Einführung der numerischen Steuerungen in den USA und Westdeutschland behandeln. Die Umstellung der NC-Steuerungen auf eine Rechnerarchitektur, die sogenannte CNC-Technik, begann Ende der 1960er Jahre (vgl. Kapitel 4.11).

2.2.4 Lochkarte und Lochstreifen

Der Lyoner Weber Basile Bouchon verwendete 1725 erstmals einen perforierten Endlospapierstreifen zur Steuerung des Latzenzugs eines Webstuhls und erfand damit den Lochstreifen. Zwischen 1728 und 1734 verbesserte der französische Mechaniker Baptiste Falcon die Lösung von Bouchon, in dem er statt des Endlospapierstreifens auswechselbare, aneinandergehängte Lochkarten verwendete, die das Weben von wechselnden Mustern ermöglichten.¹⁹⁹ Er wird oft als Erfinder der Lochkarte genannt. Im großen Stil verwendete Lochkarten erstmals 1805 Joseph-Marie Jacquard in seinem Webstuhl. Auf den Lochkarten war das Webmuster abgelegt; es konnte durch Austausch der Lochkarten leicht geändert werden.²⁰⁰

¹⁹⁶ Vgl. Smiley (2010), S. 3, 5 und 65.

¹⁹⁷ Electronic Numerical Integrator and Computer.

¹⁹⁸ Van der Spiegel u. a. (2000), S. 121–125.

¹⁹⁹ Vgl. Troitzsch (1991), S. 149.

²⁰⁰ Vgl. Wichmann (1990), S. 11. Nach Hipp stellte Jacquard seinen Webstuhl erst 1808 nach achtzehn Jahren Entwicklung fertig. 1812 waren schon 18000 Jacquardwebstühle in Betrieb. Vgl. Hipp (1856), S. 1367–1368.

Das Prinzip des Lochstreifens und der Lochkarte wurde immer wieder für verschiedene Anwendungen aufgegriffen, da beide Medien (je nach Qualität des Materials) langlebige Datenträger waren. Bekannt wurde die Lochkarte, als die Daten der US-Volkszählung von 1890 auf Lochkarten erfasst und auf Maschinen von Hollerith maschinell ausgewertet wurden.²⁰¹ Mit dem Aufkommen der Rechner in den 1950er Jahren wurde die Lochkarte eines der wichtigsten Medien für die Datenein- und Datenausgabe.

Der Lochstreifen hingegen hatte Vorteile bei Anwendungen mit langen Zeichenfolgen,²⁰² bei denen die Reihenfolge der Zeichen unter keinen Umständen verändert werden durfte. Er hatte Anfang der 1950er Jahre eine hohe Zuverlässigkeit erreicht; seine Robustheit prädestinierte ihn deshalb als Programmspeicher für die aufkommenden NC-Steuerungen. Ein weiterer Vorteil war, dass die für das „NC-Programmhandling“ benötigten Geräte wie Lochstreifenleser und -stanzer vom Fernschreiber²⁰³ bekannt waren und nicht neu entwickelt werden mussten.

2.2.5 Positionsmessung

Für die elektrische Positionserfassung mechanisch bewegter Vorrichtungen und ihrer regelungstechnischen Weiterverarbeitung wurde schon ab Anfang des 20. Jahrhunderts nach Lösungen gesucht, da diese z. B. die Fernsteuerung von Toren ermöglichte.

Eine der ersten beschriebenen Anwendungen war die eines Gleichstrom-Drehmeldersystems, des sogenannten Selsyns, das um den Anfang des Ersten Weltkriegs herum für die Fernüberwachung der Schleusentore des Panamakanals eingesetzt wurde. Das Selsyn gab eine vom Drehwinkel abhängige Spannung aus, die von einem kreisförmig angeordneten Widerstand abgegriffen und ausgewertet wurde.²⁰⁴

Das Prinzip wurde in den 1920er Jahren in mehreren Schritten modifiziert und auf ein induktives Verfahren umgestellt. Dieses hatte eine höhere Genauigkeit und Robustheit und wurde vor allem im militärischen Bereich zuerst zur Positionierung von Geschützen, später auch von Radaranlagen eingesetzt. Das Messprinzip fand unter dem Namen Resolver oder Drehmelder Einzug in die Fachliteratur. Das Messverfahren hatte am

²⁰¹ Vgl. Haurenherm (2012), S. 9.

²⁰² Vgl. Gautzsch (1964), S. 37.

²⁰³ Der Fernschreiber war eine Schreibmaschine, die mit einem anderen Fernschreiber (Schreibmaschine) über eine Telegrafienleitung verbunden war. Wurde auf einem Fernschreiber geschrieben druckte der daran gekoppelte Fernschreiber das Geschriebene aus. Die Übermittlung erfolgte dann simultan. Die Übertragung konnte aber auch zeitlich entkoppelt erfolgen. In diesem Fall wurden die Zeichen in einen Lochstreifen gestanzt, der erst später eingelesen und übertragen wurde. Durch die dann kürzere Leitungsbelegung konnten die Übertragungskosten reduziert werden. Vgl. hierzu Appel/Dacol (1982), S. 99–101.

²⁰⁴ Vgl. o. V. (1963b). Erfunden hat das Selsyn zwischen 1908 und 1910 der General-Electric-Mitarbeiter A. E. Bailey jun.

Ende des Zweiten Weltkriegs eine hohe Zuverlässigkeit erreicht und war prinzipiell für die Wegmessung der ersten NC-Maschinen geeignet. Ab Mitte der 1950er Jahre gab es auch eine abgewinkelte bzw. lineare Version des Resolvers für eine direkte Längenmessung an Maschinen, für die sich die Bezeichnung Inductosyn einbürgerte.²⁰⁵

Eine weitere Möglichkeit, die Position von Achsen präzise zu erfassen, waren optische Systeme. Deren Entwicklung wurde durch die 1889 in Berlin gegründete Firma Heidenhain mit ihren Verfahren zum präzisen Metallätzen entscheidend geprägt.

Der Sohn des Gründers, Johannes Heidenhain, entwickelte 1928 das METALLUR-Verfahren, mit dem Präzisionsteilungen²⁰⁶ zur Positionserfassung auf einem beschichteten Glasträger aufgebracht werden konnten. Ein erster mit dem Verfahren hergestellter Längenmaßstab mit einem Meter Länge wurde 1936 für ein Horizontalbohrwerk des Werkzeugmaschinenherstellers Vomag geliefert.²⁰⁷

1950 entwickelte Heidenhain das DIADUR-Verfahren. Die damit hergestellten Maßstäbe hatten eine robustere und noch präzisere Teilung, die auch eine fotoelektrische Auswertung des Maßstabs ermöglichte. Die ersten Produkte mit einer fotoelektrischen Auswertung waren 1961 der inkrementale Drehgeber ROD 1 und das inkrementale Längenmesssystem LID 1, die beide auch als Messsysteme für numerische Steuerungen geeignet waren.²⁰⁸ Allerdings dauerte es mehrere Jahre, bis die induktiven Messsysteme nach dem Resolverprinzip größere Marktanteile gegenüber den optischen Messsystemen verloren (vgl. Kapitel 7.4.3).²⁰⁹

Auch Simon beschrieb 1960 in seiner Habilitationsschrift die damals bekannten Wegmesssysteme. Er unterschied analoge und digitale Messsysteme. Bei den analogen Messsystemen favorisierte Simon in erster Linie den Drehmelder und dessen „abgewinkelte Variante“, das lineare Messsystem Inductosyn der US-Firma Farrand Optical

²⁰⁵ Die Bezeichnung Inductosyn für das induktive Längenmesssystem wurde aus dem Namen der Tochtergesellschaft Inductosyn Corporation des Herstellers Farrand Optical Co. abgeleitet. Über das Messsystem wurde erstmals 1955 auf der Telemetrytagung in Chicago berichtet. Winget führte aus, dass die Entwicklung vom „Air Material Command“ gefördert und für Servoantriebe entwickelt wurde. Vgl. Winget (1955), S. 55–56.

²⁰⁶ Mit dem Begriff Präzisionsteilung ist gemeint, dass die Abstände der Messstriche auf dem Maßstab extrem genau sind, d. h., dass der Maßstab auch über eine große Länge fast keinen Fehler hat.

²⁰⁷ Vgl. Petrich (1989), S. 3–10. Die Ablesung der Position erfolgte an den Maschinen optisch. Vgl. Petrich (1989), S. 12–13. Leider gibt es keine Abbildung des ersten optisch abgelesenen Längenmaßstabs.

²⁰⁸ Die optischen Messsysteme von Heidenhain hatten eine andere „elektrische“ Schnittstelle als die Drehmelder bzw. das Inductosyn. Die numerischen Steuerungen mussten also für die Verwendung dieser Messsysteme angepasst werden.

²⁰⁹ Vgl. Petrich (1989), S. 13–16.

Co.²¹⁰ Bei den digitalen Messsystemen nannte Simon auch die fotoelektrische Abtastung von Strichcodes (wie sie damals bei Heidenhain in Entwicklung war). Er vertrat aber die Meinung, dass aus Kostengründen vorerst nur rotatorische Ausführungen optischer Systeme infrage kämen.²¹¹ Magnetische Systeme (hier nicht beschrieben) schätzte Simon damals aus technischen Gründen als ungeeignet für Werkzeugmaschinen ein.²¹²

Zusammengefasst stand bei Entwicklungsbeginn der numerischen Steuerung Ende der 1940er Jahre mit dem Drehmelder ein bewährtes Messverfahren zur elektrischen Erfassung von Positionen zur Verfügung, sodass für die Entwickler das Problem der Wegmessung vorerst gelöst war.

2.2.6 Servotechnik bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs

Eine grundlegende Funktion numerischer Steuerungen ist die Lageregelung. Sie ermöglicht, mit Antrieben eine mechanische Achse in einer Zielposition mit genau definierter Geschwindigkeit ohne Überspringen²¹³ zu positionieren. Zur Entwicklungsgeschichte der dafür erforderlichen Regelungstechnik wird auf die Literatur verwiesen.²¹⁴ Dennoch soll auf eine zentrale Erfindung für die Lageregelung, den PID-Regler, kurz eingegangen werden.

²¹⁰ Bei analogen Messsystemen ist die analoge Ausgangsspannung ein Maß für den Weg. Um eine höhere Genauigkeit zu erreichen, können analoge Messsysteme mit einem periodischen Charakter mit einem Zähler kombiniert werden, der die Anzahl der Perioden zählt. Die Position ergibt sich dann aus den gezählten Perioden, multipliziert mit der Periodenlänge und dem analogen Wert der aktuellen Periode. Diese Messsysteme waren in der Anfangszeit meistens Drehmelder (auch Resolver genannt) oder das Inductosyn. Ihr Ausgangssignal war eine positionsabhängige Sinus- und Kosinusspannung, die sich periodisch wiederholte (vgl. hierzu auch Kapitel 7.4.3).

²¹¹ Bei digitalen Messsystemen wird die Wegstrecke in möglichst kleine, gleich große Wegstücke (Inkrementen) aufgeteilt. Beim Abfahren der Wegstrecke werden die Weginkremente aufsummiert und mit der „Größe“ eines Inkrementes multipliziert, woraus sich die aktuelle Position ergibt. Die Inkremente können auf Scheiben (bei rotatorischen Gebern) oder „Maßstäben“ bei linearen Messsystemen aufgebracht sein. Als Trägermaterial der sogenannten „Maßverkörperung“ kommt Metall oder Glas infrage. Bei der Herstellung der digitalen Messsysteme ist die Präzision der Inkremente auf dem Maßstab entscheidend, die in der Bundesrepublik Deutschland Heidenhain in den 1960er Jahren am besten löste. Das „Ablesen“ der Inkremente erfolgt meistens fotoelektrisch durch Auflicht (bei Metall oder Glas als Trägermaterial) oder auch Durchlicht (bei rotatorischen Gebern mit Glas als Trägermaterial). Vgl. hierzu auch Kapitel 7.4.3).

²¹² Vgl. Simon (1960b), S. 35–38. Eine Zusammenfassung des technischen Stands der Wegmesssysteme um 1961 erstellte auch Beauclair. Beauclair (1961b).

²¹³ Wird in eine Zielposition mit Überspringen gefahren, bedeutet dies, dass die Zielposition überfahren wird und die Regelung die Achse wieder zurückholen muss. Bei hohen Genauigkeitsanforderungen kann dieses Verhalten zur Zerstörung des Werkstücks führen, wenn das Überspringen während der Bearbeitung erfolgt. Eine Regelung, mit der Positionen mit möglichst geringem Überspringen angefahren und gehalten werden können, wird Lageregelung genannt.

²¹⁴ Einen guten Überblick über die historische Entwicklung gibt der 1996 erschienene Aufsatz von Stuart Bennett „A Brief History of Automatic Control“. Bennett (1996).

1922 veröffentlichte Nicolas Minorsky seine Theorie der (Lage-)Regelung²¹⁵, die heute als PID²¹⁶-Regelung bezeichnet wird.²¹⁷ Sein Grundgedanke war, die Differenz zwischen dem Soll- und dem Istwert der Position zu messen und die Abweichung in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Regelstrecke (Stärke des Antriebs, Reibung, Elastizität ...) durch einen flexibel einstellbaren Regler möglichst schnell auszugleichen. Erst 1936 wurde Minorskys Theorie durch die Taylor Instrument Company in einem Regler vermarktet.²¹⁸ Es war lange nicht verstanden worden, dass durch eine geeignete Parametrierung eines PID-Reglers fast jedes gewünschte Regelverhalten erreicht werden kann.²¹⁹

Durch die Kombination von Regelung, Antrieben (elektrische oder hydraulische) und Systemen zur Positionsmessung (vgl. Kapitel 2.2.5) konnten Lageregelkreise aufgebaut werden. Mit diesen war es möglich, mechanische Achsen auf eine vorgegebene und veränderliche Position zu fahren. Militärisch genutzt wurde diese Technologie im Zweiten Weltkrieg, um Flugabwehrgeschütze automatisch über Radaranlagen zu steuern. An den Entwicklungen war auch das MIT beteiligt,²²⁰ das sich damit große Kompetenz für Servoantriebe²²¹ erarbeitete. Deshalb spielte später das MIT eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der ersten NC-Maschine (vgl. Kapitel 3.1).

1938 erfand Hendrik W. Bode das „Bode-Diagramm“²²², mit dem Phasenverschiebung und Amplitudenverstärkung eines Ausgangssignals zu einem Eingangssignal frequenz-

²¹⁵ Minorsky (1922).

²¹⁶ Das Grundprinzip eines Reglers ist es, die Differenz zwischen einem Soll- und Istwert zu minimieren. Je nach Reglertyp gibt es hierzu verschiedene Strategien. Beim Proportional Regler (P-Regler) wird die Differenz zwischen Soll- und Istwert verstärkt und als Korrekturwert eingespeist. Sein Vorteil ist, dass der Regler sehr schnell reagiert, sein Nachteil ist, dass je nach Art der Regelstrecke die mögliche Verstärkung begrenzt ist und eine geringe Regelabweichung bleibt. Beim Integral Regler (I-Regler) erhöht sich die Verstärkung langsam, d. h. die Differenz zwischen Soll- und Istwert wird deutlich langsamer als beim P-Regler ausgeregelt, die Regelstrecke wird aber nicht sprunghaft belastet, was vorteilhaft sein kann. Der Differenz Regler (D-Regler) reagiert auf die Änderungsgeschwindigkeit der Regelabweichung und versucht dieser bei schnellen Änderungen zusätzlich entgegenzuwirken.

²¹⁷ Vgl. Bennett (1996), S. 19.

²¹⁸ Bennett (1984), S. 10.

²¹⁹ Durch die Parametrierung eines Reglers (Gewichtung des P-, I-, und D-Anteils) wird in Abhängigkeit von der Charakteristik der Regelstrecke das Regelverhalten optimiert. Bei NC-Maschinen ist es z. B. wichtig, dass für ein optimales Werkstück das Regelverhalten aller Achsen möglichst gleich ist, obwohl die einzelnen Achsen unterschiedliche Eigenschaften haben. Außerdem ist es wichtig, dass die Achsen Sollwertänderungen möglichst verzögerungsfrei folgen. Die Achsregelungen von NC-Maschinen haben deshalb die Charakteristik eines P-Reglers, da sie möglichst schnell eine Differenz zwischen Soll- und Istwert ausregeln müssen.

²²⁰ Vgl. Bennett (1996), S. 20. Nach Reintjes wurde das „Servomechanism Laboratory“ am MIT 1940 von Gordon S. Brown ursprünglich zur Lösung militärischer Probleme bei Schusswaffen und der Steuerung von Lenkwaffen gegründet. Vgl. Reintjes (1991), S. 12.

²²¹ Geregelte Antriebe zum Positionieren von Achsen werden als Servoantriebe bezeichnet.

²²² Vgl. Makarov u. a. (2016), S. IX–443. Seine komplette Theorie veröffentlichte Bode erstmals 1945. Bode (1945).

abhängig beurteilt werden konnten.²²³ Das Bode-Diagramm wurde bei der Inbetriebnahme von NC-Steuerungen ab Ende der 1960er Jahren ein wichtiges Werkzeug, um die optimale Reglerparametrierung für die Lageregelkreise zu finden. Besonders das ISW in Stuttgart propagierte die Verwendung des Bode-Diagramms zur Optimierung von Lageregelkreisen in seinen Lageregelseminaren ab Anfang der 1970er Jahre.²²⁴

Zusammengefasst betrachtet waren nach dem Zweiten Weltkrieg die technologischen Probleme der geregelten Positionierung von Achsen grundsätzlich gelöst, sodass sich das MIT bei der Entwicklung der ersten NC-Steuerung vorerst nicht mit der Positionierproblematik beschäftigen musste. Allerdings waren später noch viele Weiterentwicklungen erforderlich, um Handhabung, Zuverlässigkeit und Inbetriebnahme zu verbessern.

2.3 Zusammenfassung

Bis Ende der 1940er Jahre gab es mehrere Erfindungen und Entwicklungen, die wichtige Voraussetzungen für die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen waren, obwohl sie ursprünglich keinen Bezug zu Werkzeugmaschinen hatten. Sie waren aus anderen Überlegungen und Notwendigkeiten entstanden und wurden zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten für die Werkzeugmaschine „entdeckt“, deren Weiterentwicklung sie dann allerdings stark beeinflussten.

Eine Sonderrolle nahm der elektrische Antrieb ein, der viele Anwendungen hatte. Es dauerte mehrere Jahrzehnte, bis er ausgehend vom Transmissionsantrieb so in die Werkzeugmaschine integriert war, dass von der Elektrowerkzeugmaschine gesprochen wurde. Auf dieser bauten dann die ersten numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen meistens auf. Die anderen in diesem Kapitel genannten Erfindungen wie Halbleitertechnik, Rechner, Messsysteme und Lochstreifen kamen an der Werkzeugmaschine erst mit der NC-Technik zum Einsatz, entweder direkt für die Steuerung oder für deren Schnittstellen zur Maschine und zum Bediener (Programmierer). Nur Relais und Schütze wurden schon an Elektrowerkzeugmaschinen zum Ein- und Ausschalten der Antriebe und für die Sicherheitslogiken benötigt.

²²³ Vereinfacht ist damit gemeint, dass Änderungen auf der Eingangsseite einer Regelstrecke z. B. durch Totzeiten zeitlich verzögert auf der Ausgangsseite sichtbar werden. Es wird von einer Phasenverschiebung gesprochen. Die Phasenverschiebung bewirkt, dass die für die Regelung erforderliche Rückmeldung des Ausgangssignals auf die Eingangsseite verzögert erfolgt. Solange die Verzögerungszeit kleiner ist als die zeitlichen Änderungen auf der Eingangsseite, ist der Regelkreis stabil. Ändert sich aber die Eingangsseite schneller als die Rückmeldung erfolgen kann, wird der Regelkreis instabil. Das Bode-Diagramm ermöglicht es, diese „Stabilitätsgrenze“ schnell und einfach zu ermitteln und Maßnahmen zur Verbesserung der Stabilität des Regelkreises einzuleiten.

²²⁴ Vgl. Schmid (13.05.2016), S. 4–5.

3 Die Entwicklung der NC-Technik in den USA

3.1 Erfindung der NC-Maschine durch John T. Parsons

Die ersten Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg waren von zentraler Bedeutung für die Weiterentwicklung der Werkzeugmaschinen. Dabei wurden zwei unterschiedliche Entwicklungspfade verfolgt. Der eine ging in Richtung einer höheren Automatisierung, um Kleinserien wirtschaftlicher herstellen zu können. Der andere hatte das Ziel, mit Werkzeugmaschinen die Herstellung von neuartigen, komplexen Teilen zu ermöglichen, die vor allem in der Luft- und Raumfahrt benötigt wurden. Dieser führte zur NC-Maschine.

Die wichtigste Triebfeder für den Absatz neuer Werkzeugmaschinen in Westdeutschland war der Wiederaufbau der zerstörten Produktionsanlagen nach dem Zweiten Weltkrieg. In den USA hingegen war es ab Ende der 1940er Jahre vor allem der sich zuspitzende Kalte Krieg²²⁵ mit der UDSSR. Dieser führte bei der US Air Force zu hohen Rüstungsausgaben, da sich die USA und die UdSSR ab Ende der 1940er Jahre zunächst mit neuen Flugzeugen und später mit Raketen gegenseitig bedrohten. Deren Herstellung erforderte leistungsfähigere und neuartige Maschinen.

Bevor sich der höhere Flugzeugbedarf der US Air Force auf die Entwicklung der Werkzeugmaschinen auswirkte, konzentrierten sich die Werkzeugmaschinenhersteller auf eine kontinuierliche und kundenorientierte Verbesserung ihrer Maschinen. Darunter waren auch Maschinenkonzepte zur kostengünstigeren Fertigung von Kleinserien. Eine dieser Entwicklungen erfolgte bei der Firma Arma Corporation, einem Hersteller militärischer Güter. Nach Noble wollte Arma nach dem Zweiten Weltkrieg auch zivile Produkte anbieten, um ein Auftragsloch nach dem Ende des Krieges auszugleichen. Frederick Cunningham, ein am MIT ausgebildeter und seit 1934 bei Arma tätiger Physiker, hatte die Idee für eine über Lochstreifen programmierbare Drehmaschine. Die Maschine wurde 1950 vorgestellt, fand aber trotz vieler Interessenten keine Käufer. Arma stellte die Weiterentwicklung schon 1951 wieder ein, als der Koreakrieg lukrativere Geschäfte erwarten ließ.²²⁶

²²⁵ Der Begriff „Kalter Krieg“ als politisches Schlagwort wird dem Journalist Herbert B. Swope zugeschrieben, der für den amerikanischen Präsidentenberater Bernard M. Baruch Reden verfasste. Baruch verwendete die Worte „the cold war“ erstmals öffentlich im April 1947 in einer Rede im Abgeordnetenhaus von South Carolina. Im Herbst 1947 wurde der Begriff durch die Broschüre „The Cold War“ des Publizisten Walter Lippmann populär (Lippmann (1947)). „Der Kalte Krieg“ ist heute der Begriff für die gegenseitige militärische Bedrohung (verbunden mit einem massiven Wettrüsten) zwischen den USA und der UDSSR. Er begann kurz nach dem Zweiten Weltkrieg und endete erst mit dem Zerfall der UDSSR 1991. Vgl. Stöver (2008), S. 7–9.

²²⁶ Vgl. Noble (1984), S. 88–92. Noble beschreibt die Hintergründe der Entwicklung und ihr Scheitern sehr ausführlich. Ein Musterteil soll mit Cunninghams Maschine in vier statt 30 Minuten hergestellt worden sein. Schwierig war aber die Programmierung.

Einen anderen technischen Ansatz verfolgte General Electric (GE) mit seiner Record-Playback-Steuerung²²⁷. Ein erster Prototyp, adaptiert an je eine Dreh- und Fräsmaschine, wurde zwar schon 1948 vorgestellt, die erste Steuerung wurde aber erst 1952 an den Werkzeugmaschinenhersteller Giddings & Lewis ausgeliefert. Die Steuerung war sehr kompliziert aufgebaut. Nach Holmes bestand sie aus 400 Elektronenröhren, 400 Relais, drei Amplidyne-Generatoren²²⁸ und einem 14-kanaligen Magnetbandgerät.²²⁹ Bemerkenswert ist, dass einige Komponenten der Steuerung in modifizierter Form drei Jahre später die Basis für eine der ersten numerischen Steuerungen waren. Darauf wird später in diesem Kapitel noch eingegangen.

Etwas erfolgreicher war nach Noble eine von F. P. Caruthers entwickelte programmierbare Steuerung für Drehmaschinen.²³⁰ Caruthers hatte sich während des Zweiten Weltkriegs als Marineinspektor mit der Steuerung von Radaranlagen beschäftigt. Nach dem Krieg trat er in den Metallbearbeitungsbetrieb Thomson Equipment Company ein, der einem ehemaligen Klassenkameraden gehörte. Dort begann er die Maschinen zu automatisieren. Um 1949 hatte er eine Drehmaschine entwickelt, deren spezieller Schrittschalter²³¹ über ein Steckerfeld programmierbar war. Als Aktoren zur Ausführung der Steuerbefehle verwendete er Relais. Nachdem er innerhalb von fünf Jahren für Thomson Equipment einige dieser Drehmaschinen gebaut hatte, konnte die weiterentwickelte nächste Maschinenserie zusätzlich zum Steckerfeld mit einem Lochstreifen programmiert werden. Von dieser Variante wurden wahrscheinlich vier Maschinen gebaut. 1957 wechselte Caruthers dann zur Firma Automation Specialities, Inc. Dort wollte er seine Steuerung so weiterentwickeln, dass sie die Vorteile der Steckerfeld-

²²⁷ Record-Playback-Steuerungen waren eine weitere Entwicklungslinie von automatisierten Werkzeugmaschinensteuerungen, die für einfachere Teile konzipiert war. Die Idee war, über Sensoren alle Bedienhandlungen des (Fach-)Arbeiters bei der Herstellung eines Werkstücks auf einem Magnetband aufzuzeichnen. Wiederholteile sollten dann durch Abspielen des Magnetbands mit geeigneten Aktoren automatisch gefertigt werden. Das Konzept hatte viele Anhänger, da das Wissen des Facharbeiters zur Programmerstellung bei der Fertigung des Musterwerkstücks genutzt wurde. Es konnte sich aber am Markt nicht durchsetzen. Die Gründe dafür waren vielfältig. Ein Grund war, dass diese Technik nur für Teile geeignet war, die konventionell hergestellt werden konnten. Komplexe Teile, die drei und mehr Achsen benötigten, ließen sich damit nicht fertigen. Noble sah aber noch einen anderen Grund. Er vertrat die These, dass die Record-Playback-Steuerungen sich nicht durchsetzten, weil die Unternehmen unabhängiger von den (teuren) Facharbeitern werden wollten. Vgl. Noble (1979), z. B. S. 9 und 23. Zur Diskussion über die Record-Playback-Steuerungen siehe auch Kapitel 8.2.1.

²²⁸ Der Amplidyne-Generator (Elektromotorischer Verstärker) wurde wahrscheinlich für die Verstellung der Vorschubachsen der Maschinen benötigt. Er diente zur Verstärkung des Drehzahlsollwertes für den Antrieb.

²²⁹ Vgl. Holmes (2008), S. 8–9.

²³⁰ Vgl. Noble (1984), S. 92–94. Die Ausführungen in diesem Absatz sind eine Zusammenfassung.

²³¹ Ein Schrittschalter ist ein Steuerwerk, das Befehle schrittweise abarbeitet. Wenn alle Befehle eines Schrittes abgearbeitet sind, schaltet es zum nächsten Schritt weiter. In jedem Schritt können durch Steckverbindungen auf einem Steckerfeld vordefinierte Aktionen ausgelöst werden, d. h. die Aktionen des Schrittschalters pro Schritt sind innerhalb der von der Konstruktion vorgegebenen Möglichkeiten programmierbar.

und Lochstreifenprogrammierung intelligent kombinierte. Die Steuerung bekam den Namen Specialmatic und konnte in der Werkstatt vom Maschinenbediener programmiert werden, indem dieser vorgefertigte, gestanzte Programmbausteine kombinierte. Diese wurden von einem speziellen Lesegerät ausgewertet.²³² Die Steuerung wurde 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago vorgestellt und von Fachleuten gelobt. Obwohl einige Steuerungen verkauft wurden, hatte sie nach Einschätzung von Noble nicht zuletzt wegen Kapitalmangel nie eine Chance, das von der US Air Force geförderte NC-Konzept infrage zu stellen.²³³ Auch Schröder war der Meinung, dass Caruthers Konzept hauptsächlich daran scheiterte, dass zu wenig Kapital für die Vermarktung zur Verfügung stand.²³⁴

Erfolgreicher war John T. Parsons, der ähnliche Überlegungen anstellte und heute als Erfinder der NC-Technik angesehen wird.²³⁵ Als Anwender von Werkzeugmaschinen hatte er die Idee einer numerischen Steuerung für Werkzeugmaschinen. Er entwickelte sie in mehreren Schritten auf der Suche nach Lösungen für Probleme, die er bei der Fertigung von Rotorblättern für Hubschrauber und der geplanten Fertigung von Bauteilen für Flugzeugflügel hatte.²³⁶

Parsons arbeitete nach dem Zweiten Weltkrieg in der Firma seines Vaters, der „Parsons Manufacturing Corporation“. Diese stellte u. a. Rotorblätter für Hubschrauber her. In diesem Zusammenhang erhielt die Firma Parsons vom AMC²³⁷ den Auftrag, eine Anleitung für Konstruktion und Berechnung der Rotorblätter zu erstellen. Parsons merkte schnell, wie hoch der Rechenaufwand war; ohne Rechnerunterstützung lag dieser für ein Rotorblatt in etwa bei einem Mannjahr.²³⁸

Parsons und sein Chefsingenieur Stulen hatten von wissenschaftlichen Anwendungen eines der ersten Rechner an der Pennsylvania University gehört. Sie kamen auf die Idee, mit einem Rechner die Berechnung der Rotorblätter zu beschleunigen. Parsons

²³² Die Specialmatic war so gesehen ein Vorläufer der späteren werkstattprogrammierbaren NC-Steuerungen, die ab Ende der 1970er Jahre aufkamen (vgl. Kapitel 4.13).

²³³ Vgl. Noble (1984), S. 95.

²³⁴ Vgl. Schröder (1995), S. 111.

²³⁵ Vgl. Schröder (1995), S. 112.

²³⁶ Die nachfolgende Schilderung ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Punkte aus der Dissertation von Schröder. Es handelt sich um die detaillierteste Darstellung des Ablaufs in der westdeutschen und amerikanischen Fachliteratur vor dem Abschluss des Entwicklungsvertrags mit dem MIT. Vgl. Schröder (1995), S. 112–134. Schröder gab als Quelle für seine Darstellung seine Gespräche mit John T. Parsons und Frank Stulen von der ehemaligen Parsons Manufacturing Corporation an. Außerdem sprach Schröder noch mit Prof. Reintjes vom MIT und Douglas T. Ross, die beide bei der NC-Entwicklung des MIT wichtige Rollen spielten. Reintjes veröffentlichte seine Erinnerungen an die NC-Entwicklung, in denen er die Entwicklung ab dem Abschluss des Entwicklungsvertrags mit dem MIT sehr ausführlich darstellte. Reintjes (1991). Parsons gab 2001 der Zeitschrift *Manufacturing Engineering* ein Interview, in dem er die Entwicklung aus seiner Sicht schilderte. Russ (2001).

²³⁷ US Air Force Material Command.

²³⁸ Vgl. Schröder (1995), S. 115. Schröder nannte kein genaues Datum für den Auftrag des AMC.

und Stulen wandten sich an IBM, den damals führenden kommerziellen Rechnerhersteller, um die Eignung der IBM-Rechner für ihr Berechnungsproblem abzuklären. Das Ergebnis war positiv: Durch einen angemieteten IBM-Rechner 602A²³⁹ konnten sie den Berechnungsaufwand für die Rotorblätter deutlich reduzieren.²⁴⁰

Ein weiteres Problem war die Qualitätskontrolle der fertigen Rotorblätter. Die Form des Hubschrauberblatts musste mit mehreren genauen Schablonen über die gesamte Länge kontrolliert werden. Das Messprinzip zeigt Abbildung 7. Da jede Schablone andere Maße und Konturen hatte, war ihre Fertigung sehr aufwendig. Parsons kam 1947 zusammen mit Mitarbeitern auf die Idee, das Profil der Schablonen mit einem Rechner punktweise zu berechnen und das Ergebnis der Fertigung in tabellarischer Form zu übergeben. Die Arbeiter mussten dann die Maschinen nur noch auf die in den Tabellen vorgegebenen Koordinaten einstellen, auf den Positionen Löcher bohren, das Restmaterial zwischen den gebohrten „Stützpunkten“ entfernen und die entstandene Kontur dann noch glätten. So konnte Parsons die Genauigkeit der Schablonen bei reduzierten Kosten verbessern.²⁴¹

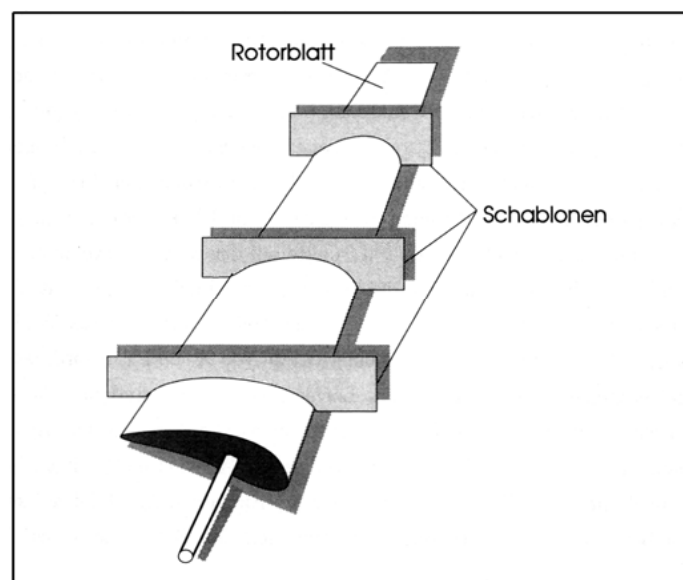


Abbildung 7: Schablone zur Überprüfung eines Hubschrauberrotorblatts²⁴²

Schröder kam zu dem Schluss, dass mit dieser Vorgehensweise Parsons und seine Mitarbeiter das Grundprinzip der Steuerung einer Werkzeugmaschine nach Zahlen entwickelt hatten, nämlich eine manuell bedienbare Zwei-Achsen-Positioniersteuerung.

²³⁹ Der erste IBM-Rechner 602 wurde am 6.11.1947 ausgeliefert; er war elektromechanisch aufgebaut. Vgl. Lazarus u. a. (1978), S. 4.

²⁴⁰ Vgl. Schröder (1995), S. 115.

²⁴¹ Vgl. Schröder (1995), S. 118. Durch den IBM-Rechner konnten pro Schablone bis zu 200 Stützpunkte berechnet werden. Vorher standen nur 17 Punkte zur Verfügung, die mit einem Kurvenlineal verbunden werden mussten. Dies war wesentlich ungenauer und benötigte wesentlich mehr Handarbeit beim Feilen. Vgl. Russ (2001), S. 48.

²⁴² Bildquelle: Schröder (1995), S. 117.

Laut Schröder suchte Parsons in der Folge nach einem Weg, die Schablonenherstellung weiter zu automatisieren, fand aber zunächst kein schlüssiges Konzept.²⁴³

Parsons noch vage Ideen nahmen 1948 Gestalt an durch Probleme bei der Herstellung der Flügel für ein neues Kampfflugzeug und einen neuen Mittelstreckenbomber, von denen Parsons durch seinen Verkäufer erfuhr. Die Flügel waren zu schwer. Die Aufträge für die Flugzeuge hatte die US Air Force an Republic Aviation bzw. Lockheed vergeben.²⁴⁴

Parsons erste Idee war es, sein Verfahren für die Schablonenfertigung der Rotorblätter auf drei Achsen zu erweitern, um die Schablonen für die Spezialmaschinen zur Flügelherstellung genauer zu machen. Zur Reduzierung des Zeitaufwands entwarf er ein Maschinenkonzept für die Herstellung der Flügelprofile, bei dem die Achsen automatisch über eine Steuerung positioniert wurden, die vorausberechnete Koordinaten über Lochkarten bekam. Das Maschinenkonzept nannte er „Card-a-matic Milling Machine“. Mit diesem Konzept bewarb sich Parsons für die Fertigung der Flügelprofile. Parallel versuchte er für seine Idee durch persönliche Kontakte, Werbebroschüren und Flyer Investoren zu finden. Die intensive Akquisition hatte Erfolg. Parsons demonstrierte im Dezember 1948 bei einer Vorführung bei der Firma Snyder sein Konzept mit einer Schweizer Bohrmaschine, die noch nicht automatisiert war. Parsons konnte zehn Mitarbeiter der US Air Force und einen der US Navy von seinem Konzept überzeugen und erhielt von der AMC im Juni 1949 einen Entwicklungsauftrag über 200 000 USD für eine lochkartengesteuerte Fräsmaschine.²⁴⁵

Zur Auftragsabwicklung stellte Parsons Robert H. Marsh vom Maschinenhersteller National Twist Drill Company ein. Marsh kannte die Arbeiten des MIT über Servosysteme (vgl. Kapitel 2.2.6) und schlug vor, für die Entwicklung der Steuerung Kontakt mit dem MIT aufzunehmen. Parsons hörte auf den Rat und einigte sich schnell mit dem MIT. Der Unterentwicklungsvertrag wurde am 29. Juli 1949²⁴⁶ abgeschlossen. Der Vertrag begann rückwirkend am 1. Juli 1949 und hatte zunächst eine Laufzeit von einem Jahr, die später auf 21 Monate, also bis Ende Februar 1951, verlängert wurde.²⁴⁷

Das MIT begann zügig mit der Umsetzung, die jedoch aufwendiger war als anfangs gedacht. Obwohl das MIT bei Vertragsende noch nicht fertig war, überzog es das Budget um 50.000 USD. Die notwendige Vertragsverlängerung gestaltete sich schwie-

²⁴³ Vgl. Schröder (1995), S. 118–119.

²⁴⁴ Vgl. Russ (2001), S. 48.

²⁴⁵ Vgl. Schröder (1995), S. 119–121. Interessant ist Parsons Aussage zur Höhe des Entwicklungsauftrags der US Air Force. In einem Interview mit Olexa Russ sprach er davon, die Summe „was grabbing a figure out of the air“, also aus der Luft gegriffen. Russ (2001), S. 49. Parsons hatte also nicht versucht, den Aufwand zumindest halbwegs seriös abzuschätzen, was es später dem MIT erleichterte, ihn zu verdrängen.

²⁴⁶ Vgl. Reintjes (1991), S. 24–25.

²⁴⁷ Vgl. Russ (2001), S. 49.

rig. Das MIT machte Parsons ein Angebot für die Vertragsverlängerung, auf das Parsons noch seine Kosten aufschlug und als seine Gesamtkosten an die US Air Force weitergab. Parallel machte das MIT der US Air Force ein niedrigeres Angebot, da Regierungsangebote anders kalkuliert wurden. Da das direkte Angebot an die US Air Force deutlich günstiger war, verlängerte diese den Vertrag direkt mit dem MIT, d. h. auf die Weiterentwicklung hatte Parsons keinen Einfluss mehr.²⁴⁸

3.2 Kurzer Abriss der NC-Entwicklung in den USA bis Mitte der 1950er Jahre

Nach dem Ausscheiden Parsons wurde die Entwicklung der lochkartengesteuerten Fräsmaschine forciert. Im März 1952 war der Prototyp fertig und es konnte mit Erprobungen begonnen werden (Abbildung 8).²⁴⁹

Die Maschine mit einer Bahnsteuerung für drei Achsen wurde auf einer dreitägigen Tagung vom 15. bis zum 17. September 1952 vom MIT mit Unterstützung durch die US Air Force vorgestellt.²⁵⁰ Ziel war es, die amerikanischen Werkzeugmaschinenhersteller und Endanwender für die Unterstützung der neuen Technik zu gewinnen. Bis zur Tagung waren Projektkosten von 360.000 USD aufgelaufen, von denen die US Air Force 280.000 USD direkt und 80.000 USD indirekt über die Parsons Corporation finanziert hatte.²⁵¹



Abbildung 8: Erste numerisch gesteuerte Fräsmaschine im März 1952 am MIT²⁵²

²⁴⁸ Vgl. Russ (2001), S. 50.

²⁴⁹ Vgl. Reintjes (1991), S. 43. Ein allgemeinverständlicher Aufsatz zur neuen Technologie wurde parallel zur Tagung im Scientific American veröffentlicht. Pease (1951).

²⁵⁰ An der Tagung nahmen 242 Personen teil. Vgl. Reintjes (1991), S. 45. Einladung, Programm und die genaue Teilnehmerliste der Tagung finden sich im Anhang B von Reintjes (1991), S. 196–200. Parsons berichtete, dass er zu der Veranstaltung vom MIT erst nach einer Beschwerde bei der US Air Force eingeladen wurde. Vgl. Russ (2001), S. 50.

²⁵¹ Vgl. Reintjes (1991), S. 47.

²⁵² Bildquelle: © MIT Museum, Cambridge, USA, Bildnummer GCP-00059622

Die erfolgreiche Demonstration der ersten NC-Maschine konnte die amerikanischen Werkzeugmaschinenhersteller aber nicht überzeugen, die Weiterentwicklung mitzufinanzieren.²⁵³ Da die US Air Force und das MIT die neue Technologie unbedingt bis zur industriellen Reife weiterentwickeln wollten, musste vor allem die US Air Force die weitere Finanzierung bereitstellen. Da auch das MIT Interesse hatte, das Projekt weiterzuführen, beteiligte es sich mit Eigenmitteln an der Weiterentwicklung.²⁵⁴

Ein wichtiger Schritt zur Einbeziehung der Industrie war 1953 die Entwicklung der ersten kommerziellen numerischen Steuerung. Dabei arbeiteten das MIT, die Glenn Martin Company²⁵⁵, die Bendix Corporation²⁵⁶ und der Maschinenhersteller Kearney & Trecker zusammen. Finanziell wurden sie dabei von der US Air Force unterstützt.²⁵⁷ Diese förderte als weitere Variante auch den Umbau der „Record-Playback-Steuerung“ von GE in die numerische Steuerung „Numericord“ für den Maschinenhersteller Giddings & Lewis. Eine mit dieser Steuerung ausgerüstete Fräsmaschine von Giddings & Lewis wurde dann beim Flugzeughersteller Lockheed eingesetzt²⁵⁸ und im Juni 1955 vorgestellt.²⁵⁹ Bei der Maschine handelte es sich um eine 5-achsige Portalfräsmaschine. Die Numericord-Steuerung bestand aus folgenden Komponenten:²⁶⁰

- einem Stanzer, der aus den aufbereiteten Werkstückdaten einen Lochstreifen erzeugte
- der „Director unit“ zur Konvertierung der Lochstreifendaten in das Magnetbandformat des Steuerteils der GE Record-Playback-Steuerung²⁶¹

²⁵³ Vgl. Reintjes (1991), S. 61.

²⁵⁴ Vgl. Schröder (1995), S. 127. Danach erfolgte die weitere Projektunterstützung der US Air Force über das „heavy-press program“. Die US Air Force hoffte, durch fünfachsiges NC-Maschinen die Herstellung von Schmiedegesenken für Schwerpressen zu vereinfachen. Diese wurden für die Herstellung von Flugzeugteilen benötigt.

²⁵⁵ Die Glenn Martin Company war damals ein US-amerikanischer Flugzeughersteller.

²⁵⁶ Die Bendix Corporation war in den 1950er Jahren ein US-amerikanischer Gemischtwarenkoncern, der sich auch mit Steuerungstechnik beschäftigte.

²⁵⁷ Vgl. Schröder (1995), S. 127. Schröder nennt zur Bendix-Steuerung keine Belege. Unsicher ist das von Schröder genannte Jahr 1953. Holmes nennt im Buch von Richard A. Thomas das Jahr 1954. Vgl. Holmes (2008), S. 11. Im American Machinist wurde die Steuerung 1955 vorgestellt, mit dem Hinweis, dass sie ein Jahr erprobt worden sei, d. h. der Prototyp war spätestens 1954 fertig. Vgl. o. V. (1955), S. 172.

²⁵⁸ Vgl. Schröder (1995), S. 127–128.

²⁵⁹ Vgl. Reintjes (1991), S. 70–71.

²⁶⁰ Vgl. o. V. (2008b), S. 24.

²⁶¹ Die „Director unit“ von Giddings & Lewis übernahm in der Terminologie der heutigen NC-Steuerungen die Satzaufbereitung (Aufbereiten der programmierten Daten für die weitere Verarbeitung) und die Interpolation (zeitdiskrete Aufteilung des Geschwindigkeitssollwerts auf die Achsen) und arbeitete offline. Die Daten wurden von der „Director Unit“ auf einem Magnetband zur Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt. Eine „Director unit“ konnte also mehrere Maschinen versorgen. Vgl. hierzu auch Reintjes (1991), S. 66–73. Die „Director unit“ wurde von „Concord Controls“ in Cambridge in Massachusetts gebaut, einem Ableger des MIT. Vgl. Clark (2008), S. 81.

- dem Steuerteil von GE, der die Magnetbanddaten für die Ansteuerung der Achsen aufbereitete
- den elektromechanischen Baugruppen zur Positionierung der Achsen

Die „Director unit“ hatte eine beachtliche Größe. Mit der damaligen Technologie benötigte der Rechner für die Datenkonvertierung einen eigenen Raum. Die Bilder zeigen die Maschine mit der sehr großen Maschinensteuerung (Abbildung 9) und die separate „Director unit“ (Abbildung 10).²⁶²

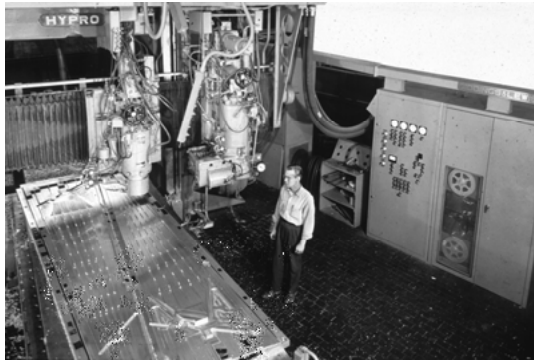


Abbildung 9: Erste NC-Fräsmaschine von Giddings & Lewis mit Magnetbandeinheit um 1955²⁶³



Abbildung 10: „Director unit“ der Giddings & Lewis NC-Fräsmaschine²⁶⁴

Eine weitere frühe NC-Maschine war um 1954 eine Revolver-Stanzpresse der Firma Wiedemann mit einer numerischen Positioniersteuerung von GE.²⁶⁵ Auf der Abbildung 11 ist von der Seite deutlich die Anordnung der Stanzwerkzeuge im Revolver zu erkennen, von denen immer nur das aktiv war, das sich auf der dem Bedienpult zugewandten Seite in der Mitte befand. Die Steuerung war der Prototyp der „Mark Serie“ von GE, die im Unterschied zu den späteren Steuerungen mit Lochkarten von Remington Rand programmiert wurde. Die Wiedemann-Maschine wurde an GE verkauft und 1957 oder 1958 auf eine aktuelle Steuerung der Mark Serie mit einem Lochstreifenleser umgebaut, der auf der Abbildung 12 deutlich im Vordergrund zu sehen ist. Eine größere Maschine mit einer weiterentwickelten Steuerung wurde auf der Chicagoer Werkzeugmaschinenausstellung 1960 erfolgreich ausgestellt;²⁶⁶ Wiedemann wurde in den 1960er Jahren ein wichtiger Kunde für die GE NC-Steuerungen.²⁶⁷

²⁶² Vgl. Reintjes (1991), S. 66–71.

²⁶³ Bildquelle: Fives, Giddings & Lewis.

²⁶⁴ Bildquelle: Fives, Giddings & Lewis.

²⁶⁵ Vgl. Holmes (2008), S. 8.

²⁶⁶ Der frühere Trumpf-Geschäftsführer Berthold Leibinger, sah die Revolverstanze von Wiedemann während seines USA-Aufenthaltes 1960 auf der Messe in Chicago. In seiner Autobiografie schrieb er, dass ihn die Maschine beeindruckte, dass sie aber Schwächen in der Führungskinetik für die Blechtafel hatte. Außerdem sei ihm klar gewesen, dass Trumpf zum damaligen Zeitpunkt eine vergleichbare Maschine noch nicht bauen konnte. Vgl. Leibinger (2010), S. 136–137.

²⁶⁷ Vgl. Labella (2008), S. 209–212.



Abbildung 11: Wiedemann Revolver-Stanzpresse R101 um 1954 mit 3-achsiger Positioniersteuerung von GE²⁶⁸



Abbildung 12: Wiedemann Revolver-Stanzpresse R 101 um 1957 mit Lochstreifenleser²⁶⁹

3.3 Beschleunigung der NC-Maschinenentwicklung durch die US Air Force

Die meisten amerikanischen Werkzeugmaschinenhersteller konnten trotz intensiver Bemühungen vom MIT und der US Air Force nicht von den Vorteilen der NC-Technik überzeugt werden; sie entwickelten weniger NC-Maschinen als von der US Air Force gewünscht.

Da die US Air Force überzeugt war, NC-Maschinen für die Fertigung leistungsfähiger Flugzeuge und Raketen zu benötigen, nahm sie Ende 1955 in das schon länger für Krisenfälle geplante strategische Maschinenbeschaffungsprogramm „Bulk-Buy“ auch NC-Maschinen auf. Mit dem modifizierten Programm sollten 500 Werkzeugmaschinen mit einem Volumen von 84 Mio. USD beschafft werden, darunter 105 numerisch gesteuerte Fräsmaschinen im Wert von 30 Mio. USD einschließlich der Steuerungen.²⁷⁰

²⁶⁸ Bildquelle: O. V. (2008a), S. 296.

²⁶⁹ Bildquelle: O. V. (2008a), S. 297.

²⁷⁰ Vgl. Reintjes (1991), S. 138–140 und 156–157. Ursprünglich sollten mit dem „Bulk-Buy“ Programm Werkzeugmaschinen für den Krisenfall gekauft und eingelagert werden, damit sie im Notfall schnell zur Verfügung standen. Zur Förderung der NC-Technologie wurde das Programm um NC-Maschinen erweitert. Diese wurden aber nicht eingelagert, um Betriebserfahrungen in der Luftfahrtindustrie zu sammeln. Auch Schröder wies auf das „Bulk-Buy“ Programm hin. Schröder nannte allerdings 170 NC-Maschinen im Wert von 150 Mio. USD, was sehr hoch erscheint. Auch datierte er das Programm auf das Jahr 1956. Vgl. Schröder (1995), S. 133. Nach Reintjes wurden die Verträge mit den Werkzeugmaschinenherstellern 1955 geschlossen; diese mussten die ersten Maschinen zwei Jahre später liefern. Vgl. Reintjes (1991), S. 159.

Das Ziel war, durch Aufnahme von NC-Maschinen in das Bulk-Buy-Programm die Werkzeugmaschinenhersteller zur Entwicklung von NC-Maschinen zu veranlassen.

Die Strategie war erfolgreich. 1960 wurden auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago von den amerikanischen Werkzeugmaschinenherstellern schon „100 numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen im Betrieb vorgeführt“²⁷¹ (vgl. auch Kapitel 3.5).

Etwa zum Zeitpunkt der Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago war auch das Programmierungsproblem der NC-Steuerungen im Grundsatz gelöst (vgl. Kapitel 3.4), womit nach Reintjes die Projektunterstützung durch die US Air Force auslief.

Reintjes bezifferte die Entwicklungskosten, die dem MIT von Februar 1951 bis Ende November 1959 (Auslaufen der Förderung) von der US Air Force erstattet wurden, auf 1,05 Mio. USD.²⁷² Hinzu kamen noch die 200.000 USD, die in das „Vorläuferprojekt“ mit Parsons geflossen waren,²⁷³ die Unterstützung der Projekte von Kearney & Trecker und Giddings & Lewis und die zusätzlichen Kosten des Maschinenbeschaffungsprogramms „Bulk-Buy“ für die NC-Maschinen. Noble errechnete als Gesamtsumme der Projektförderung durch die US Air Force für den Zeitraum von 1949 bis 1959 einen Betrag von 62 Mio. USD²⁷⁴. Dabei betonte er ausdrücklich auch die „Nutzbarmachung“ der numerischen Steuerung als einen der Kostenpunkte und meinte damit wahrscheinlich die Erweiterung des „Bulk-Buy Programms“²⁷⁵.

In der zweiten Hälfte der 1950er Jahre lassen sich auch schon technische Fortschritte an den Steuerungen feststellen. Abbildung 13 zeigt z. B. eine Positioniersteuerung²⁷⁶ von GE aus dem Jahr 1957 mit einem offenen Schaltschrank für die Maschinensteuerung. Die NC-Positioniersteuerung (in der Bildmitte) mit Lochstreifenleser ist deutlich kleiner als die Steuerungen auf den Bildern im letzten Unterkapitel. Der nächste große Schritt in Richtung Verkleinerung war die Umstellung auf Transistortechnik. Dage Television, ein Firmenzweig von Thompson-Ramo-Wooldridge (TRW), stellte

²⁷¹ Kronenberg (1961), S. 1. Die Anzahl der ausgestellten NC-Maschinen in Chicago wurde unterschiedlich publiziert. Behrendt nennt nur 69 NC-Maschinen von 35 Ausstellern, die sich auf dem Ausstellungsgelände befanden. Vgl. Behrendt (1982), S. 19. Die Zeitschrift „American Machinist“ (vgl. Tabelle 5) kam auf 91 NC-Maschinen.

²⁷² Vgl. Reintjes (1991), S. 91.

²⁷³ Vgl. Spur (1991), S. 514 und Schröder (1995), S. 126.

²⁷⁴ Auf Werte von 2020 umgerechnet, entspricht dies ungefähr 553 Mio. USD, wobei 1958 als Ausgangsjahr für die Berechnung angenommen wurde, da der größte Kostenblock auf das Maschinenbeschaffungsprogramm entfiel. Vgl. Coinnews Media Group LLC (2018). Dies ist auch aus heutiger Sicht ein hoher Betrag.

²⁷⁵ Vgl. Noble (1979), S. 10–11.

²⁷⁶ Bei einer Bahnsteuerung, wie bei der 1952 am MIT vorgeführten Steuerung, werden mindestens zwei Achsen auf einer vorgegebenen, beliebigen Bahn verfahren, um eine beliebige Kontur zu fräsen. Bei einer Positioniersteuerung hingegen werden alle Achsen ohne Bearbeitung auf eine Position gefahren und kommen nicht gleichzeitig, sondern zu unterschiedlichen Zeiten auf der Zielposition an. Sind alle Achsen in der Zielposition, wird der nächste Positioniervorgang gestartet. Dieser kann z. B. das Bohren eines Lochs sein, wozu eine Achse ausreicht.

schon 1958 eine NC-Bahnsteuerung in Transistortechnik vor. Bendix zog erst 1960 nach.²⁷⁷

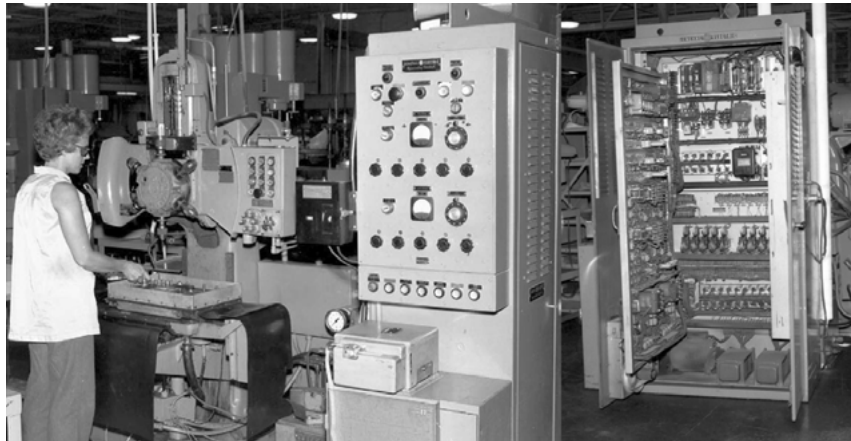


Abbildung 13: Zweiachsen-Positioniersteuerung MARK II Numerical Control von GE mit thyatron-gesteuerten Servoantrieben um 1957 an einer Bohrmaschine²⁷⁸

In einem Rückblick fasste Behrendt 1982 die Anfangsjahre der NC-Entwicklung in den USA zusammen und machte folgende Kernaussagen, die die bisherigen Ausführungen ergänzen:²⁷⁹

- In der Anfangsphase beschäftigten sich bis zu 350 Firmen mit der Entwicklung von NC-Maschinen und NC-Steuerungen.
- Die Aircraft Industries Association of America (AIA) gründete schon 1955 die Kontroll- und Prüfinstanz AMEC²⁸⁰, um u. a. die auseinanderlaufenden NC-Entwicklungen abzustimmen. Im Pflichtenheft der AMEC stand, dass sie nationale Standards der Flugzeugindustrie für numerische Steuerungen vorbereiten und vorschlagen sollte.
- Die wichtigsten Hersteller von NC-Steuerungen waren 1960: General Electric (GE), Bendix Aviation Corporation, Allen & Bradley und Electronic Control Systems.

²⁷⁷ Vgl. Holmes (2008), S. 12 und 17.

²⁷⁸ Bildquelle: O. V. (2008a), S. 298.

²⁷⁹ Vgl. Behrendt (1982), S. 19. Die Punkte der Aufzählung sind dem zweiseitigen Fachaufsatz inhaltlich entnommen. Einen frühen Bericht über den Stand der NC-Entwicklungen in den USA hatte Behrendt schon 1958 veröffentlicht. Behrendt (1958a). Kurz vorher hatte Behrendt für die VDI-Zeitung über „Programmgesteuerte Großfräsmaschinen im Flugzeugbau der Vereinigten Staaten“ einen Artikel geschrieben, in dem die Steuerungstechnik aber nur einen kleinen Raum einnahm. Behrendt (1958b). Behrendt arbeitete um 1960 beim Werkzeugmaschinenhersteller Kearney & Trecker und war Miterfinder des automatischen Werkzeugwechslers von Kearney & Trecker. Vgl. Behrendt (1982), S. 21.

²⁸⁰ Aerospace Manufacturing Committee. Die Aufgabe, eine Standardisierung zwischen dem US-Verteidigungsministerium, den Werkzeugmaschinen- und Steuerungsherstellern zu erarbeiten wurde an das Unterkomitee Numerical Panel (NP) delegiert. Vgl. Olesten (1970), S. 43. In der Literatur wird es meistens aber als „Subcommittee for Numerical Control“ (SNC) bezeichnet. Vgl. Ross (1981), S. 296.

- Ein Vorläufer der späteren flexiblen Fertigungssysteme, eine numerisch gesteuerte Fertigungsstraße mit automatisiertem Palettentransport, wurde schon 1957 vom Werkzeugmaschinenhersteller Kearney & Trecker für die Hughes Aircraft Company entworfen und in Betrieb genommen.
- Zusätzlichen Schub erhielt die NC-Entwicklung, als sich bestätigte, dass sich ein von der AIA definiertes Testteil mit NC-Maschinen um die 75 % schneller gefertigt werden konnte als mit den üblichen Kopierfräsmaschinen.

Zusammengefasst wurde durch das Bulk-Buy-Programm der US Air Force die Entwicklung von NC-Maschinen in den USA stark gefördert bzw. überhaupt erst ermöglicht. Als sich bewahrheitete, dass komplizierte Frästeile mit NC-Maschinen schneller gefertigt werden konnten, bekam die Entwicklung eine gewisse Eigendynamik; viele US-Firmen begannen sich mit der Entwicklung von NC-Maschinen und NC-Steuerungen zu beschäftigen. Auf der Chicagoer Werkzeugmaschinenausstellung 1960 konnte deshalb schon ein breites mit NC-Steuerungen ausgerüstetes Maschinenspektrum ausgestellt werden (vgl. Kapitel 3.5). Parallel versuchte die AMEC über ihr Subcommittee for Numerical Control (SNC) schon Standards für die NC-Technik festzulegen, um die sich abzeichnende Vielfalt der Schnittstellen und der NC-Programmierung zu begrenzen.

3.4 Die Programmierung der NC-Steuerungen

Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Akzeptanz der NC-Maschinen war die Vereinfachung der anfangs sehr aufwendigen Programmierung. Das Ziel war, einen möglichst einfachen Weg für die Umsetzung einer Werkstückzeichnung in ein NC-Programm zu finden.

Den Entwicklern am MIT war diese Problematik schon früh bewusst. Für die Entwicklung eines tragfähigen Konzepts waren jedoch mehrere Anläufe erforderlich. Einen Durchbruch gab es erst unter dem Projektleiter Douglas T. Ross, der die Aufgabe 1956 übernahm.²⁸¹ Die von einem Team um Ross für die damaligen Rechner entwickelte Programmiersprache orientierte sich an den Anwendern und konnte an viele Steuerungen angepasst werden.²⁸² Die neue Programmiersprache wurde APT²⁸³ genannt.

Unterstützt wurde die APT-Entwicklung von der SNC und damit von der AIA. Erste Kontakte zwischen Ross und der SNC gab es Anfang 1957. Im Frühjahr 1957 wurde dann unter der Leitung des MIT ein Kooperationsprojekt mit 14 Unternehmen der Luftfahrtindustrie gestartet, um die praxisorientierte Programmiersprache und die da-

²⁸¹ Vgl. Reintjes (1991), S. 78.

²⁸² Vgl. Spur (1991), S. 518; auch Reintjes machte keine genauen Angaben.

²⁸³ Automatically Programmed Tools.

zugehörige Software zu entwickeln.²⁸⁴ Schon 1959 konnte unter dem Namen 2D-APT-II eine erste Version zur freien Verwendung veröffentlicht werden.²⁸⁵ 1978 wurde APT von der ISO²⁸⁶ genormt.²⁸⁷ Schon lange vor der internationalen Normung wurde APT auch in der Bundesrepublik Deutschland der Programmierstandard für die maschinelle NC-Programmierung mit Großrechnern.²⁸⁸

3.5 Durchbruch der NC-Technik ab Anfang der 1960er Jahre in den USA

Der Erfolg der numerischen Steuerung zeigte sich erstmals auf der amerikanischen Werkzeugmaschinenausstellung IMTS²⁸⁹ 1960 in Chicago (Tabelle 5).

NC-Maschinenhersteller	42
NC-Maschinen davon bei Steuerungsherstellern	91 12
NC-Steuerungshersteller davon Maschinenhersteller	31 10
NC-Steuerungen davon Bahnsteuerungen davon an Maschinen davon an Demonstratoren	99 14 91 8

Tabelle 5: NC-Maschinen und NC-Steuerungen auf der IMTS 1960 in Chicago²⁹⁰

Dort präsentierten 42 Werkzeugmaschinenhersteller schon 91 NC-Maschinen. Davon standen 12 auf Ständen der Steuerungshersteller, die zusätzlich noch 8 NC-Steuerungen an Demonstratoren zeigten. Insgesamt waren auf der Ausstellung 99 NC-Steuerungen zu sehen; nur 14 davon waren aber Bahnsteuerungen. Das deutet darauf hin, dass sich die Werkzeugmaschinenhersteller schon damals stark am Bedarf der Metallindustrie außerhalb der Luftfahrtindustrie orientierten, da Maschinen mit Positioniersteuerungen deutlich preiswerter als Bahnsteuerungen waren. Die 99 NC-Steuerungen kamen von 31 Steuerungsherstellern, von denen zehn auch Werkzeugmaschinenhersteller waren. Da die Entwicklung einer eigenen Steuerung für einen Werkzeugmaschinenhersteller ein beträchtlicher Aufwand war, mussten diese Werkzeugma-

²⁸⁴ Vgl. Ross (1981), S. 343–346. Später wuchs die Anzahl der Partner auf 19 Firmen an.

²⁸⁵ Vgl. Spur (1991), S. 518–519 und Ross (1981), S. 332–333.

²⁸⁶ International Organization for Standardization.

²⁸⁷ Vgl. Reintjes (1991), S. 91.

²⁸⁸ Da APT aus westdeutscher Sicht Schwächen hatte, wurde es nach intensiver Vorbereitung ab 1967 zu Extended APT (EXAPT) weiterentwickelt. EXAPT berücksichtigte neben der Geometrie auch technologische Funktionen wie Werkzeugdrehzahl und Vorschubwerte (vgl. Kapitel 4.13).

²⁸⁹ International Manufacturing Technology Show.

²⁹⁰ Die Tabelle wurde aus dem „Guide to Numerical Control at the 1960 Chicago Shows“ der Zeitschrift American Machinist zur IMTS 1960 zusammengestellt. Vgl. American Machinist (1960a) und vgl. American Machinist (1960b).

schinenhersteller von der Zukunft der NC-Technik sehr überzeugt gewesen sein. Die Anzahl der NC-Maschinen auf der Chicagoer Ausstellung von 1960 war ein Quantensprung im Vergleich zur Ausstellung von 1955, auf der nur zwei Werkzeugmaschinen mit einer „Lochstreifen-Steuerung“ zu sehen waren.²⁹¹

Unter den 1960 ausgestellten Maschinen war auch die Milwaukee-Matic von Kearney & Trecker.²⁹² Diese Maschine ist als erstes Bearbeitungszentrum²⁹³ für größere kubische Teile wichtig für die Entwicklungsgeschichte der NC-Maschinen (Abbildung 15).

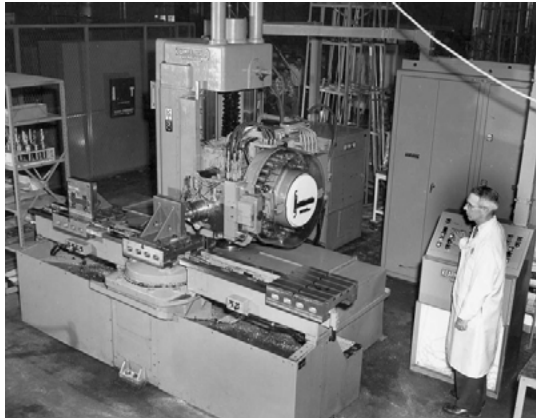


Abbildung 14: Prototyp des Bearbeitungszentrums Milwaukee-Matic von Kearney & Trecker um 1958²⁹⁴

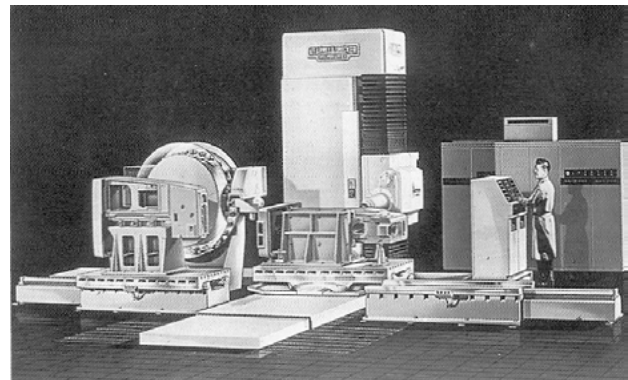


Abbildung 15: Bearbeitungszentrum Milwaukee-Matic von Kearney & Trecker (1960)²⁹⁵

Mit Bearbeitungszentren konnten kubische Teile durch programmierbaren Werkzeug- und Werkstückwechsel weitgehend vollautomatisch gefertigt werden. Der Bediener war theoretisch nur noch zum Auf- und Abspannen der Werkstücke auf dem Palettenwechsler und zum Bestücken des Werkzeugmagazins erforderlich, was einen enormen Produktivitätsfortschritt bedeutete. Da die für Bearbeitungszentren geeigneten Werkstücke in der Regel relativ kompliziert waren, sank die Fehlerquote bei Wiederholteilen gegenüber der manuellen Fertigung.

Der erste Prototyp der Milwaukee-Matic (Abbildung 14) wurde bereits um 1958 entwickelt. Er unterschied sich jedoch deutlich von der Version, die 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago gezeigt wurde. In vielen Messeberichten wurde

²⁹¹ Vgl. Kronenberg (1956), S. 104–107. Kronenberg berichtet auch, dass die von Giddings & Lewis gebaute Großfräsmaschine mit einer Magnetbandsteuerung (vgl. Kapitel 3.2) 1955 in Chicago nicht ausgestellt war. Es wurden nur Modelle von GE gezeigt.

²⁹² Die ersten Milwaukee-Matic-Bearbeitungszentren wurden schon 1958 gebaut. Vgl. Holmes (2008), S. 14.

²⁹³ Bearbeitungszentren sind numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen mit einem hohen Automatisierungsumfang für die Bohr- und Fräsbearbeitung. Sie haben mindestens drei translatorische Achsen. Zur Automatisierung haben sie mindestens ein Werkzeugmagazin mit einem automatischen Werkzeugwechsel in die Hauptspindel. Vgl. Spur/Stöferle (1979), S. 540–541.

²⁹⁴ Bildquelle: Fives, Giddings & Lewis.

²⁹⁵ Bildquelle: Spur (1991), S. 521.

diese Maschine ausführlich beschrieben,²⁹⁶ ihre wirkliche Bedeutung für die Entwicklung der NC-Technik zeigte sich jedoch erst später. Das Bearbeitungszentrum von Kearney & Trecker war für das Fräsen, Bohren, Ausbohren und Läppen ausgelegt. Die Hauptinnovation der Maschine war das Werkzeugmagazin mit 30 Plätzen, aus dem die Werkzeuge automatisch in die Spindel eingewechselt werden konnten. Nach Angaben von Kearney & Trecker ermöglichte die Maschine Kosteneinsparungen von bis zu 75 % gegenüber der konventionellen Bearbeitung.²⁹⁷ Rückblickend fasste Behrendt dies wie folgt zusammen:

Erst mit den Bearbeitungszentren (1959/1960) wurden alle Maschinenfunktionen, die sinnvoll gesteuert werden konnten, ohne Kompromisse an konventionelle Steuerungen in das NC- System aufgenommen. [...] Der besondere Durchbruch jedoch gelang den Konstrukteuren mit dem Prinzip der platzunabhängigen freien Wahl der Werkzeuge aus einem zur Maschine gehörenden Werkzeugmagazin und dem anschließenden direkten simultanen Werkzeugaustausch zwischen diesen und der Werkzeugspindel. Durch den automatischen Werkzeugwechsel konnte gegenüber dem Handwechsel auf Anhieb die Werkzeugwechselzeit bis zum neuen Spananschnitt auf 18 Sekunden heruntergebracht werden. Aus der Flut der Patentanmeldungen jener Jahre erwiesen sich diese als wahre Schlüsselpatente, die Kearney & Trecker für lange Zeit eine technische Dominanz für Werkzeugwechsleinrichtungen sicherten.²⁹⁸

Etwa ab der IMTS 1960 nahm die Zahl der ausgelieferten NC-Maschinen in den USA stark zu, wie Abbildung 16 zeigt. 1970 waren in den USA dann ungefähr 20.000 NC-Maschinen in Betrieb.²⁹⁹

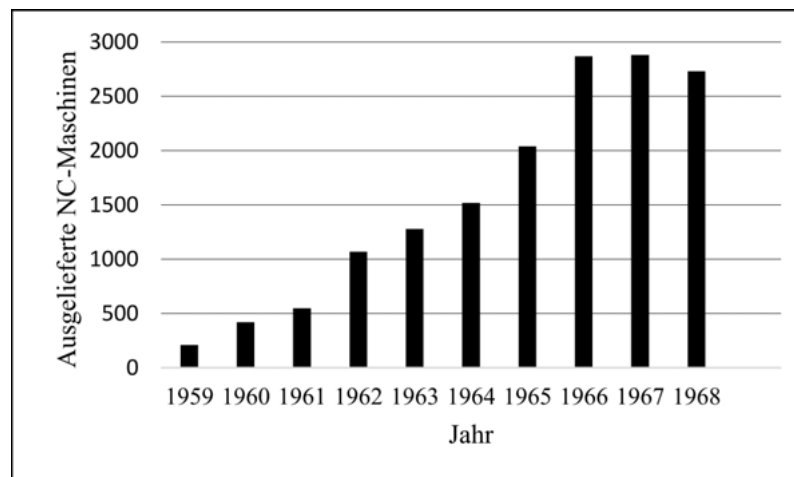


Abbildung 16: Stückzahlen der in den USA ausgelieferten NC-Maschinen³⁰⁰

²⁹⁶ Vgl. z. B. Kronenberg (1961), S. 19.

²⁹⁷ Vgl. Kronenberg (1961), S. 19.

²⁹⁸ Behrendt (1982), S. 21.

²⁹⁹ Vgl. Gebhardt/Hatzold (1978), S. 37.

³⁰⁰ Bildquelle: Reintjes (1991), S. 161.

Die Steuerungen für die NC-Maschinen wurden überwiegend von größeren Elektrokonzernen geliefert (vgl. Kapitel 3.3). Einige Maschinenhersteller wie z. B. Cincinnati und Giddings & Lewis wollten jedoch eigenes Know-how aufbauen und von Zulieferern unabhängig bleiben. Sie entwickelten deshalb eigene Steuerungen,³⁰¹ ebenso wie der Luftfahrtkonzern Hughes als Endanwender.³⁰²

Mit zunehmender Zahl der NC-Maschinen wuchs in den USA das Bedürfnis der Anwender, sich untereinander und mit den Werkzeugmaschinenherstellern auszutauschen und die NC-Technologie zu fördern. Dies führte 1962 zur Gründung der Numerical Control Society (NCS).³⁰³

3.6 Zusammenfassung

Die NC-Entwicklung in den USA wurde entscheidend von der US Air Force geprägt. Erfinder der NC-Technik war John T. Parsons, der anfangs nur die Fertigung von Rotorblättern für Hubschrauber vereinfachen wollte. Er war aber bei der Umsetzung seiner Idee für weitere Flugzeugkomponenten auf die finanzielle Unterstützung der US Air Force angewiesen. Da ihm aber die technischen Ressourcen fehlten, beauftragte er mit der Umsetzung das MIT, das im Zweiten Weltkrieg Know-how bei der Servotechnik aufgebaut hatte. Das MIT erkannte das Potenzial von Parsons Erfindung und entwickelte sie in enger Zusammenarbeit mit der US Air Force weiter, bei der ersten Gelegenheit aber ohne Parsons. Nach der 1952 erfolgten Vorführung eines funktionsfähigen Prototyps, versuchten das MIT und die US Air Force, die amerikanische Werkzeugmaschinenindustrie für Investitionen in die NC-Technik zu motivieren. Das wollte allerdings anfangs nicht so recht gelingen, sodass die US Air Force versuchte, über ihr „Bulk-Buy“-Programm die US Werkzeugmaschinenhersteller zur Entwicklung von NC-Maschinen zu drängen. Dieser Ansatz war dann erfolgreich. Auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Chicago waren 91 NC-Maschinen zu sehen.

³⁰¹ Vgl. Kronenberg (1961), S. 4–5.

³⁰² Über die Gründe, warum Hughes eine eigene Steuerung baute, kann nur spekuliert werden. Vermutlich wollte Hughes erreichen, dass alle an den Hughes-Konzern gelieferten Maschinen mit einer einheitlichen Steuerung ausgerüstet waren, um Handling und Programmierung zu vereinfachen. Die Steuerung kam auch beim westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller Burkhardt & Weber in Reutlingen bei einer von Hughes bestellten Maschine zum Einsatz (vgl. Kapitel 5.2).

³⁰³ Vgl. Thomas (2008b), S. 113. Die NCS war nicht auf die USA fixiert und nahm auch ausländische Mitglieder auf. Anfang der 1980er Jahre hatte sie 4000 Mitglieder und 40 Ortsverbände. Danach begann das Interesse zu sinken, weil die Einführungsphase der NC-Technik abgeschlossen war. Dies führte zu einer sinkenden Mitgliederzahl und zu einem Rückgang der Teilnehmerzahl auf der jährlichen Konferenz. 1994 gab es nur noch 50 Mitglieder und zwei Ortsverbände. 2002 wurde „The Ohio Valley“, der letzte verbliebene Ortsverband, aufgelöst. Vgl. Thomas (2008b), S. 122. Die NCS war das Vorbild für die 1975 in der Bundesrepublik Deutschland gegründete NC-Gesellschaft (NCG) (vgl. Kapitel 8.4).

Erklärt werden kann dieser Ablauf nur mit dem Kalten Krieg, der nach dem Zweiten Weltkrieg zu einem Rüstungswettlauf zwischen den USA und der Sowjetunion führte, insbesondere bei der Luftwaffe. Nachdem die US Air Force und das MIT das Potenzial von Parsons Erfindung erkannt hatten, sahen sie darin eine Möglichkeit, leistungsfähigere Flugzeuge zu bauen und den USA einen technologischen Vorsprung zu erarbeiten. Nur so ist zu erklären, dass die US Air Force sehr viel Geld in die Hand nahm, um den Prototyp des MIT und die nötigen Weiterentwicklungen (insbesondere die Programmiersprache APT) bis zur industriellen Reife zu einem großen Teil zu finanzieren. Dies ist umso bemerkenswerter, als die technischen Voraussetzungen, insbesondere der Stand der Steuerungs- und Rechner-technik, bei Entwicklungsbeginn aus heutiger Sicht noch sehr bescheiden war. Allerdings muss den Entwicklern auch zugutegehalten werden, dass sie Anfang der 1950er Jahre sicher nicht abschätzen konnten, inwieweit der damalige technische Stand ein begrenzender Faktor war.

Am Ende war die NC-Entwicklung doch erfolgreich. Das war möglich, weil das MIT, die US Air Force, die amerikanische Luftfahrtindustrie über die AIA und nach anfänglichem Zögern auch die US Werkzeugmaschinenhersteller in einer Art und Weise eng zusammenarbeiteten, die Ähnlichkeit mit dem von Etzkowitz und Leydesdorff 1997 als „Triple Helix Modell“ vorgestellten Innovationssystem hatte.³⁰⁴ Als sich gegen Ende der 1950er Jahre abzeichnete, dass die NC-Technologie eine Zukunftstechnologie sein könnte, wurden mit Blick auf die Chicagoer Werkzeugmaschinenausstellung sogar schon NC-Maschinen und Steuerungen entwickelt, die nicht primär auf die US Luftfahrtindustrie abzielten. Die Anwendungsbasis wurde dadurch verbreitert, sodass Ende der 1960er Jahre in den USA schon etwa 20.000 NC-Maschinen in Betrieb waren.

Flankiert wurde die NC-Technik in den USA durch die positive Berichtserstattung in der Fachpresse, in der im Management verbreiteten Zeitschrift „American Machinist“. Diese brachte ab 1954 regelmäßig ausführliche Artikel über die NC-Technik, die alle einen positiven Unterton hatten. So schrieb z. B. Copold schon 1958:

Numerical control as a tool, and as an economic development, is not different from any other problem. If you understand it and apply it properly, you and your industry will benefit from it. By starting now, your company will maintain a lead position.³⁰⁵

³⁰⁴ Vgl. Etzkowitz/Leydesdorff (1997), S. 3–5. Das Modell von Etzkowitz und Leydesdorff geht vereinfacht davon aus, dass Hochschulen, staatliche Stellen und Industrie bei Innovationen eng zusammenarbeiten und sich durch Interaktionen gegenseitig beeinflussen. Bei der NC-Technik arbeiteten anfangs nur die US Air Force und das MIT eng zusammen. Die Industrie engagierte sich in größerem Umfang mit eigenen Entwicklungen erst ab etwa 1955, als das „Bulk-Buy“-Programms um NC-Maschinen erweitert wurde. Insofern entsprach die Zusammenarbeit bei der NC-Entwicklung nur bedingt dem „Triple Helix Modell“, das eine enge Zusammenarbeit aller drei Partner ab Projektbeginn vorsieht.

³⁰⁵ Copold (1960), S. 129.

Schade war, dass durch die starke Förderung der NC-Technik andere Technologien für die Flexibilisierung der Fertigung von Werkstücken mit niedrigen Stückzahlen vernachlässigt wurden und vom Markt verschwanden, weil dieser für mehrere Konzepte zu klein war. Dazu zählten die Entwicklungen von Cunningham, Caruthers und General Electric (Record-Playback-Steuerung), die bei der Programmierung mehr auf das Wissen und die Erfahrung der Facharbeiter setzten, während die Programmierung der NC-Maschinen wegen ihrer Komplexität anfangs Spezialisten benötigte. Dies veranlasste spätere Kritiker der NC-Technik wie Noble zu der These, die NC-Technik sei nur erfunden worden, um den Facharbeiter überflüssig zu machen. Dies ist eine Sichtweise, die sich in der von Noble vertretenen Eindeutigkeit durch den historischen Ablauf nicht belegen lässt und auch von Uhl³⁰⁶ so nicht gesehen wird.

³⁰⁶ Vgl. Uhl (2021), S. 115–116.

4 Einführung der NC-Technik in Westdeutschland

4.1 Politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen nach dem Zweiten Weltkrieg

Der Zweite Weltkrieg endete mit der deutschen Kapitulation am 8. Mai 1945. Die vier Siegermächte USA, UDSSR, Frankreich und Großbritannien teilten mit der Berliner Erklärung vom 5. Juni 1945 Deutschland in vier Besatzungszonen auf. Die Hauptstadt Berlin erhielt einen Sonderstatus und bestand ebenfalls aus vier Zonen. Die Währung blieb in allen Besatzungszonen zunächst weiter die Reichsmark.³⁰⁷

Die übergeordnete Regierung für alle Besatzungszonen mit Sitz in Berlin war der Alliierte Kontrollrat.³⁰⁸ Er erließ Kontrollratsgesetze, die prinzipiell in allen Besatzungszonen galten. Allerdings hatten die Verwaltungen der Besatzungszonen bei der Umsetzung viel Spielraum, sodass die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung in den Zonen bald sehr unterschiedlich verlief. Insbesondere hob sich die wirtschaftliche Entwicklung in den Westzonen positiv von der in der sowjetischen Besatzungszone (SBZ) ab, da die Sowjetunion mehr Produktionsanlagen demontierte und den Gütertausch mit den Westzonen einschränkte.³⁰⁹

Um den unterschiedlichen Entwicklungen entgegenzuwirken gründeten die USA und Großbritannien zum 1. Januar 1947 die Bizone, auch Vereinigtes Wirtschaftsgebiet genannt.³¹⁰ Die Zusammenarbeit der beiden Zonen war beschränkt auf Wirtschaft, Ernährung, Infrastruktur, Finanzen und Kommunikation.³¹¹

Die Gründung der Bizone vergrößerte die Unterschiede zur SBZ. Weiter vertieft wurden sie durch die Währungsreform, mit der am 20. Juni 1948 die DM (Deutsche Mark) in den Westzonen die Reichsmark als Zahlungsmittel ablöste.³¹² Um zu verhindern, dass die in den Westzonen noch vorhandenen Reichsmarkbestände die Wirtschaft der SBZ schädigten, führte die SBZ nur drei Tage später ebenfalls eine eigene Währung, auch Deutsche Mark genannt, ein.³¹³

Der nächste Schritt war am 23. Mai 1949 die Gründung der Bundesrepublik Deutschland. Sie entstand aus der Bizone und der französischen Zone ohne Westberlin. Die

³⁰⁷ Benz (2009), S. 55–57.

³⁰⁸ Vgl. Benz u. a. (2009), S. 57.

³⁰⁹ Vgl. Fisch (1992), S. 104–109.

³¹⁰ Vgl. Benz (2009), S. 142.

³¹¹ Vgl. Hoffmeister (1999), S. 311. Hoffmeister resümierte, dass die Institutionen der Bizone das Modell für die Bundesrepublik Deutschland gewesen seien und dass die meisten Institutionen der Bizone in den Ministerien der Bundesrepublik Deutschland aufgegangen seien. Vgl. Hoffmeister (1999), S. 314.

³¹² Vgl. Benz (2009), S. 168.

³¹³ Vgl. Benz (2009), S. 170.

Westalliierten hatten allerdings noch Vorbehaltsrechte über die Alliierte Hohe Kommission; die Bundesrepublik Deutschland war also noch nicht vollständig souverän.³¹⁴

Als letzter Schritt der deutschen Teilung wurde am 7. Oktober 1949 auf dem Gebiet der SBZ die Deutsche Demokratische Republik mit der Hauptstadt Ostberlin gegründet.³¹⁵

Weitgehend souverän wurde die Bundesrepublik Deutschland erst durch das Inkrafttreten der Pariser Verträge am 5. Mai 1955, mit denen der Besatzungsstatus endete. Dazu gehörte, dass die Bundesrepublik Deutschland eine eigene Armee aufbauen durfte und die Produktionsverbote für die Rüstungs- und Luftfahrtindustrie aufgehoben wurden.³¹⁶

Obwohl die industrielle Basis nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs besser war als anfangs gedacht,³¹⁷ kam die Wirtschaft nur langsam wieder in Gang. Die wichtigsten Gründe waren:³¹⁸

- Die sich noch im Aufbau befindliche Verwaltung der Besatzungszonen hemmte die wirtschaftlichen Aktivitäten, da in vielen Bereichen Rechtsunsicherheit bestand.
- Die Aufteilung in vier Besatzungszonen hemmte den Gütertausch. Viele Lieferketten waren zerstört und mussten neu aufgebaut werden.³¹⁹
- Die Zerstörung des Anlagenbestands war kleiner als gedacht, häufig aber waren Schlüsselmaschinen beschädigt oder wurden demontiert. Dadurch waren teilweise ganze Fertigungsketten lahmgelegt und mussten erst wieder aufgebaut werden.
- Während des Zweiten Weltkriegs war die Wirtschaft stark auf die Produktion von Rüstungsgütern ausgerichtet. Nach dem Potsdamer Abkommen von 1945 und dem ersten Industriepan von 1946 sollte Deutschland entmilitarisiert werden, d. h. die Produktion von Rüstungsgütern sollte durch Verbote und Demontage drastisch beschnitten werden.³²⁰ Oft war unklar, was unter das Verbot fiel. Je nach Auslegung war davon auch die Herstellung von Werkzeugmaschinen unterschiedlich betroffen (vgl. Kapitel 4.2). Keinen Spielraum gab es bei der westdeutschen Luftfahrtindust-

³¹⁴ Vgl. Benz (2009), S. 207–209.

³¹⁵ Benz (2009), S. 219.

³¹⁶ Vgl. Benz (1999), S. 361.

³¹⁷ Nach Abelshauser lag das Brutto-Anlagevermögen 1945 immer noch bei 120 % des Werts von 1936, also deutlich über dem von der Potsdamer Konferenz vorgesehenen Wert. Nur etwas über 17 % des Anlagevermögens waren im Zweiten Weltkrieg zerstört worden. Bis zur Währungsreform 1948 reduzierte sich das Anlagevermögen nochmals um etwa 10 %, da Abschreibungen, Demontage und Wiedergutmachung die Neuinvestitionen um etwa das Doppelte übertrafen. Vgl. Abelshauser (2011), S. 68–70. Die Zahlenwerte sind Tabelle 2 auf S. 70 entnommen.

³¹⁸ Hierzu sei insbesondere auf die Ausführungen von Abelshauser in „Wirtschaftliche Weichenstellungen nach 1945“ verwiesen. Abelshauser (2011), S. 59–118.

³¹⁹ Nach Winkel waren die Zonen zunächst hermetisch voneinander getrennt, sodass der Warenaustausch schwierig war. Vgl. Winkel (1974), S. 7.

³²⁰ Vgl. Abelshauser (2011), S. 75 und vgl. Diedrich (1999).

rie. Diese musste sich bis zum Inkrafttreten der Pariser Verträge an das Produktionsverbot halten.³²¹ Die betroffenen Firmen mussten sich auf Reparaturen beschränken oder Ersatzprodukte herstellen.³²²

Abelshauser hat die sich aus diesen Randbedingungen ergebende industrielle Produktion im Vergleich zu 1936 (100 %) ermittelt. Ausgehend von 19 % für die amerikanische, 22 % für die britische und sowjetische Besatzungszone im IV. Quartal 1945³²³ stieg die Industrieproduktion bis 1949 in der amerikanischen und britischen Besatzungszone (Bizone) schon auf 86 % an, während die französische und sowjetische Zone mit 78 % und 68 % zurücklagen. Bezogen auf den niedrigen Ausgangswert von Ende 1945 konnte bis zur Gründung der Bundesrepublik Deutschland bzw. der Deutschen Demokratischen Republik die Industrieproduktion immerhin um etwa das Vierfache in den westlichen Zonen bzw. um etwa das Dreifache in der sowjetischen Zone erhöht werden.³²⁴

Insgesamt war also die Entwicklung der Industrieproduktion in allen Zonen sehr dynamisch, wenn auch unterschiedlich. Dies lässt sich damit erklären, dass es nach und nach gelang, die noch vorhandenen Produktionsanlagen trotz teilweiser Demontage wieder in Betrieb zu nehmen und die Lieferketten neu aufzubauen.

4.2 Die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie nach dem Zweiten Weltkrieg

Die skizzierten politischen und wirtschaftlichen Randbedingungen hatten nach dem Zweiten Weltkrieg deutliche Auswirkungen auf die deutsche Werkzeugmaschinenproduktion.³²⁵ Durch das Potsdamer Abkommen und den ersten Industriepan von 1946 wurde das Produktionsvolumen der gesamtdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie auf

³²¹ Alle Industriebetriebe, die während des Zweiten Weltkriegs Rüstungsgüter herstellten, unterlagen ab der Kapitulation einem Produktionsverbot. Bei einigen Industriezweigen wurde das Verbot relativ bald gelockert, nicht aber für die Luftfahrtindustrie. Diese musste bis zur Ratifizierung der Pariser Verträge 1955 warten. Vgl. Andres (1996), S. 44. Der Göppinger Werkzeugmaschinenhersteller Gebr. Boehringer hatte z. B. Glück. Boehringer musste erst ab November 1945 (also erst deutlich nach der Kapitulation) auf Weisung der amerikanischen Militärregierung die Werkzeugmaschinenproduktion einstellen und auf Ersatzprodukte ausweichen. U. a. wurden Cottonmaschinen zur Strumpfherstellung und Pressen für Zahngebisse und Schuhe hergestellt. Schon zum Jahreswechsel 1950/1951, also lange vor den Pariser Verträgen, wurde das Herstellungsverbot für Werkzeugmaschinen aufgehoben. Vgl. Gehrig (1996), S. 317–318.

³²² Der Flugzeughersteller Messerschmitt baute z. B. im Regensburger Werk von 1953–1956 die Messerschmitt Kabinenroller KR 175 und KR 200. Vgl. Ebert u. a. (1992), S. 310–312.

³²³ Für die französische Besatzungszone lagen für Ende 1945 keine Werte vor.

³²⁴ Vgl. Abelshauser (2011), Tabelle 6, S. 107.

³²⁵ Eine Analyse der Situation des deutschen Werkzeugmaschinenbaus nach dem Zweiten Weltkrieg erstellte René Haak. Vgl. Haak (1997), S. 96–179. Auch Schwab behandelte die Entwicklung von 1945 bis 1950 und die damit verknüpfte Demontage. Vgl. Schwab (1996), S. 18–20.

74 Mio. RM oder 11,4 % des Volumens von 1938 begrenzt.³²⁶ Da die Kapazität der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie nach dem Zweiten Weltkrieg noch deutlich über diesen Werten lag, sollte der Kapazitätsabbau über Produktionsverbote und Demontagen erreicht werden.

Im August 1947 erkannten die Alliierten der Bizone, dass die Einschränkung der Werkzeugmaschinenproduktion die allgemeine Wirtschaftsentwicklung zu stark hemmte. Sie erhöhten daher im zweiten Industriepan für die amerikanische und britische Zone die erlaubte Werkzeugmaschinenproduktion deutlich auf 170 Mio. RM oder 82,5 % des Volumens von 1936.³²⁷ Da die geschätzte Fertigungskapazität in der Bizone zu diesem Zeitpunkt immer noch bei 259 Mio. RM lag, sollte der noch erforderliche Kapazitätsabbau durch weitere Demontagen erfolgen. Eine Liste der Firmen, die noch demontiert werden sollten, wurde im Oktober 1947 veröffentlicht.³²⁸ Aus dem Großraum Stuttgart standen z. B. die Werkzeugmaschinenhersteller Schmidt und Schaudt in Stuttgart, INDEX³²⁹, Fritz Müller und Bohner und Köhle in Esslingen und Hüller in Ludwigsburg auf der „Demontage-Liste“³³⁰.

In der Praxis konnte die ab Herbst 1947 erlaubte Produktionssteigerung auf 170 Mio. RM 1948 nicht erreicht werden; wegen Kriegsschäden, Reparaturbedarf und Materi-

³²⁶ Vgl. Harmssen (1948b), S. 69.

³²⁷ Als Bezugsgröße für die Demontage bzw. Produktionsbeschränkungen für die deutsche Industrie wurde nach Harmssen meistens das Jahr 1936 herangezogen, da für dieses Jahr die Ergebnisse des einzigen in Deutschland durchgeführten allgemeinen Industriezensus vorlagen. Vgl. Harmssen (1948a), S. 49. Außerdem wurde 1936 auf dem Parteitag der NSDAP der „zweite Vierjahresplan“ verkündet, dessen Hauptziel (als Kriegsvorbereitung) eine unabhängigere Versorgung mit Rohstoffen war. Vgl. Herbst (2016), S. 615–617.

Der Umsatz der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie im Jahr 1936 ist in der Literatur widersprüchlich angegeben. Glunk beziffert ihn auf 476.400 Mio. RM (vgl. Glunk (1991), S. 216), der VDW gibt ihn in seiner Statistik mit nur 412.895 Mio. RM an (vgl. o. V. (1936), S. 3.) Die Differenz könnte daraus resultieren, dass in der VDW Statistik nicht eindeutig definiert ist, ob der Umsatz auch Einzelteile enthält. Interessant ist, dass 1936 der Auftragseingang mit 645.723 Mio. RM (vgl. o. V. (1936), S. 4) um 35 % über dem Umsatz lag und im Rückblick als ein Hinweis auf die militärische Aufrüstung interpretiert werden kann.

³²⁸ Vgl. E. S. (1949) bzw. Harmssen (1948c), S. 85.

³²⁹ Sehr hart wurde der Esslinger Drehmaschinenhersteller INDEX-Werke KG Hahn & Tessky (im Folgenden INDEX genannt) von der Demontage getroffen. Schon am 22. April 1945 besetzte die US-Armee das Werksgelände und funktionierte es zur Kaserne um. Fast alle Mitarbeiter wurden entlassen; lediglich die Geschäftsführer und etwas über ein Dutzend Mitarbeiter fanden außerhalb des Werksgeländes eine Möglichkeit für einen Neubeginn mit einem Kleinbetrieb zur Reparatur beschädigter Drehautomaten und einer Ersatzteilmontage. Das Geschäft florierte auf niedrigem Niveau und INDEX konnte sich schon im Herbst 1945 durch Anmietung eines größeren Geländes vergrößern. Am 18. Januar 1946 wurde die vollständige Demontage des alten INDEX-Werks beschlossen. Den Zuschlag für die Fertigungsanlagen erhielt die Firma British Small Arms (BSA) in Birmingham, die ab 1948 INDEX-Drehautomaten in einer neugegründeten Tochterfirma baute. Ab 1949 importierten die „neuen“ INDEX-Werke die in England gebauten Maschinen und vertrieben sie weiter. Ab 1950 konnten in das Vertriebsprogramm auch wieder in Esslingen gefertigte Maschinen aufgenommen werden. Bis zur Rückgabe des alten Firmengeländes dauerte es aber noch bis zum 1. September 1954. Vgl. Hahn und Tessky/Blum (1989), S. 61–72.

³³⁰ Vgl. Harmssen (1948a), S. 109.

almangel wurden nur Werkzeugmaschinen im Wert von etwa 60 Mio. RM oder 29 % des Werts von 1936 produziert.³³¹

Die Washingtoner Außenministerkonferenz im April 1949³³² brachte für die Werkzeugmaschinenhersteller weitere Erleichterungen, da die Herstellung schwerer Werkzeugmaschinen, die für viele Großanlagen und den Werkzeugmaschinenbau selbst benötigt wurden, nicht mehr generell verboten war. Allerdings musste jeder Neubau einer schweren Werkzeugmaschine von den Besatzungsmächten genehmigt werden, was aber meistens erfolgte. Die praktische Umsetzung war allerdings nicht einfach, da die dafür benötigten Fertigungsanlagen oft demontiert waren.³³³

Durch die Demontage und die Produktionseinschränkungen war bis zur Gründung der Bundesrepublik Deutschland eine große Bestandslücke an Werkzeugmaschinen entstanden. Die Neue Züricher Zeitung nannte hierzu Zahlen. Danach gab es nach der Währungsreform in der ehemaligen Bizone 670.000 Werkzeugmaschinen, denen ein Bedarf von 1,1 Mio. gegenüberstand.³³⁴ So gesehen gab es für die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie ein großes Marktpotenzial, das wegen der ungünstigen Ausgangsbedingungen allerdings nur langsam erschlossen werden konnte. Die Fertigungskapazitäten mussten hierfür erst wieder aufgebaut werden.

Rückblickend gesehen wurde diese Aufgabe gelöst. Die Werkzeugmaschinenindustrie hatte ab 1949 unter Schwankungen bis zum Ende des Untersuchungszeitraums hohe Zuwachsraten (vgl. Abbildung 17), die Anfang der 1950er Jahre durch die Korea-Krise³³⁵ zusätzlich gestützt wurden. Nach der Korea-Krise wurde der Aufschwung von der Binnenkonjunktur („Wirtschaftswunder“) und vom Export getragen. In den 1960er Jahren ging das Wachstum zurück, nachdem der Nachholbedarf weitgehend abgearbeitet war. Erst ab Ende der 1960er Jahre nahm – wenn auch unter Schwankungen – das Wachstum wieder deutlich zu, was auch mit der zunehmenden Produktion von NC-Maschinen zusammenhing.³³⁶

³³¹ Vgl. E. S. (1949).

³³² Die Washingtoner Konferenz im April 1949 strich 159 Betriebe von der Demontageliste. Vgl. Eversdijk/Lademacher (2001), S. 325. Einen Demontagestopp brachte das Petersberger Abkommen vom 22. November 1949. Vgl. Eversdijk/Lademacher (2001), S. 339.

³³³ Vgl. Schwab (1996), S. 19.

³³⁴ Vgl. E. S. (1949).

³³⁵ Im Juni 1950 brach der Koreakrieg aus, der einen weltweiten Nachfrageschub nach Investitionsgütern auslöste. Westdeutschland hatte noch Produktionsreserven, die plötzlich gefragt waren und zu einer starken Erhöhung der Industrieproduktion führten („Koreaboom“). Vgl. Abelshauser (2011), S. 156. Auch die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie profitierte vom „Koreaboom“. Vgl. Schwab (1996), S. 21.

³³⁶ Vgl. Schwab (1996), S. 21–25.

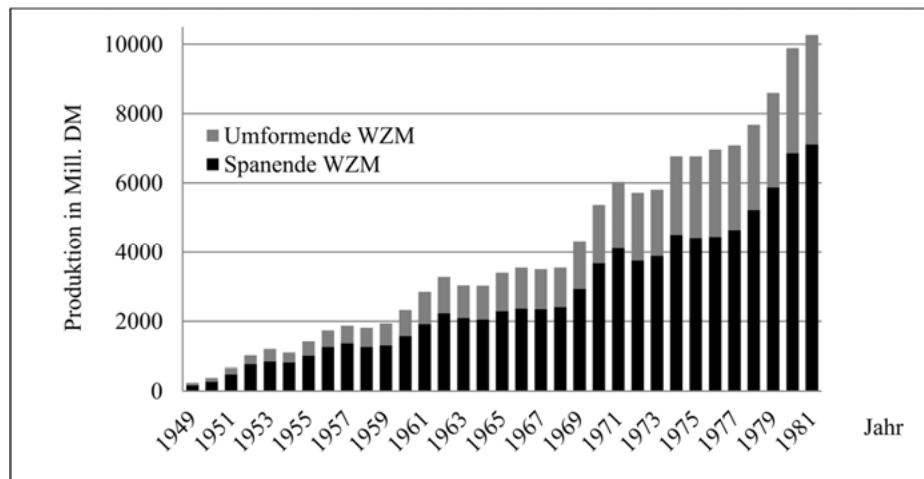


Abbildung 17: Werkzeugmaschinenproduktion in der BRD von 1949 bis 1981³³⁷

Insgesamt erhöhte sich das Produktionsvolumen ausgehend von 387 Mio. DM (1950) bis zum Ende des Untersuchungszeitraums (1980) auf 9,888 Mrd. DM (1980). Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Steigerung von 11,4 %.³³⁸ Diese lag trotz der niedrigen Wachstumsraten in den 1960er Jahren über dem durchschnittlichen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts während des gleichen Zeitraums von 9,65 %.³³⁹

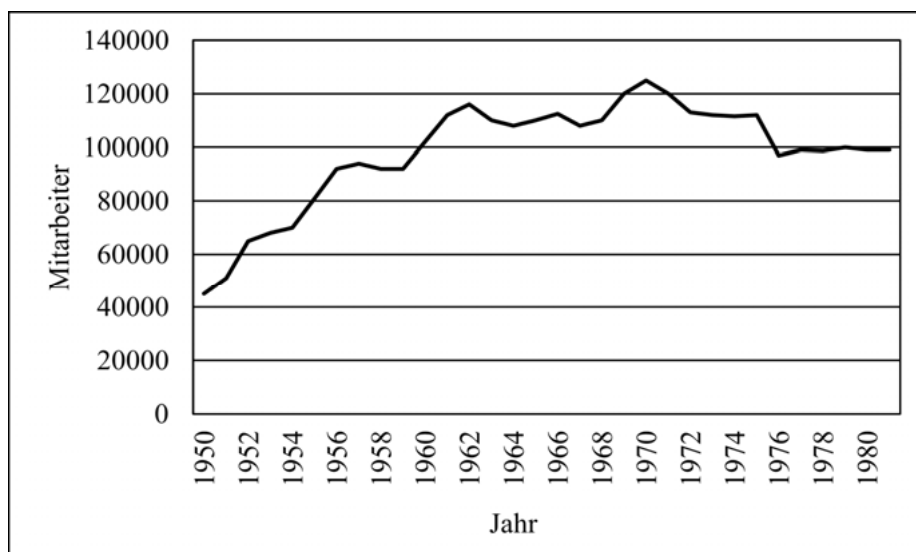


Abbildung 18: Beschäftigte im Werkzeugmaschinenbau der BRD von 1950 bis 1981³⁴⁰

Beim Vergleich Mitarbeiterentwicklung (Abbildung 18) mit der Umsatzentwicklung (Abbildung 17) fällt auf, dass bis etwa 1970 Beschäftigte und Umsatz einen ähnlichen

³³⁷ Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Schwab (1996), Tabelle Branchendaten 2, S. 45.

³³⁸ Vgl. Schwab (1996), S. 45.

³³⁹ Statista GmbH (2022). Das Bruttoinlandsprodukt erhöhte sich in der Bundesrepublik Deutschland von 1950 bis 1980 von 49,69 Mrd. € auf 788,52 Mrd. €. Dies entspricht einer jährlichen durchschnittlichen Steigerung von 9,65 %.

³⁴⁰ Bildquelle: Eigene Grafik nach Tabelle von Glunk (1991), S. 216–217.

Verlauf hatten. Ab etwa 1970 entkoppelten sich die Verläufe: Trotz eines Umsatzanstiegs auf das Zweieinhalbfache bis 1981 ging die Zahl der Beschäftigten sogar leicht zurück. Hierfür bieten sich neben Produktivitätssteigerungen zwei Erklärungen an: Zum einen wurde die Fertigungstiefe verringert, d. h. es wurden immer mehr Maschinenkomponenten von spezialisierten Zulieferfirmen eingekauft und zum andern erhöhte sich ab Mitte der 1970er Jahre durch die steigenden CNC-Stückzahlen der Zulieferanteil am Umsatz durch die Steuerungs- und Antriebstechnik weiter.

Interessant ist auch ein Vergleich der Werkzeugmaschinenproduktion der USA, Japan und Deutschlands³⁴¹ (Abbildung 19).

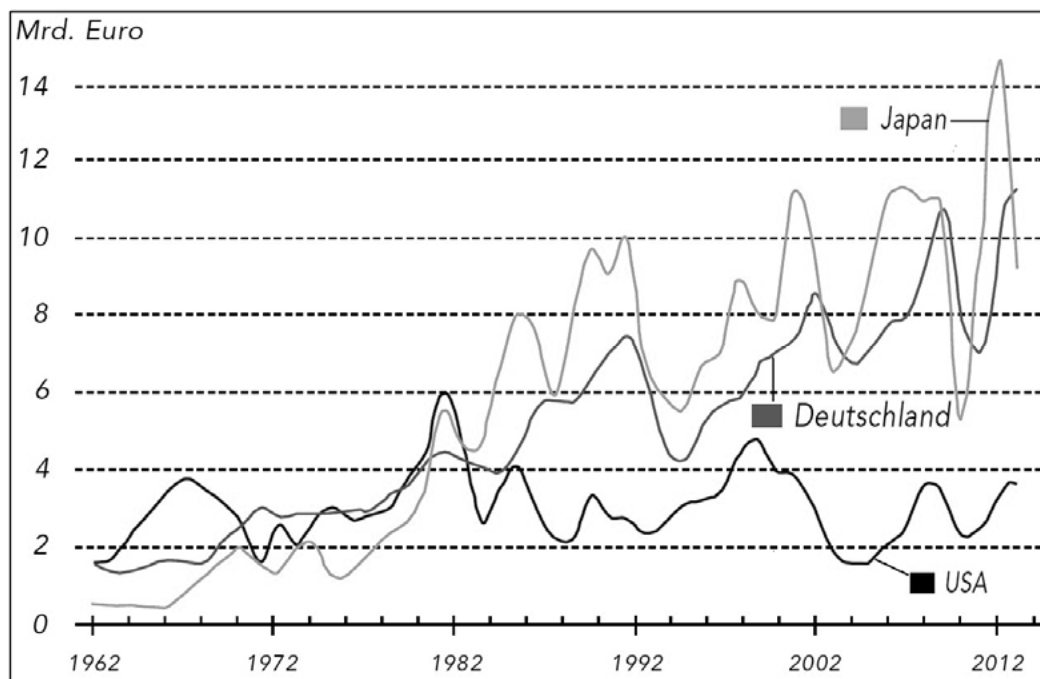


Abbildung 19: Umsatz der Werkzeugmaschinenproduktion in Deutschland, den USA und Japan³⁴²

Dabei fällt Folgendes auf:

- Das Ausgangsniveau im Jahr 1962 war in Deutschland und den USA vergleichbar, Japan lag deutlich zurück.
- Mit Ausnahme der Jahre zwischen 1979 und 1982 lag die deutsche Werkzeugmaschinenproduktion ab etwa 1970 immer über der der USA, im Jahr 2012 etwa um das Dreifache.

³⁴¹ Bis 1989 enthält die Abbildung nur Werte aus der BRD, d. h. bis 1989 ohne das Gebiet der DDR.

³⁴² Bildquelle: Leibinger (2014), S. 24. Die Daten stammen vom VDW und mit Deutschland ist bis 1989 die BRD gemeint. Die Ursache für die unterschiedliche Entwicklung in den USA und der BRD nach dem Untersuchungszeitraum sieht Leibinger vor allem darin, dass in den USA falsche Entwicklungsakzente gesetzt wurden. Es seien zu komplizierte Maschinen entwickelt worden und Maschinen für die breiten Anwendungen vernachlässigt worden. Zusätzlich sei der Einfluss der Finanzwirtschaft zu groß geworden. Vgl. Leibinger (2014), S. 335.

- Der große Gewinner war Japan, dessen Produktion ab 1980 fast immer über der von Deutschland und damit auch über der der USA lag.
- Die Werkzeugmaschinenproduktion hat eine große Volatilität. Diese ist zwischen Deutschland und Japan vergleichbar, aber leicht phasenverschoben.
- Die Werkzeugmaschinenproduktion der USA stagniert mit Schwankungen seit Anfang der 1960er Jahre.

Nach dem Zweiten Weltkrieg stieg die Werkzeugmaschinenproduktion in Baden-Württemberg stark an. Vor dem Zweiten Weltkrieg kam etwa 35 % des Produktionswerts der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie aus Sachsen und Thüringen und 18 % aus Berlin (vgl. Abbildung 20), von dem der größte Teil auf Ostberlin entfiel. Baden-Württemberg und Bayern hatten nur einen Anteil von 20 % an der Werkzeugmaschinenproduktion.³⁴³ Nach dem Zweiten Weltkrieg befand sich deshalb etwa 50% der ehemaligen deutschen Werkzeugmaschinenproduktion in der SBZ und wurde dort besonders stark demontiert.³⁴⁴

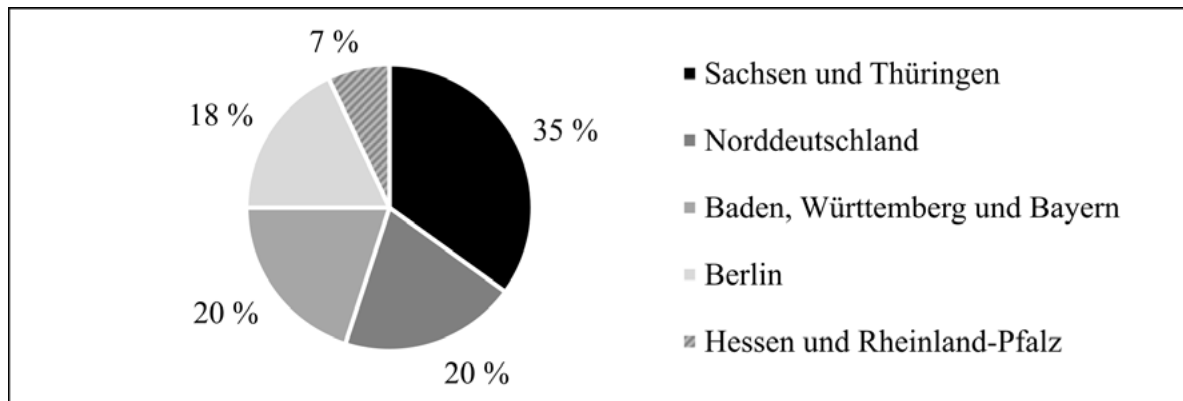


Abbildung 20: Regionale Verteilung der WZM-Produktion in Deutschland 1939³⁴⁵

Nach dem Zweiten Weltkrieg flohen mehrere Unternehmer und Führungskräfte aus der SBZ in die westlichen Besatzungszonen und gründeten dort neue Firmen.³⁴⁶ Beispiele für Neugründungen in Baden-Württemberg waren z. B. der Wälzfräsmaschinenhersteller Pfauter³⁴⁷ und der Ludwigsburger Maschinenbau (Burr)³⁴⁸, beide in Ludwigsburg.

³⁴³ Für 1936 (Referenzjahr für die Demontage nach dem Zweiten Weltkrieg im Rahmen des zweiten Industriepfandes) konnten vom VDW keine Zahlen zur Verfügung gestellt werden. Auch die Zeitschrift „Rückmeldung der Fachgruppe Werkzeugmaschinen (VDW)“ enthält für das Jahr 1936 keine Zahlen für die Länder des Deutschen Reichs. Vgl. o. V. (1936).

³⁴⁴ Vgl. Glunk (1991), S. 107 und 110. Schwab nannte für Berlin eine Reduzierung der Kapazität gemessen am Produktionswert durch Demontage von 91 % während sie für die gesamte SBZ nur 70 % betrug. Vgl. Schwab (1996), S. 7.

³⁴⁵ Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Kappel (1966), Tabelle „Standorte der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie nach der Produktion“, S. 182. Kappel zählte Nordrhein-Westfalen zu Norddeutschland.

³⁴⁶ Vgl. Leibinger (2014), S. 338.

³⁴⁷ Vgl. Gleason Corporation (2019), S. 4.

³⁴⁸ Vgl. Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (1958), S. 3–4.

Zusammen mit der unterschiedlichen Intensität der Demontagen in Westdeutschland und der SBZ und der „Desintegration der wirtschaftlichen Raumstrukturen“³⁴⁹ verschoben sich die regionalen Schwerpunkte der Werkzeugmaschinenindustrie, wovon besonders Baden-Württemberg profitierte. Es hatte mit 39 % schon 1964 (vgl. Abbildung 21) den größten Anteil an der Werkzeugmaschinenproduktion der BRD, deutlich mehr als sich durch das Ausscheiden der DDR aus der Statistik ergibt. Rein rechnerisch hätte sich der Anteil von Baden-Württemberg und Bayern verdoppelt. Tatsächlich erhöhte er sich mit 50 % aber auf das 2,5-Fache der Vorkriegszahlen. Eine Erklärung für den größeren Marktanteil könnte sein, dass die baden-württembergischen Werkzeugmaschinenhersteller überdurchschnittlich viele Maschinen und Anlagen für die Automobilindustrie fertigten. Diese hatte seit den 1950er Jahren hohe Zuwachsraten.³⁵⁰ Belegen lässt sich die Vermutung nicht, da der VDW im Untersuchungszeitraum noch keine Statistik über die Abnehmerbranchen seiner Mitgliedsfirmen führte.

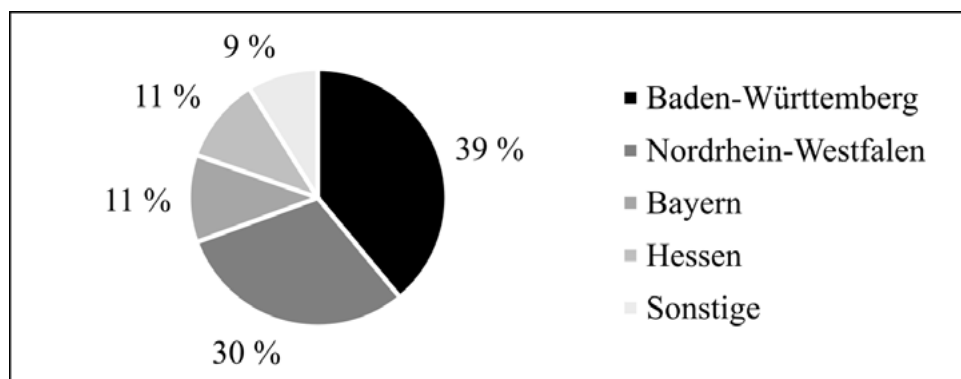


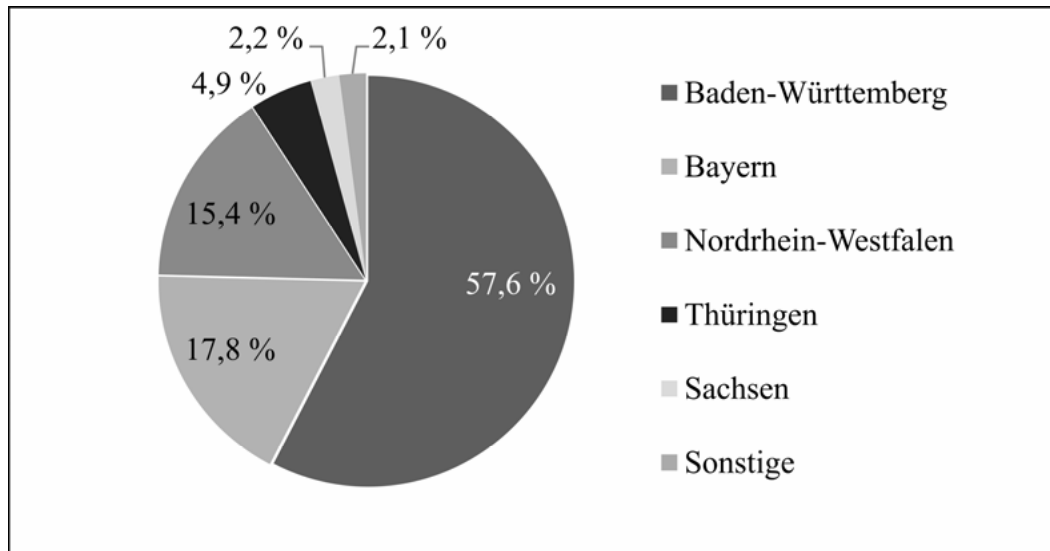
Abbildung 21: Regionale Verteilung der WZM-Produktion in der BRD 1964³⁵¹

Dieser Trend setzte sich fort. Bis zum Jahr 2019 erhöhte sich trotz der Wiedervereinigung der Anteil von Baden-Württemberg an der Werkzeugmaschinenproduktion auf 57,6 % (Abbildung 22), der Anteil von Bayern stieg sogar um die 70 % auf 17,8 %, während sich der Anteil von Nordrhein-Westfalen mit 15,4 % etwa halbierte.

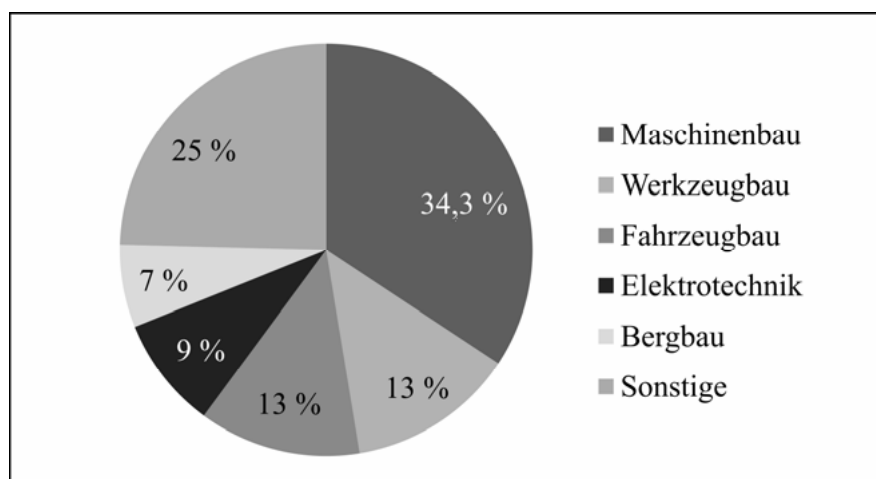
³⁴⁹ Trischler (2001), S. 60. Trischler bezog sich auf Petzina, der untersucht hatte, wie nach dem Zweiten Weltkrieg durch die Strukturkrise im Bergbau und der Stahlindustrie Nordrhein-Westfalen wirtschaftlich zurückfiel. Zuerst wurden der Südwesten und das Rhein-Main-Gebiet, ab den 1960er Jahren auch Bayern die wirtschaftlich dynamischsten Regionen. Vgl. Petzina (1994), S. 101 und 106–107.

³⁵⁰ Die gesamte Kraftfahrzeugproduktion in der BRD erhöhte sich z. B. von 306.046 Fahrzeugen (1950) auf 2.055.149 in 1960 und danach weiter auf 3.842.247 in 1970. Vgl. Seherr-Thoss (1979), S. 633. Für diese extreme Steigerung wurden viele zusätzliche Werkzeugmaschinen benötigt. Außerdem belieferte die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie auch ausländische Kraftfahrzeughersteller, die teilweise ähnlich hohe Zuwachsraten hatten.

³⁵¹ Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Kappel (1966), Tabelle „Standorte der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie nach der Produktion“, S. 182.

Abbildung 22: Regionale Verteilung der WZM-Produktion in der BRD 2019³⁵²

Auch die Verschiebungen zwischen 1964 und 2019 können mit Nachfrageänderungen erklärt werden. Großmaschinen, deren Hersteller historisch hauptsächlich in Nordrhein-Westfalen ansässig waren, wurden wegen des Rückgangs bei der Montanindustrie und im Bergbau weniger nachgefragt. Dagegen nahm der Werkzeugmaschinenbedarf der weltweiten Automobilindustrie weiter zu, sodass die baden-württembergischen und bayrischen Werkzeugmaschinenhersteller weitere Zuwächse verzeichnen konnten.³⁵³

Abbildung 23: Abnahmebranchen NC-Werkzeugmaschinen 1977–1979³⁵⁴

³⁵² Bildquelle: Eigene Darstellung nach o. V. (2020b), Tabelle „Regionale Verteilung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie (%-Anteile)“, S. 59.

³⁵³ Im Jahr 2019 (vgl. o. V. (2020b), S. 61) nahm die Automobil- und Zulieferindustrie 47,7 % aller Werkzeugmaschinen ab. Zahlen aus dem Untersuchungszeitraum konnten der VDW nicht zur Verfügung stellen.

³⁵⁴ Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Rempp (1981), Abbildung I/3, S. 24. Rempp gibt als Quelle seiner tabellarischen Abbildung den VDMA an.

Interessant ist noch, welche Branchen gegen Ende des Untersuchungszeitraums die meisten NC-Maschinen abnahmen (Abbildung 23). Danach war der Maschinenbau, zu dem auch die Druckmaschinen gehören, mit 34% der größte Abnehmer.

Der Fahrzeugbau nahm mit 13% zwar auch einen nennenswerten Teil der Maschinen ab, es ist aber davon auszugehen, dass damals noch fast alle Maschinen für die Herstellung von Fahrzeugteilen in kleinen Serien verwendet wurden. Die Luft- und Raumfahrtindustrie, für die in den USA die NC-Technik ursprünglich entwickelt wurde, war in Westdeutschland mit 2,4 % der NC-Maschinenabnahme nur eine kleine Abnahmebranche. Ihre Zahlen sind in „Sonstige“ enthalten.

4.3 Tendenzen in der Produktionstechnik nach dem Zweiten Weltkrieg

Bis nach dem Zweiten Weltkrieg boten die deutschen Werkzeugmaschinenhersteller im Wesentlichen zwei Produktlinien an: Standardwerkzeugmaschinen wie z. B. Dreh- und Fräsmaschinen und Sondermaschinen. Die Standardwerkzeugmaschinen gab es in vielen Ausprägungen und Größen. Sie waren für die Herstellung von Klein- und Mittelserien ausgelegt und benötigten qualifizierte Facharbeiter zur Bedienung. Wegen der großen Typenvielfalt wurden die meisten Werkzeugmaschinen nur in kleinen Stückzahlen hergestellt. Zur Kostensenkung versuchten einige Werkzeugmaschinenhersteller Teile und Baugruppen ihrer Maschinen so zu standardisieren, dass Maschinenvarianten durch ein Baukastensystem einfacher und schneller möglich waren.³⁵⁵

Für sehr hohe Stückzahlen (z. B. für Schrauben und Uhrenteile) wurden teilespezifische Sondermaschinen entwickelt, die für ein eng begrenztes Produktspektrum (z. B. Schrauben in unterschiedlichen Größen) ausgelegt waren und für einen Produktwechsel (z. B. eine andere Schraubengröße) durch Modifizierung der mechanischen Steuerelemente umgebaut werden konnten.³⁵⁶ Für Massenteile hatten und haben diese Maschinen eine sehr hohe Produktivität. Weiterentwickelte Varianten der mechanisch gesteuerten Mehrspindeldrehautomaten werden in der Massenproduktion heute immer noch eingesetzt.³⁵⁷

Um hohe Stückzahlen komplexer Teile im Automobilbau wirtschaftlich zu fertigen (z. B. Motoren und Getriebe), wurden ausgehend von den USA in den 1920er Jahren zunehmend Sondermaschinen entwickelt, die für ein enges Produktspektrum optimiert

³⁵⁵ Vgl. Benad-Wagenhoff u. a. (1993), S. 230. Die Autoren nannten als Beispiel das Baukastensystem der Firma Wanderer für Fräsmaschinen in den 1920er Jahren. Ein weiteres Beispiel war die 1929 vorgestellte VDF Einheitsdrehbank der Firmen Gebr. Boehringer, Heidenreich & Harbeck, Franz Braun und Wohlenberg (vgl. Kapitel 5.1).

³⁵⁶ In seiner Dissertation „Arbeitsweise der selbständigen Drehbänke“ schrieb Kienzle die Entwicklung des ersten Drehautomaten zur Schraubenherstellung 1873 dem Amerikaner Miner Specer zu. Vgl. Kienzle (1913), S. 2.

³⁵⁷ Vgl. Benad-Wagenhoff u. a. (1993), S. 234.

waren. Sie waren nur wirtschaftlich, wenn die geplanten Stückzahlen erreicht wurden.³⁵⁸ Georg Schlesinger warnte deshalb schon 1932 vor einer weiteren Verfolgung dieser Strategie, da er den Aufbau großer Überkapazitäten befürchtete. Er sprach sich dafür aus, statt Sondermaschinen modifizierte Standardmaschinen zu verwenden, um eine höhere Flexibilität zu erreichen.³⁵⁹ Diese Mahnung fand jedoch nur wenig Gehör, denn der Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie nahm nach dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland noch einmal stark zu. So erzielten z. B. die Gebr. Heller und Burkhardt & Weber ab den 1950er Jahren über mehrere Jahrzehnte große Teile ihres Umsatzes mit Sondermaschinen und Transferstraßen³⁶⁰ für die Automobilindustrie.³⁶¹ Dass Sondermaschinen einen hohen Stellenwert hatten, ist auch daran zu sehen, dass sogar kleine Fertigungsbetriebe einen eigenen Sondermaschinenbau hatten. Das hatte den Vorteil, dass sie ihr Fertigungs-Know-how mit keinem Maschinenhersteller teilen mussten und sich davon Wettbewerbsvorteile versprachen. Dies trifft auch auf die in dieser Arbeit ausführlich untersuchte Firma Heidelberger Druckmaschinen zu (vgl. Kapitel 6.1).³⁶²

Etwa zeitgleich mit dem verstärkten Sondermaschinenbau ab den 1920er Jahren für die hohen Stückzahlen im Automobilbau wurden in den USA fühlergesteuerte Kopiersteuerungen für Dreh- und Fräsmaschinen entwickelt. Mit den „Fühlern“ konnte in bis zu drei Achsen ein Modell abgetastet und mit den Messwerten eine „zweite“ Maschine gesteuert werden. Diese stellte eine exakte Kopie des Modells her. Auch diese Entwicklung wurde durch die Automobilindustrie begünstigt. Diese benötigte z. B. Kopien für verschlissene Presswerkzeuge im Karosseriebau. Allerdings war diese Technologie aufwendig und langsam und deshalb nur für Kleinserien ab zehn Werkstücken

³⁵⁸ Vgl. Benad-Wagenhoff u. a. (1993), S. 228.

³⁵⁹ Vgl. Schlesinger (1932), S. 35–37.

³⁶⁰ Eine Transferstraße ist eine „große“ Sondermaschine. Sie besteht aus mehreren Sondermaschinen, die durch eine Transporteinrichtung verbunden sind. Jede Sondermaschine (Station) führt nur eine bestimmte Anzahl von Bearbeitungen durch. Dann wird das Werkstück zur nächsten Station transportiert. Zur optimalen Ausnutzung sind die Bearbeitungszeiten der einzelnen Stationen fast gleich. Transferstraßen erfordern hohe Investitionen und haben nur eine begrenzte Flexibilität für Produktvarianten. Vgl. Langenbacher (1963), S. 111–127. Burkhardt & Weber reklamiert für sich den Bau der ersten deutschen Transferstraße zur Herstellung von Zylinderköpfen im Jahr 1951. Vgl. Langenbacher (1963), S. 114.

³⁶¹ Vgl. Gunsser (1978), S. 1006 und vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 19.

³⁶² Ein weiteres Unternehmen mit einem eigenen Sonder- und Werkzeugmaschinenbau war im Untersuchungszeitraum der Oberndorfer Waffenhersteller Heckler & Koch. Für seine Sonder-Werkzeugmaschinen (die teilweise auch extern verkauft wurden) entwickelte Heckler & Koch sogar eine eigene NC-Steuerung. Der Maschinen- und Anlagenbau wurden 1981 zur Heckler & Koch Maschinen- und Anlagenbau GmbH (Hekoma) zusammengefasst. Die Elektroniksparte wurde 1986 als Heckler & Koch Elektronik GmbH ausgegliedert. Vgl. Kersten/Schmid (1999), S. 31. Die Heckler & Koch Elektronik GmbH wurde Ende 1991 verkauft und in BWO Elektronik GmbH umbenannt. Vgl. Amtsgericht Rottweil (23.01.1992). Die Hekoma wurde rückwirkend zum 1.4.1995 an die neugegründete Firma Schwäbische Werkzeugmaschinen verkauft. Vgl. o. V. (1995).

geeignet.³⁶³ Auch die deutschen Werkzeugmaschinenhersteller griffen die Idee der fühlergesteuerten Maschinen auf und zeigten auf der Technischen Messe 1938 in Leipzig mehrere entsprechende Maschinen. Was fehlte, war eine wirtschaftliche Lösung für die ganz kleinen Stückzahlen und die Mittelserien. Diese brachte erst die in dieser Arbeit untersuchte NC-Technik, die ab Ende der 1940er Jahre entwickelt wurde.

Wie diese Arbeit verdeutlicht, war diese Entwicklung der NC-Technik ursprünglich nicht beabsichtigt. Sie war quasi ein Abfallprodukt der Weiterentwicklung und Verbillichung der NC-Technik durch die Mikroelektronik zur CNC-Technik, die sich bis in die 1980er Jahre hinzog. Erst dann standen mit flexibel verketteten CNC-Werkzeugmaschinen (auch flexible Fertigungssysteme genannt) und Transferstraßen aus verketteten CNC-Werkzeugmaschinen Lösungen für fast alle Stückzahlenanforderungen zur Verfügung. Sie basierten, wie von Schlesinger gefordert, weitgehend auf Standard-Werkzeugmaschinen und waren dadurch kostengünstiger und flexibler.³⁶⁴

Bis weit in die 1970er Jahre hinein waren niedrige Produktionskosten für höhere Stückzahlen nur durch eine arbeitsteilige, straff organisierte Produktion mit geringer Varianz zu erzielen. Am konsequentesten und erfolgreichsten setzte ab etwa 1910 Henry Ford die Methoden Taylors³⁶⁵ bei der Produktion seines Erfolgsautos Modell T (umgangssprachlich Tin Lizzy) um, sodass sich für diese Produktionsmethode Mitte der 1920er Jahre die Bezeichnung „Fordismus“ etablierte.³⁶⁶ Ford soll in diesem Zusammenhang schon 1909 die Meinung vertreten haben: „Any customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black“³⁶⁷. Seine Philosophie war also, durch wenig Varianten die Produktion zu vereinfachen, die Produktionskosten zu senken, die Zuverlässigkeit und Qualität seiner Fahrzeuge aber zu erhöhen.³⁶⁸

Mit einer ähnlichen Strategie war nach dem Zweiten Weltkrieg VW mit dem Käfer erfolgreich, auch wenn es von ihm schon mehr Varianten (z. B. Lackfarben³⁶⁹) als von

³⁶³ Vgl. Benad-Wagenhoff u. a. (1993), S. 234.

³⁶⁴ Vgl. Benad-Wagenhoff u. a. (1993), S. 236–237.

³⁶⁵ Taylor beschrieb in seinen Veröffentlichungen Methoden zur rationelleren Gestaltung der Produktion. Taylor (1903) und Taylor (1911).

³⁶⁶ Vgl. Hachtmann (2011), S. 2. Geprägt wurde der Begriff von Gottl-Ottlilienfeld (vgl. Saldern/Hachtmann (2009), S. 175), der 1924 in Kiel einen Vortrag mit dem Titel „Fordismus? Von Frederick Winslow Taylor zu Henry Ford“ hielt. Gottl-Ottlilienfeld (1926), S. 1–40.

³⁶⁷ Ford (1922), S. 72. Nach Eifert wurde das Buch vom Journalisten Samuel Crowther nach Interviews mit Henry Ford verfasst. Vgl. Eifert (2009), S. 211. Als Grund für die schwarze Fahrzeugfarbe wird in der Literatur angegeben, dass schwarz die erste lange haltbare industrielle Farbe war. Außerdem trocknete sie am schnellsten. Vgl. Jahns/Schöffler (2008), S. 125.

³⁶⁸ Durch den 5 Dollar Tag, etwa das Doppelte des damals üblichen Lohns in der Branche, lockte Ford Arbeiter in seine Fabriken. Durch die erhöhte Kaufkraft erhoffte er sich weitere Absatzsteigerungen. Vgl. Heßler (2012), S. 52.

³⁶⁹ Vom VW Käfer gab es über viele Jahre nur zwei Modelle: Den luxuriöser ausgestatteten Export (teilsynchronisiertes Getriebe, mehrere Farben) und den Standard. Dieser war nur in grau lieferbar, hatte ein unsynchronisiertes Getriebe und Sitze mit nur sehr wenig Verstellmöglichkeiten.

der Tin Lizzy gab. Wegen des großen Nachholbedarfs an Automobilen sprach der VW Käfer nach dem Zweiten Weltkrieg viele Käufer an, die ein preisgünstiges und zuverlässiges Fahrzeug suchten.³⁷⁰ Der Wunsch nach einem individuelleren, aber teureren Fahrzeug wurde deshalb von vielen Käufern zugunsten des VW Käfers zurückgestellt.

Spätestens Ende der 1970er Jahre war in Westdeutschland bei Automobilen eine hohe Marktsättigung erreicht,³⁷¹ sodass für eine weitere Steigerung der Absatzzahlen neue Kaufanreize nötig waren. Einen Weg zu höheren, zumindest aber stabilen Stückzahlen sahen die Automobilhersteller in individuelleren Fahrzeugen mit mehr Ausstattungs- und Antriebsvarianten³⁷². Möglich wurde dies durch eine rechnerunterstützte Fertigungssteuerung, durch die die Produktion zu akzeptablen Mehrkosten flexibilisiert werden konnte.³⁷³ Dabei halfen auch die gegen Ende der 1970er Jahre aufkommenden CNC-Werkzeugmaschinen, ermöglichten sie doch nach und nach auch für den komplizierten Antriebsstrang die Fertigung von mehr Motor- und Getriebevarianten. Schon 1997 konnte ein Fahrzeug in so vielen Varianten bestellt werden, dass nur noch selten zwei exakt gleich ausgestattete Fahrzeuge vom Band liefen.³⁷⁴

Diese Entwicklung war nicht nur auf die Autoindustrie beschränkt. Piore und Sabel kamen in ihrer Studie über das Ende der Massenproduktion zu dem Ergebnis, dass es in der BRD ab Mitte der 1970er Jahre in vielen Bereichen Tendenzen gab, die Massenproduktion durch in kleineren Stückzahlen hergestellte Produkte zu ersetzen. Dies erfolgte häufig durch Fertigungskonzepte mit Mikroprozessorunterstützung, wozu sie auch die CNC-Technik zählten. Ein interessantes Detail ihrer Recherchen war, dass Baden-Württemberg Mitte der 1980er Jahre einer der flexibelsten Produktionsstandorte in der BRD war, aber mit 5 % nur die Hälfte des bundesdeutschen Schnitts an Arbeitslosen hatte. Es schnitt also deutlich besser ab als Regionen, die länger versuchten,

³⁷⁰ Insgesamt wurden zwischen 1908 und 1927 von der Tin Lizzy 15.007.033 Stück gebaut. Diese hohe Stückzahl wurde erst am 12. Februar 1972 durch den VW Käfer übertroffen. Vgl. Hubmann (2009), S. 72. Insgesamt kam zwischen 1938 bis zur Produktionseinstellung 2003 der VW Käfer auf eine Stückzahl von 21.529.464 Fahrzeugen. Vgl. Hellmann (2019), S. 318.

³⁷¹ 1980 waren in Westdeutschland ca. 23 Mio. PKW zugelassen. Vgl. Kraftfahrtbundesamt (2022). Da es etwa 24,8 Mio. Privathaushalte gab (vgl. Statistisches Bundesamt (2020)), kam so auf fast jeden Privathaushalt ein PKW. Es war also eine hohe Marktsättigung erreicht.

³⁷² Eine neue Motorvariante zog meistens Änderungen am gesamten Antriebsstrang, auch Powertrain genannt, nach sich. Die wichtigsten Teile des Antriebsstrangs sind Motor, Getriebe, Differential und die Antriebswellen bis zu den Rädern. Die für den Antriebsstrang benötigten Teile wurden fast nur mit Werkzeugmaschinen bzw. Transferstraßen hergestellt.

³⁷³ Nach Hachtmann und von Saldern wird die Zeit ab Mitte der 1970er Jahre als „Postfordismus“ bezeichnet, da durch den gesellschaftlichen Wandel, den Ölpreisschock von 1973/1974, die Wirtschaftskrise von 1974/1975 und die damit verbundenen langsameren Produktivitätszuwächse über neue Produktionskonzepte nachgedacht wurde. Vgl. Hachtmann/Saldern (2009), S. 203–204.

³⁷⁴ Vgl. Gräßler (2004), S. 26, Bild 2.9. Gräßler errechnete 24.467.028 Varianten, in denen z. B. der ab 1997 gebaute VW Golf IV bestellt werden konnte.

die alten Strukturen und Methoden beizubehalten.³⁷⁵ Mit einer möglichst flexiblen Produktion konnte also eine höhere Beschäftigung erreicht werden.

Wittke, der sich mit der Massenproduktion der deutschen Elektroindustrie beschäftigte, kam zu ähnlichen Ergebnissen. Er beobachtete in den Teilen der Elektroindustrie mit einer fordistischen Fertigungsstruktur eine Hinwendung zu anspruchsvolleren Produkten mit einer größeren Typenvarianz, um dem Konkurrenzdruck auszuweichen.³⁷⁶

Die Flexibilisierung der Produktion mit Hilfe von Rechnern wurde auch mit diversen Forschungsprogrammen gefördert. So gab es das Projekt Prozeßlenkung mit Datenverarbeitungsanlagen (PDV)³⁷⁷ und das Forschungsprogramm Humanisierung des Arbeitslebens (HdA). Während das Projekt PDV hauptsächlich darauf abzielte, Anwendungsmöglichkeiten von Prozessrechnern in der Fertigung zu erforschen (wozu auch die im Kapitel 7.7.2 besprochenen flexiblen Fertigungssysteme zählten), sollten mit dem Forschungsprogramm HdA hauptsächlich besonders schwere Arbeitsbedingungen verbessert werden. Daher wurde mit HdA über das Zehnfache von Projekten mit Robotern und Handhabungseinrichtungen als mit Werkzeugmaschinen gefördert.³⁷⁸

Zur Flexibilisierung der Produktion gehörte auch die Diskussion über die menschenleere bzw. menschenarme „automatisierte“ Fabrik, die nach Uhl schon um 1835 Andrew Ure für zukünftige Textilfabriken befürchtete. Die Diskussion lebte immer wieder bei Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik auf, so auch durch die NC-Werkzeugmaschinen, als Anfang der 1970er Jahre die ersten NC-gesteuerten flexiblen Fertigungssysteme in Betrieb gingen.³⁷⁹ Günter Spur, Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Berlin, sah die Automatisierung positiv und betonte mehrfach, dass eine automatisierte Fabrik auch in Zukunft Menschen benötigt – allerdings mit anderen Qualifikationen – und die Arbeit durch die Automatisierung humaner wird:

Nun wäre es allerdings ein großer Irrtum anzunehmen, daß eine solche automatische Fabrik ohne Menschen arbeitet. Wir wissen, daß Automatisierung zwar strukturelle Verschiebungen bewirkt, aber uns keineswegs vom Menschen unabhängig macht. Automatisierung befreit den Menschen vom Arbeitstakt der Maschine, fordert aber von ihm, daß er

³⁷⁵ Vgl. Piore/Sabel (1985), S. 254–262.

³⁷⁶ Vgl. Wittke (1996), S. 191.

³⁷⁷ Eine Übersicht der 1976 geförderten Projekte ist in der PDV-Mitteilung 1/1976 zu finden. O. V. (1976c), S. 58–71.

³⁷⁸ Mit dem HdA-Programm wurden über die Laufzeit 1588 Projekte gefördert. Vgl. Projektliste Privatarchiv Thomas Wissert, HdA 1; Zettel (06.10.2022). Von diesen Projekten hatten nur acht einen Bezug zur NC-Technik, wobei der Schwerpunkt auf der Werkstattprogrammierung lag. Hingegen wurden 92 Projekte mit Handhabungseinrichtungen und Robotern unterstützt. Hier lag der Schwerpunkt darauf, schwere Arbeiten „humaner“ zu machen, d. h. den Beschäftigten ihre Arbeit zu erleichtern.

³⁷⁹ Vgl. hierzu auch Uhl (2019), S. 74–79.

sie beherrscht. In diesem Sinne ist Automatisierung die beste Form der Humanisierung der menschlichen Arbeit.³⁸⁰

Auch Brödner beschäftigte sich in seinem Buch „Fabrik 2000“³⁸¹ mit der „mannlosen Fabrik“. Er konstatierte, dass zwar erste Erfahrungen mit flexiblen Fertigungssystemen vorlägen, bei diesen jedoch im besten Fall nur zeitweise ein vollautomatischer Betrieb möglich sei – und der auch nur bei aufwendiger organisatorischer Vorbereitung. Die Schwachstelle sei vor allem der Qualitätsregelkreis, d. h. die Überprüfung der Werkstücke und gegebenenfalls die Korrektur der Bearbeitungsparameter. Hinzu käme auch noch der kontinuierliche An- und Abtransport der Werkstücke zur Anlage mit einer sicheren Identifikation der Werkstücke. Brödner sah also noch eine Vielzahl ungelöster Detailprobleme für eine mannlose Fabrik.³⁸² Er ging davon aus, dass die technischen Probleme einer mannlosen Fabrik nicht dauerhaft lösbar seien und plädierte deshalb für ein anthropozentrisches Produktionskonzept, bei dem sich nicht der Mensch an den Maschinen ausrichtet sondern die Maschinen am Menschen und der Mensch und nicht die Maschine die letzte Entscheidung trifft.³⁸³ Brödner war also der Ansicht, dass eine mannlose Fabrik nie funktionieren wird, was auch heute noch weitgehend gilt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die fordistischen Produktionsstrukturen etwa ab Mitte der 1970er Jahre durch den Einsatz von Computern in der Fertigung und durch eine flexiblere Produktion mit kleineren Serien abgelöst wurden. In der Metallbearbeitung wurde die höhere Flexibilität zu einem großen Teil durch CNC-Maschinen erreicht. Durch die größere Flexibilität ergab sich z. B. in der Automobilindustrie ein extremer Anstieg der bestellbaren Fahrzeugvarianten, der von den Kunden gut angenommen wurde und zu höheren Umsätzen führte. Das Aufkommen von flexiblen Fertigungssystemen intensivierte zwar die Diskussion über menschenleere Fabriken, in der Praxis haben sie sich aber wegen vieler ungelöster Detailprobleme bis heute nicht durchgesetzt. Uhl formulierte das so:

Eine aktuelle Automatisierungserzählung würde also besser den Herausforderungen der Digitalisierung gerecht werden, wenn sie vom alten Narrativ der Ersetzung des Menschen abließe und die konkreten Formen der arbeitsorganisatorischen Kombination von Technik und Mensch mitsamt möglicher sozialer Folgen in den Blick nähme.³⁸⁴

³⁸⁰ Spur (1975), S. 2. Die zitierte Erkenntnis war Spur wichtig. Er wiederholte sie im Untersuchungszeitraum in mehreren Veröffentlichungen, z. B. auch in Spur (1979), S. 263.

³⁸¹ Brödner (1985).

³⁸² Vgl. Brödner (1985), S. 64–65.

³⁸³ Vgl. Brödner (1985), S. 186–187.

³⁸⁴ Uhl (2019), S. 90.

4.4 Das produktionstechnische Innovationssystem nach dem Zweiten Weltkrieg

Die in den vorigen Kapiteln grob skizzierte positive Entwicklung der westdeutschen Produktionstechnik und damit auch der Werkzeugmaschinenindustrie hatte in den ersten Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg im Wesentlichen zwei Ursachen:

- In der Anfangsphase des Wiederaufbaus nach dem Zweiten Weltkrieg hatte die westdeutsche Industrie bis etwa Mitte der 1950er Jahre einen großen Ersatzbedarf für demontierte und zerstörte Werkzeugmaschinen.
- Durch das „Wirtschaftswunder“ des Wiederaufbaus hatte die westdeutsche Automobilproduktion ab Mitte der 1950er Jahre überdurchschnittliche Zuwächse. Der Ausbau der Fertigungskapazitäten erforderte viele zusätzliche Werkzeugmaschinen bei den Automobilherstellern und ihren Zulieferern.

Nach der weitgehenden Rücknahme der alliierten Produktionsbeschränkungen konnte die steigende Maschinennachfrage von der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie befriedigt werden, denn von der vor dem Zweiten Weltkrieg großen deutschen Werkzeugmaschinenindustrie waren noch viele Fachkräfte verfügbar.³⁸⁵

Wissenschaftlich beeinflusst und begleitet wurde der Wiederaufbau der westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller und Fertigungsbetriebe durch das produktionstechnische Innovationssystem, das sich nach dem Zweiten Weltkrieg neu formierte³⁸⁶ und die Werkzeugmaschinenindustrie durch Innovationen zukunftsfest machen wollte.

Zuerst soll kurz auf die Innovationsforschung eingegangen werden. Diese wurde entscheidend von Schumpeter geprägt, der sich in seinem Werk „Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung“³⁸⁷ ausführlich mit den verschiedenen Arten von Innovationen, ihren Phasen und Auswirkungen auf die Wirtschaft auseinandersetzte. Die Überlegungen Schumpeters griffen später mehrere Autoren auf. Dies führte Ende der 1980er Jahre zum Begriff des „nationalen Innovationssystems“. Es wurde mit seiner heutigen Be-

³⁸⁵ 1939 z. B. hatte die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie etwa 100.000 Beschäftigte. 1950 waren es nur noch 45.000, im Jahr 1956 aber schon wieder 92.000 Beschäftigte. Zwischen 1956 und 1989 (97.500) schwankte die Zahl der Beschäftigten zwischen 83.000 (1984) und 125.000 (1970) mit einem Durchschnittswert von knapp 100.000 Beschäftigten. Vgl. Glunk (1991), S. 216–217. Im Jahr 2018 beschäftigte die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie noch 73474 Mitarbeiter. Vgl. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (2019a), S. 75.

³⁸⁶ Nach dem Zweiten Weltkrieg waren große Bereiche der Industrie zerstört. Patente, Warenzeichen und Schutzmarken wurden enteignet. Viele Ingenieure und Wissenschaftler waren in die alliierten Staaten übersiedelt. Alles in allem musste die deutsche Industrie beträchtliche materielle und personelle Verluste verkraften. Vgl. Schröder (1995), S. 73. Ein wichtiger Meilenstein beim Wiederaufbau des produktionstechnischen Innovationssystems war deshalb 1948 die Wiederaufnahme der Zusammenarbeit der westdeutschen produktionstechnischen Hochschulinstitute in der Hochschulgruppe Fertigungstechnik (HGF). Vgl. Archiv Otto Kienzle bei Prof. Tönshoff, 25 Jahre Hochschulgruppe Fertigungstechnik 1937–1962; Kienzle (17.04.1962), S. 6.

³⁸⁷ Schumpeter (1912).

deutung von Freeman definiert³⁸⁸ und beschreibt, wie in einem Land durch Zusammenwirken von öffentlichen und privaten Akteuren und Institutionen Innovationen entstehen:

The network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies may be described as “the national system of innovation”.³⁸⁹

Anders ausgedrückt: Nationale Innovationssysteme fördern durch das Zusammenwirken verschiedener öffentlicher und privater Institutionen Innovationen, wobei der Erfolg davon abhängt, wie gut die Akteure zusammenarbeiten. Dabei dürfen diese auch auf importierte Technologien zurückgreifen und sie bei Bedarf weiterentwickeln.³⁹⁰

Die Leistungsfähigkeit nationaler Innovationssysteme ist schwer zu messen und zu beurteilen. Mit dem deutschen Innovationssystem beschäftigten sich mehrere Autoren.³⁹¹ Von diesen legte Grupp vier Innovationsindikatoren fest, um die Entwicklung und Leistungsfähigkeit des deutschen Innovationssystems über einen längeren Zeitraum zu beurteilen.

Der erste Indikator bei Grupp waren die staatlichen Wissenschaftsausgaben, die er als die Summe der Ausgaben für FuE³⁹², Ausbildung, Lehre, Pflege und Diffusion des Wissens definierte.³⁹³ Um sie zu quantifizieren, ermittelte er ihren prozentualen Gesamtanteil am öffentlichen Gesamthaushalt (Abbildung 24). Danach verdoppelten sich die Wissenschaftsausgaben zwischen dem Ende des Ersten und dem Beginn des Zweiten Weltkriegs auf etwa 5 %, eine Größenordnung, die in der Bundesrepublik Deutschland erst wieder Ende der 1960er Jahre erreicht wurde. Der Grund war der kontinuierliche Hochschulausbau nach dem Zweiten Weltkrieg, der mit mehreren großen For-

³⁸⁸ Die Urheberschaft des Begriffs „Nationales Innovationssystem“ ist nicht ganz eindeutig. Freeman schrieb später (1995) die Definition des Begriffs „National System of Innovation“ Bengt-Åke Lundvall zu, nannte aber keine Quelle (vgl. Freeman (1995), S. 5). Gleichzeitig wies er darauf hin, dass schon 1841 Friedrich List in seinem Buch „Das nationale System der politischen Oekonomie“ ähnliche Überlegungen anstellte, auch wenn er es anders formulierte (vgl. z. B. List (1841), S. 18–28). Lundvall veröffentlichte sein Werk „National Systems of Innovation“ zwar erst 1992, schrieb aber im Vorwort, dass seine ersten Skizzen für das Buch auf das Jahr 1986 zurückgingen, also noch vor der Veröffentlichung von Freeman lagen. Vgl. Lundvall (1992), S. xii.

³⁸⁹ Freeman (1987), S. 1. „Das Netzwerk von Institutionen im öffentlichen und privaten Sektor, deren Aktivitäten und Wechselwirkungen neue Technologien initiieren, einführen, modifizieren und unterbreiten, kann als ein ‚das nationale Innovationssystem‘ beschrieben werden“. Übersetzung von Grupp u. a. (2002), S. 51.

³⁹⁰ Dies trifft z. B. auf die NC-Technologie zu, die in den USA zwar erfunden wurde, von anderen Ländern wie z. B. Japan und der Bundesrepublik Deutschland aber aufgegriffen und weiterentwickelt wurde. Vergleiche hierzu auch die folgenden Kapitel.

³⁹¹ Arbeiten über das deutsche Innovationssystem veröffentlichten z. B. Buschmann (2012), Grupp u. a. (2002), Grupp (2006), Keck (1993), Trischler (2001), Trischler (2007) und Wengenroth (2001).

³⁹² Forschung und Entwicklung.

³⁹³ Vgl. Grupp (2006), S. 114.

schungsprogrammen verbunden war. Relevant für die Produktionstechnik waren besonders folgende „Forschungsprogramme“ (vgl. hierzu Kapitel 4.9.5):

- Die Aufstockung der DFG-Mittel für die Grundlagenforschung. Damit wurden ab Ende der 1960er Jahre Sonderforschungsbereiche (SFBs) finanziert, in denen mehrere Hochschulinstitute zusammenarbeiteten.
- Das Verbundprojekt Prozeßlenkung mit Datenverarbeitungsanlagen (PDV), in dem industrielle Anwendungen für die neuen Prozessrechner untersucht wurden.
- Das Projekt Humanisierung des Arbeitslebens (HdA), mit dem durch technische Lösungen zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen beigetragen werden sollte.

Während von der DFG und aus dem Projekt PDV größere Beträge in die Werkzeugmaschinenforschung flossen, wurden im Projekt HdA nur wenige Entwicklungen für Werkzeugmaschinen gefördert, da die Arbeit an Werkzeugmaschinen im Vergleich zu anderen Arbeitsgebieten körperlich nur wenig anstrengend war (vgl. Kapitel 4.3).

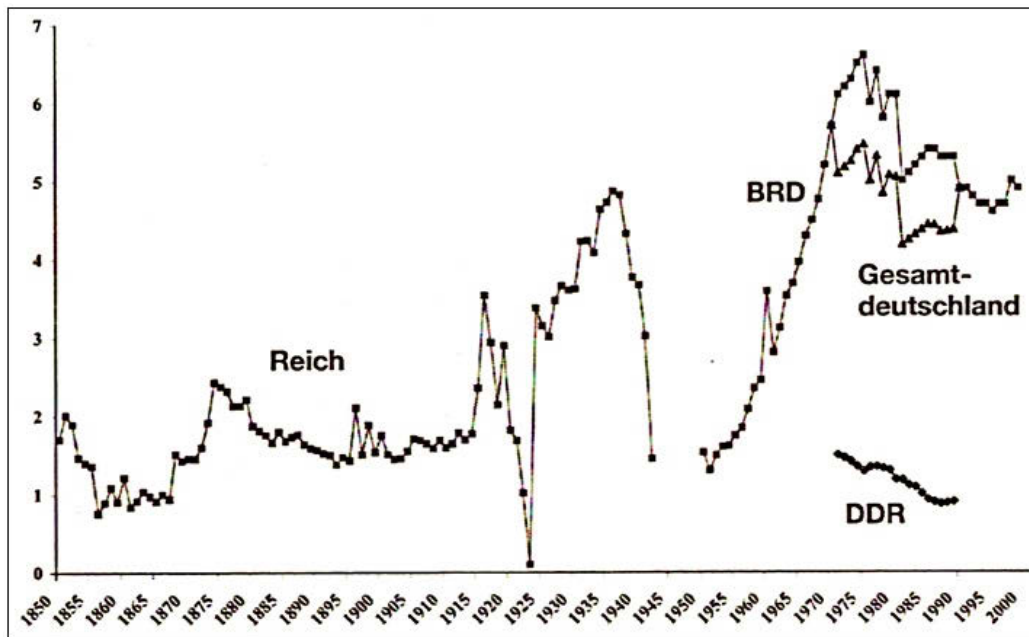


Abbildung 24: Wissenschaftsausgaben in % des öffentlichen Gesamthaushalts³⁹⁴

Nachdem der Hochschulausbau weitgehend abgeschlossen war, kam es zu einem Rückgang der Wissenschaftsausgaben um etwa ein Prozent. Von 1970 bis zur Wiedervereinigung liegen auch Werte aus der DDR vor, die deutlich niedriger als in der BRD waren. Die gewichtete Summe der Werte führte deshalb zu einem prozentualen Rück-

³⁹⁴ Bildquelle: Grupp (2006), S. 115. Als Datenquelle seiner Grafik gibt Grupp Pfetsch (1982), Anm. 13, das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Recherchen und Schätzungen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) und des Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) an, wobei der Verfasser in Anm. 13 bei Pfetsch keinen Zusammenhang mit der Grafik sieht. Die anderen Quellenangaben sind auch sehr ungenau. Trotzdem geht der Verfasser davon aus, dass die Grafik die Verhältnisse zutreffend wiedergibt.

gang der Wissenschaftsausgaben, der erst nach der Wiedervereinigung durch den Nachholbedarf der DDR ausgeglichen wurde.³⁹⁵

Ein nennenswerter Teil der Wissenschaftsausgaben floss nach dem Zweiten Weltkrieg in Forschungsprojekte zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der westdeutschen Wirtschaft. Dazu gehörten auch Forschungsprojekte in der Produktionstechnik, bei der die BRD auch heute noch eine hervorragende Position einnimmt. Auf einige der im Untersuchungszeitraum geförderten Projekte wird im Kapitel 4.9 näher eingegangen.

Der zweite Innovationsindikator bei Grupp war die wissenschaftliche Tätigkeit, die er an der Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen gemessen hat. Abbildung 25 zeigt das Wachstum der gesamtdeutschen Publikationstätigkeit nach dem Zweiten Weltkrieg. Mit Ausnahme einer kurzen Zeitspanne zwischen 1989 und 1991, die Grupp mit der Abwicklung des ostdeutschen Wissenschaftssystems nach der Wiedervereinigung erklärte, nahmen die Publikationen kontinuierlich zu. Auffallend war die deutliche Zunahme der Publikationen zwischen 1965 und Anfang der 1980er Jahre. Grupp führte den Anstieg auf Nachholeffekte durch die Aufhebung von Restriktionen in bestimmten Forschungsbereichen durch die Alliierten und auf Verzögerungen beim Wiederaufbau des deutschen Wissenschafts- und Innovationssystems zurück.³⁹⁶

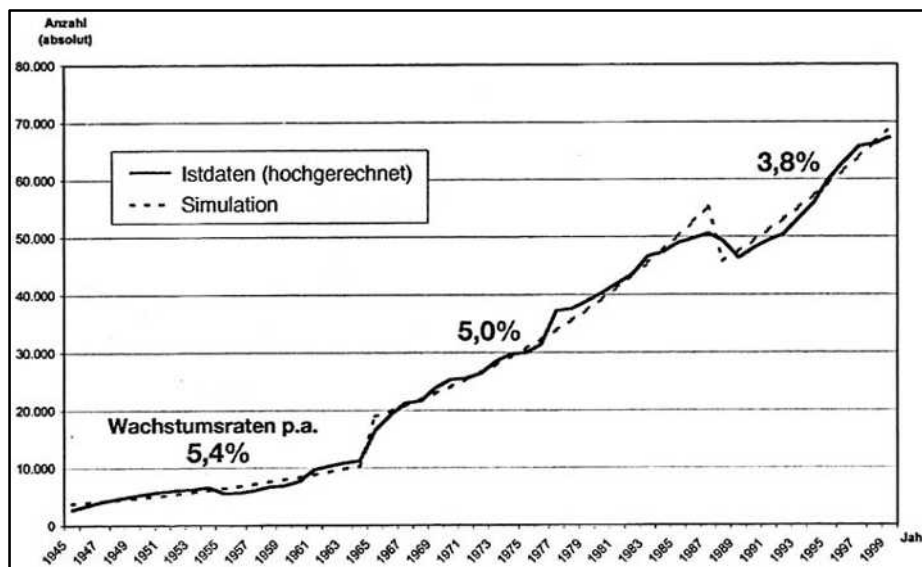


Abbildung 25: Entwicklung der Publikationstätigkeit in Deutschland³⁹⁷

³⁹⁵ Vgl. Grupp (2006), S. 114–115.

³⁹⁶ Vgl. Grupp (2006), S. 118–120.

³⁹⁷ Bildquelle: Grupp (2006), S. 119. Als Datenquelle seiner Grafik gibt Grupp den „Science Citation Index“ (SCI) und Berechnungen und Hochrechnungen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) und des Instituts für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) in Karlsruhe an. Allerdings sind die in der Grafik angegebenen Zuwachsraten der jeweiligen Abschnitte nicht nachvollziehbar. Es ist unklar, wie Grupp die Sprünge einrechnet. Eine Nachberechnung brachte kein eindeutiges Ergebnis.

Der dritte wichtige Innovationsindikator bei Grupp war das Verhältnis des FuE-Anteils des Staates zu dem der Wirtschaft (Abbildung 26). Wie die Grafik zeigt, erhöhte sich der Anteil der Wirtschaft an den gesamten FuE-Aufwendungen unter Schwankungen von etwa 40 % (1948) auf etwa 60 % im Jahr 2000, während der Anteil des Staates um den gleichen Betrag zurückging. Dies, obwohl sich der prozentuale Anteil der staatlichen Wissenschaftsaufwendungen am Haushalt bis zur Wiedervereinigung kontinuierlich erhöht hatte (Abbildung 24). Erklärt werden kann diese Verschiebung mit der langen Tradition der deutschen Industrieforschung, die schon Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts besonders stark ausgeprägt war.³⁹⁸ Die Unternehmen besannen sich auf diese Tradition, als sie durch das starke Wirtschaftswachstum in der Nachkriegszeit wieder über ausreichende Mittel verfügten, ihre FuE-Ausgaben noch stärker als der Staat anzuheben.

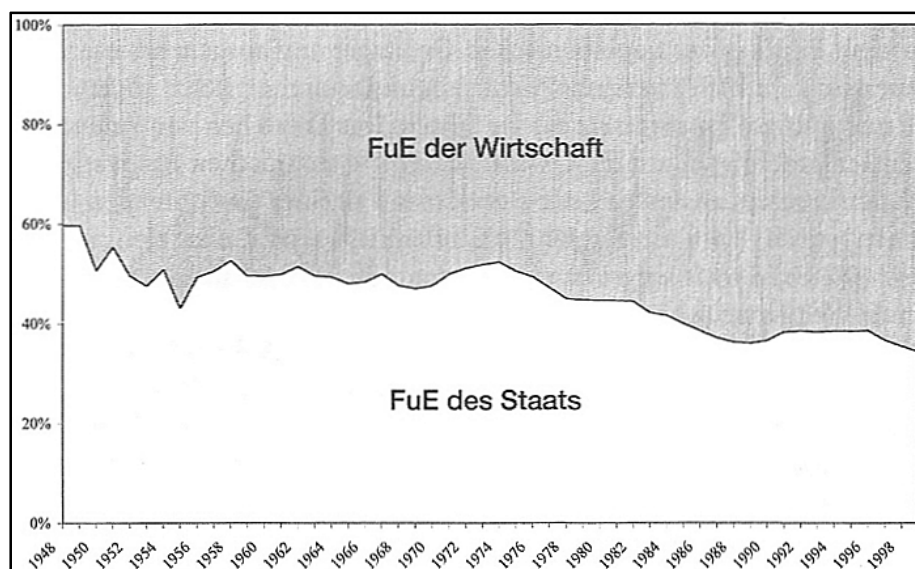


Abbildung 26: Entwicklung der FuE-Aufwendungen von Staat und Wirtschaft ab 1948³⁹⁹

Der vierte und letzte wichtige Innovationsindikator bei Grupp war die Erfindertätigkeit, die sich in den Patentanmeldungen spiegelte (Abbildung 27). Am Kurvenverlauf fällt auf, dass abgesehen von den Einbrüchen des Ersten und Zweiten Weltkriegs und einer Spitze in den 1920er Jahren die Patentanmeldungen seit dem Beginn des Ersten Weltkriegs im Unterschied zu den Publikationen (Abbildung 25) nur ein sehr geringes Wachstum hatten. Deutschland nimmt aber trotz dieser „Stagnation“ mit etwa 50.000 bis 60.000 jährlichen Patentanmeldungen immer noch einen Spitzenplatz pro Beschäftigtem ein. Grupp führte den Rückgang der Patentintensität (konstante Patentanmel-

³⁹⁸ Vgl. Grupp (2006), S. 121.

³⁹⁹ Bildquelle: Grupp (2006), S. 121. Als Datenquelle seiner Grafik gibt Grupp das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berechnungen und Schätzungen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) und des Instituts für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) an. Die Grafik weist zwischen 1962 und 1990 eine hohe Übereinstimmung mit einer Tabelle von Trischler auf. Vgl. Trischler (2001), Tab. 1 S. 52.

dungen trotz hohen Wirtschaftswachstums) auf ein ökonomisches Kalkül zurück, ohne dieses näher zu erklären.⁴⁰⁰

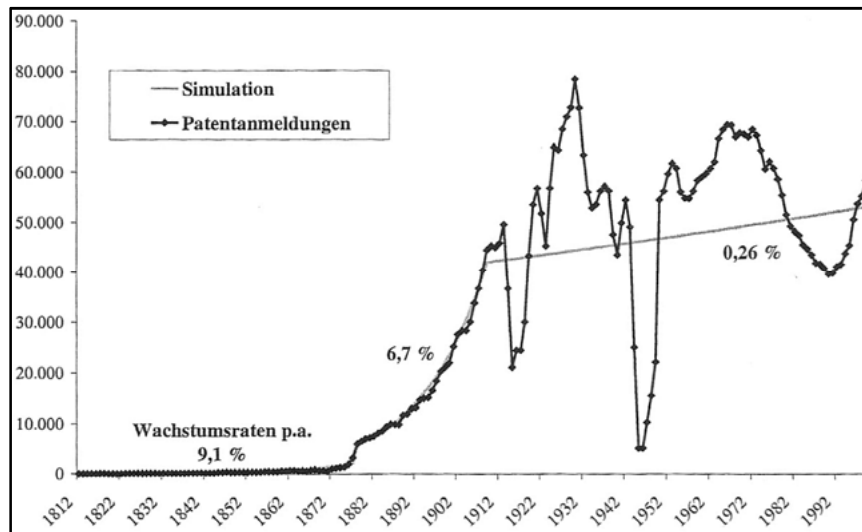


Abbildung 27: Patentanmeldungen in Deutschland ab 1812⁴⁰¹

Es stellt sich noch die Frage, welche Auswirkungen Innovationen auf das Wirtschaftswachstum bzw. die Wirtschaft haben. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze. Siemens z. B. stellte sich in Werbeschriften der 1970er Jahre gern als innovatives Unternehmen dar und betonte, dass der Umsatz fast zur Hälfte von Erzeugnissen getragen wird, die vor fünf Jahren noch nicht auf dem Markt waren.⁴⁰² Etwas andere Kriterien legte Keck an. Für ihn zeigten sich die Stärken einer Volkswirtschaft bzw. des Innovationssystems besonders in den Wirtschaftszweigen, die hohe Exportüberschüsse erzielen. Im Jahr 1988 waren das vor allem die chemische und pharmazeutische Industrie, der Maschinen- und Anlagenbau und die Automobilindustrie. Bei diesen Industriezweigen übertrafen die Exporte die Importe bis zum Dreifachen.⁴⁰³ Grupp u. a. kamen bei ihren Auswertungen zum Schluss, dass ungefähr 50 % des Wirtschaftswachstums auf Innovationen beruht.⁴⁰⁴ Dies traf auch auf die Werkzeugmaschinenindustrie zu, wie Milberg in seinem Nachruf auf Spur betonte:

In den 60er-Jahren waren die Amerikaner führend im Werkzeugmaschinenbau – man pilgerte in die USA. Dieses Bild hat sich in den 70er-Jahren zugunsten der Bundesrepublik gewandelt. Die neuen Wettbewerber wurden dann die Japaner und sie sind es heute noch.

⁴⁰⁰ Vgl. Grupp (2006), S. 122–123. Ein Teil des fehlenden Zuwachses kann damit erklärt werden, dass Patente manchmal nicht angemeldet werden, wenn die geforderte Dokumentation den Nachbau oder die Umgehung eher begünstigt als hemmt. Darauf wurde der Verfasser in seinem Berufsleben öfter hingewiesen. Hinzu kommen natürlich wirtschaftliche Überlegungen. Wenn die Patentkosten höher als der mögliche wirtschaftliche Schaden sind, wird ein Patent nicht angemeldet.

⁴⁰¹ Bildquelle: Grupp u. a. (2002), S. 81. Grupp gibt hier keine Datenquelle an.

⁴⁰² Vgl. Siemens AG (ca. 1974), S. 33.

⁴⁰³ Vgl. Keck (1993), Tabelle 4.4, S. 134.

⁴⁰⁴ Vgl. Grupp u. a. (2002), S. 102.

Das Erstarken der deutschen Produktionstechnik ist zweifellos mit ein Verdienst von Günter Spur und natürlich auch von vielen anderen Mitgliedern der Wissenschaftlichen Gesellschaft Produktionstechnik, allen voran Herwart Opitz in Aachen.⁴⁰⁵

Auch die Stuttgarter Zeitung betonte kürzlich die Wichtigkeit von Innovationen und beklagte, dass in Baden-Württemberg in den 2010er Jahren Innovationen wegen der guten Konjunktur vernachlässigt worden seien und dies die langfristige Wettbewerbsfähigkeit gefährde.⁴⁰⁶

Grupp beschäftigte sich auch mit der Frage, wie sich die Innovationssysteme in der BRD und DDR bis zur Wiedervereinigung auseinanderentwickelt hatten. Er stellte fest, dass die strukturellen Unterschiede geringer waren als erwartet, da beide deutsche Staaten ähnliche industrielle Schwerpunkte hatten, was das Zusammenwachsen der Innovationssysteme erleichterte:

Vor allem aber fällt auf, dass das deutsche Innovationssystem trotz mehrerer politischer Systemwechsel im vergangenen Jahrhundert von einer bemerkenswerten Struktur-Persistenz ist“ [...] „Selbst eine Einmauerung des Teilsystems in der ehemaligen DDR und seine Unterwerfung unter kommunistischen Kurs konnten wenig an den grundsätzlichen Orientierungen ändern (wohl aber an der Effizienz des Systems).⁴⁰⁷

Buschmann kam für den Teilbereich des Maschinenbaus zu ähnlichen Ergebnissen. Er stellte in beiden deutschen Staaten starke Kontinuitäten der Forschungsschwerpunkte und eine Verschiebung von der Hochschulforschung zur mehr anwendungsorientierten, außeruniversitären Forschung fest. Speziell bei der NC-Technik hatten sowohl die BRD als auch die DDR anfangs ähnliche Schwierigkeiten und Erfolge im Umgang mit der neuen Technologie, wenn auch die DDR dann im weiteren Verlauf wegen ihrer fehlenden internationalen Vernetzung zurückfiel.⁴⁰⁸

Nach den allgemeinen Betrachtungen zum deutschen Innovationssystem soll nun ausgehend von den Akteuren das produktionstechnische Innovationssystem im Untersuchungszeitraum betrachtet werden, das Spur und Eßer 2013 „Innovationssystem Produktionstechnik“⁴⁰⁹ nannten und dessen Struktur sich seit dem Untersuchungszeitraum nur wenig verändert hat.

Wichtige Akteure des produktionstechnischen Innovationssystems waren die Technischen Hochschulen und Universitäten mit ihren Instituten. Deren Leiter arbeiteten in der „Hochschulgruppe Fertigungstechnik“ (HGF) zusammen, die sich 1987 in „Wis-

⁴⁰⁵ Milberg (2015?), S. 6–7.

⁴⁰⁶ Vgl. Nowak (2020).

⁴⁰⁷ Grupp (2006), S. 131.

⁴⁰⁸ Vgl. Buschmann (2012), S. 42–43.

⁴⁰⁹ Spur/Eßer (2013).

senschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik“ (WGP) umbenannte (vgl. Kapitel 4.9.5).⁴¹⁰ Indirekt gehören auch die Fraunhofer Institute für Produktionstechnik dazu, über die ein Großteil der anwendungsorientierten Forschung abgewickelt wird. Sie sind mit den produktionstechnischen Hochschulinstituten auf der Leitungsebene oft in Personalunion verbunden.

Ein weiterer wichtiger Akteur war der Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW, vgl. Kapitel 4.10). Dieser hatte als Interessenvertretung der Werkzeugmaschinenhersteller seit seiner Gründung enge Beziehungen zur HGF und vergab über die Jahre viele Forschungsaufträge mit übergeordnetem Interesse an die Hochschulen. Allerdings stand die Mehrheit der vom VDW repräsentierten westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller bis weit in die 1960er Jahre der NC-Technologie skeptisch gegenüber und bestimmte damit die anfangs ablehnende Politik des VDW zur NC-Technik. Allerdings gab es auch Ausnahmen, wie zum Beispiel in Baden-Württemberg die Firmen Gebr. Heller, Burkhardt und Weber, Hüller und die Gebr. Boehringer, die schon vor Mitte der 1960er Jahre NC-Maschinen anboten, also eindeutig eine andere Position hatten. Diese Firmen unterstützten auch Mitarbeiter, die sich in der ADB des VDI für die Normung der NC-Technik engagierten. Dank ihres Engagements wurden schon ab Anfang der 1960er Jahre die ersten VDI-Richtlinien zur NC-Technik erarbeitet.⁴¹¹ Erst gegen Ende der 1960er Jahre hatte der VDW seine Politik grundsätzlich geändert und erst Ende der 1970er Jahre war die NC-Technik so weit etabliert, dass fast alle westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller NC-Maschinen in ihrem Fertigungsprogramm hatten (vgl. hierzu auch Kapitel 5).

Besonders in der Anfangsphase der NC-Einführung spielte der schon genannte Verein Deutscher Ingenieure (VDI, vgl. Kapitel 4.10) eine wichtige Rolle, insbesondere mit seiner Fachgruppe „Arbeitsgemeinschaft der Betriebsingenieure“ (ADB). Diese befasste sich in ihrem 1955 gegründeten Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ mit den Potenzialen der Automatisierungstechnik. Um die Fragen zur aufkommenden NC-Technik zu beantworten, wurde der Unterausschuss „Informationsverarbeitung“ (vgl. Kapitel 4.10) gegründet. In diesem arbeiteten insbesondere die Werkzeugmaschinen- und Steuerungshersteller zusammen, um erste VDI-Richtlinien für die noch junge Technologie zu erarbeiten. Das Ziel war, möglichst schnell Standards für die wichtigsten Schnittstellen der NC-Maschinen festzulegen.

⁴¹⁰ Die für die NC-Entwicklung wichtigen Hochschulinstitute einschließlich der HGF/WGP werden im Kapitel 4.9 ausführlich vorgestellt.

⁴¹¹ Rohs von den Gebr. Boehringer bestätigte seine Mitarbeit im ADB Unterausschuss Informationsverarbeitung im Interview. Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 17. Im Archiv von Heller wurde ein Sitzungsprotokoll gefunden (leider ohne Verteiler), sodass auch bei Heller von einer Mitarbeit ausgegangen werden kann. Vgl. Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Ordner: VDI-Steuerungsausschuß; VDI, Fachgruppe Betriebstechnik (14.07.1964).

Ein kleinerer Akteur war die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF). In dieser hatten sich mittelständische Forschungsvereinigungen zusammenschlossen, um gemeinsam übergeordnete Forschungsvorhaben durchzuführen. Die Gründung der AiF im Jahr 1954 wurde von den Hochschulprofessoren der Fertigungstechnik Opitz und Kienzle unterstützt; der VDW wurde 1962 Mitglied. Nach einer Übersicht der HGF-Institute wurden 1985 immerhin etwa 5 % der HGF-Forschungen über AiF-Mittel finanziert.⁴¹² Den größten Teil der Forschungsmittel der AiF finanziert seit 1958 das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi).⁴¹³

Einer der wichtigsten Geldgeber und Akteure für die produktionstechnische Forschung im Untersuchungszeitraum war das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), wobei der Name an dieser Stelle als Synonym verwendet wird, da die Bezeichnung des Ministeriums sich mehrfach änderte.⁴¹⁴ Das BMBF unterstützte seit seiner Gründung die Grundlagenforschung der Universitäten mit Fördermitteln, die über Projektträger wie die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) vergeben wurden. Ab den 1970er Jahren wurde die Grundlagenforschung durch die Förderung von Verbundprojekten ergänzt, bei der über zusätzliche Projektträger gemeinsame Forschungsprojekte von Industrie und Hochschulen gefördert wurden.⁴¹⁵ Auch das über die DFG geförderte Großprojekt HdA zählte dazu, auch wenn der produktionstechnische Schwerpunkt bei der Roboter- und Handhabungstechnik lag. Voraussetzung für die Förderung von Verbundprojekten war, dass sich die Industrie mit eigenen Mitteln an dem Vorhaben nennenswert beteiligte. Damit sollte erreicht werden, dass nur Vorhaben unterstützt wurden, an denen die Industrie Interesse hatte, d. h. einen Markt sah.⁴¹⁶

⁴¹² Vgl. Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik (1987), S. 74.

⁴¹³ Vgl. Projektliste Böttger (1993), S. 79–84.

⁴¹⁴ Das heutige Bundesministerium für Bildung und Forschung wurde 1955 als Bundesministerium für Atomfragen (BMAf) gegründet. 1957 erfolgte die Umbenennung in Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft (BMAfW) und 1961 in Bundesministerium für Atomkernenergie (BMAf). 1962 erfolgte eine erneute Namensänderung in Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung (BMwF). 1969 erfolgte eine erneute Namensänderung in Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (BMBW). Ab 1972 kam für die als immer wichtiger erachtete Forschungsförderung das Bundesministerium für Forschung und Technologie dazu (BMFT). Beide Ministerien wurden dann 1994 zum Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie zusammengelegt (BMBF). 1998 wanderte die Abteilung Technologiepolitik ins Wirtschaftsministerium. Dies führte zu einer erneuten Namensänderung in Bundesministerium für Bildung und Forschung. Vgl. Weingart/Taubert (2006), S. 11.

⁴¹⁵ An den Verbundprojekten konnten sich auch die kleineren und mittleren Unternehmen beteiligen, d. h. über die Verbundprojekte wurden Forschungsmittel auch für die Werkzeugmaschinenhersteller einfacher zugänglich. Dies passte auch zum Zeitgeist, der sich in der ersten Hälfte der 1970er Jahre mehr den kleinen und mittleren Unternehmen als innovationspolitischen Hoffnungsträgern zuwandte. Vgl. Trischler (2001), S. 63.

⁴¹⁶ Ein wichtiges Projekt der Verbundforschung im Umfeld der Werkzeugmaschinen war das 1971 gestartete PDV-Projekt, in dem u. a. Flexible Fertigungssysteme gefördert wurden. Vgl. Bey (1975), S. 213.

Ein weiterer Akteur war die IG Metall. Diese gründete 1956 die dem Vorstand unterstellte Abteilung „Automation und Kernenergie“, die sich mit den Folgen der Automatisierung für die Mitglieder der IG Metall beschäftigte. Über Automatisierungstagungen, Mitarbeit in Gremien und Unterstützung von Studien nahm die IG-Metall Einfluss auf die Entwicklung der Automatisierung und der NC-Technik (vgl. hierzu Kapitel 8.2). Durch ihre Mitarbeit und ihr Engagement wollte die IG Metall erreichen, dass möglichst wenige ihrer Mitglieder (Facharbeiter) ihren Arbeitsplatz durch NC-Maschinen verlieren.

Die Industrie- und Handelskammern (IHK) tragen als Interessenvertretung der gewerblichen Wirtschaft Mitverantwortung für die gewerbliche Ausbildung in ihren Mitgliedsbetrieben. Bereits Anfang der 1970er Jahre gab es deshalb z. B. im Bildungszentrum Grunbach der IHK Stuttgart erste Überlegungen, Facharbeitern Weiterbildungsangebote für die NC-Technik zu machen und die NC-Technik über Gremienarbeit in die offizielle Lehrlingsausbildung der Metallberufe zu integrieren (vgl. hierzu Kapitel 8.1.3).

Das Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW)⁴¹⁷ beschäftigte sich mit der Wirtschaftlichkeit von Technologien und arbeitete eng mit der IG Metall und dem Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) zusammen. Im Untersuchungszeitraum förderte es einige Untersuchungen, die sich mit der Zukunftsfähigkeit der NC-Technik beschäftigten (vgl. hierzu Kapitel 4.8).

Die letzten wichtigen Akteure waren die großen westdeutschen Elektrokonzerne. Diese standen der NC-Technik positiver gegenüber als die Werkzeugmaschinenhersteller, denn sie erhofften sich durch den Verkauf von NC-Steuerungen und den dazugehörigen Antrieben höhere Umsätze. Sie begannen ihre Entwicklungen Ende der 1950er Jahre, schätzten in den ersten Jahren der NC-Technik aber den Bedarf und das jährliche Umsatzwachstum zu hoch und den Entwicklungsaufwand zu niedrig ein. Einige Anbieter zogen sich deshalb wegen fehlender Wirtschaftlichkeit bis Anfang der 1970er Jahre wieder zurück. Es kamen aber auch immer wieder neue Anbieter dazu, vor allem als Ende der 1970er Jahre durch die rechnerbasierten CNC-Steuerungen und die sinkenden Preise die Stückzahlen deutlich anzogen (vgl. Kapitel 4.11).

Alle genannten Akteure arbeiteten eng zusammen und bildeten ein Netzwerk, das produktionstechnische Innovationssystem. Abbildung 28 zeigt seine grobe Struktur Anfang der 1970er Jahre, da erst zu diesem Zeitpunkt das erste produktionstechnische

⁴¹⁷ Das RKW wurde 1921 als „Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit in Industrie und Handwerk“ in Berlin gegründet. Das Ziel war es, nach dem Ersten Weltkrieg die deutsche Wirtschaft wieder wettbewerbsfähig zu machen. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde das RKW 1950 als „Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft“ mit der prinzipiell gleichen Zielsetzung neu gegründet. Vgl. o. V. (1971a), S. 142 und 150.

Fraunhofer Institut in Stuttgart und der Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die produktionstechnische Verbundforschung dazukamen. Die anderen Akteure arbeiteten schon ab Anfang der 1950er Jahre zusammen, beschäftigten sich jedoch erst ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahre intensiver mit der NC-Technik.

Die NC-Technik wurde für das produktionstechnische Innovationssystem um 1956 ein Thema. Auslöser war das AWK, auf dem die NC-Technik in Westdeutschland erstmals vor einem größeren Fachpublikum vorgestellt und diskutiert wurde (vgl. Kapitel 4.5). Letztlich entscheidend für die erfolgreiche Zusammenarbeit bzgl. der NC-Technik war, dass ab Mitte der 1960er Jahre an den Hochschulen wichtige Lehrstühle mit Unterstützern der NC-Technik besetzt waren und ab Ende der 1960er Jahre zusätzliche Forschungsgelder des Bundes für Sonderforschungsbereiche und die Verbundforschung zur Verfügung standen (vgl. Kapitel 4.9.) Als Folge wurde die produktionstechnische Forschung stark ausgebaut, was an den stark ansteigenden Mitarbeiterzahlen der Hochschulinstitute und ihrer angeschlossenen Institute (z. B. Fraunhofer-Institute) sichtbar wurde. Auch durch die an den Hochschulen ausgebildeten „NC-Ingenieure“, die nach Abschluss ihrer Ausbildung oft in leitende Positionen bei Werkzeugmaschinenherstellern und Endkunden wechselten, nahmen die Forschungsaufträge an den Hochschulen weiter zu. Dadurch entstand in den 1970er Jahren ein dichtes Netzwerk, das sich quasi selbst verstärkte und Ende der 1970er Jahre eine beachtliche Größe erreicht hatte und sich bis heute auf diesem hohen Niveau gehalten hat.

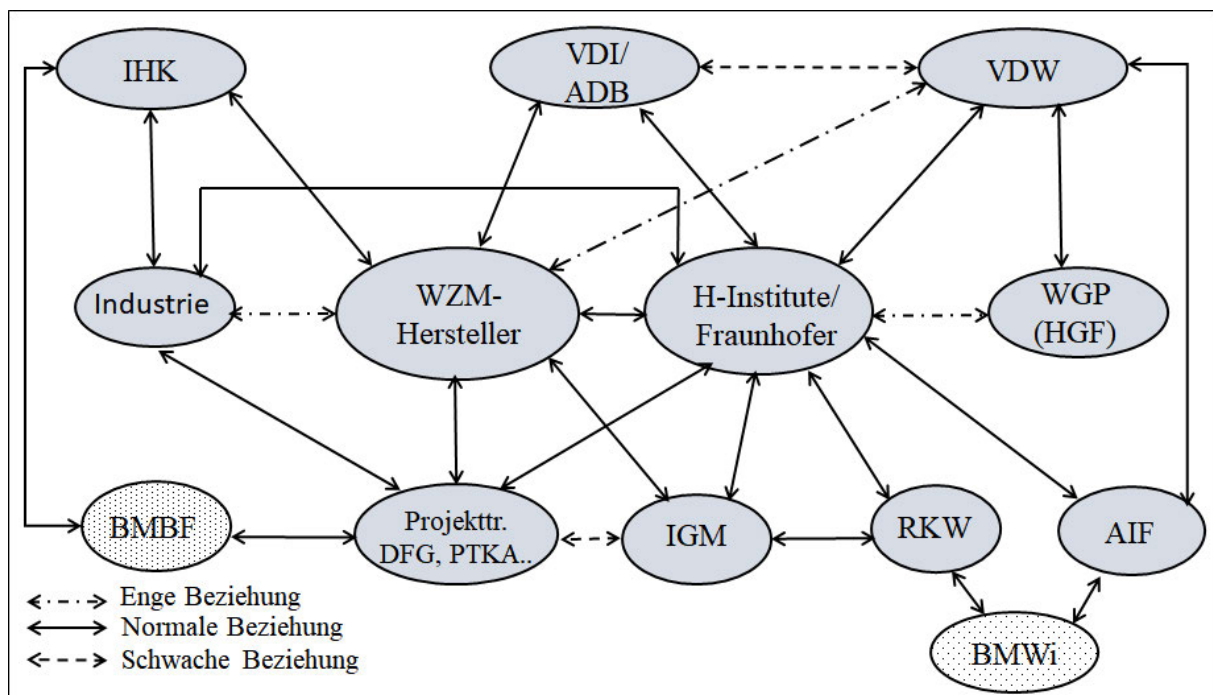


Abbildung 28: Netzwerk des produktionstechnischen Innovationssystems ab 1970⁴¹⁸

⁴¹⁸ Bildquelle: Eigene Darstellung.

Die Größe des und die enge Zusammenarbeit im produktionstechnischen Innovationssystem führten zu Entwicklungen und Forschungsergebnissen, die sich stark am Bedarf der Endanwender orientierten. Dadurch verbesserte sich die Wettbewerbsposition der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie auf dem Weltmarkt, was ein Grund dafür war, dass ab Anfang der 1980er Jahre die Umsätze der westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller dauerhaft höher als die der US-Mitbewerber waren. Auf die Details wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

4.5 Erste Forschungen und Entwicklungen zur NC-Technik in den 1950er Jahren in der BRD

Als erstes westdeutsches Hochschulinstitut beschäftigte sich das WZL in Aachen mit NC-Steuerungen. Sein Leiter Opitz hatte gute Kontakte zum MIT in den USA und kannte die dortige NC-Entwicklung. Um Informationen aus erster Hand zu erhalten, schickte er 1952 seinen Mitarbeiter Hucks zum MIT, um die dort entwickelte NC-Maschine kennenzulernen.⁴¹⁹ Mit den gewonnenen Erkenntnissen baute das WZL ein Modell einer NC-Maschine, das 1955 auf der Tagung Feinbearbeitung in Aachen einem kleinen Kreis gezeigt wurde.⁴²⁰

Auf dem AWK 1956 wurde über die NC-Technik erstmals vor einem breiten Fachpublikum berichtet. Es gab zwar noch keinen eigenständigen NC-Vortrag, aber zwei Referenten griffen das Thema auf. Milton C. Shaw vom MIT stellte in seinem Vortrag „Anforderungen an Werkzeugmaschinen der Zukunft“ u. a. das Funktionsprinzip einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine vor, das er als „Automatische Steuerung“ bezeichnete.⁴²¹ Im Vortrag „Automatisierung der Werkzeugmaschinen als Ziel der Fertigungstechnik“ berichtete Steeger über den Entwicklungsstand in den USA und ging dabei ausführlich auf die „Numericord-Steuerung“ von Giddings & Lewis und General Electric ein. Er kam zu dem Schluss:

Die selbsttätige Fertigung ist Wirklichkeit geworden. Wenn wir uns zur Zeit auch noch am Anfang dieser bedeutungsvollen Entwicklung befinden, so sind doch bereits wertvolle Arbeiten geleistet und Erfahrungen gesammelt. Man kann als sicher annehmen, daß in wenigen Jahren große Fortschritte gemacht werden.⁴²²

Auf dem AWK 1956 konnte zwar noch keine westdeutsche Hochschule eigene Forschungsergebnisse vorweisen, über die vor internationalem Publikum berichtet werden

⁴¹⁹ Vgl. Kompe (2006b), S. 62.

⁴²⁰ Vgl. RWTH Aachen (1986), S. 91.

⁴²¹ Vgl. Shaw (1956), S. 678–680.

⁴²² Steeger (1956), S. 688.

konnte, es gab aber am WZL in Aachen (vgl. Kapitel 4.9.1) und am ITW⁴²³ in Darmstadt (vgl. Kapitel 4.9.2) schon erste Arbeiten zur NC-Technik. So schrieb Mohr in einem internen Bericht der AEG, dass vom WZL am Rande des AWK Geräte erläutert und vorgeführt wurden, mit denen Tonbänder als „Programmträger“ für Werkzeugmaschinen genutzt wurden.⁴²⁴ Die ersten Arbeiten des WZL mündeten dann in ein vom Land Nordrhein-Westfalen gefördertes Forschungsprojekt über eine Record-Playback-Steuerung für Drehmaschinen,⁴²⁵ also eine Technologie wie die der GE Numericord-Steuerung, die sich in der BRD wie in den USA nicht durchsetzen konnte.⁴²⁶ Zusätzlich beschäftigte sich Jüstel am WZL in seiner Promotion mit programmierbaren NC-Steuerungen.⁴²⁷ Vermutlich als Zwischenergebnis wurde auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover eine Radial-Bohrmaschine der Kölner Firma Hermann Kolb mit einer Steuerung des WZL ausgestellt (vgl. hierzu Kapitel 4.9.1).⁴²⁸

Das zweite Zentrum der frühen westdeutschen „NC-Forschung“ war das von Professor Carl Stromberger geleitete ITW an der TH Darmstadt. 1957 berichtete Stromberger über den Entwicklungsstand der ersten NC-Maschinen in den USA und beschrieb die an seinem Institut auf eine Magnetbandsteuerung umgerüstete Drehmaschine (Abbildung 29), ohne auf Details einzugehen.⁴²⁹ Stattdessen diskutierte er die grundsätzlichen Probleme und ungeklärten Fragen numerisch gesteuerter Maschinen.

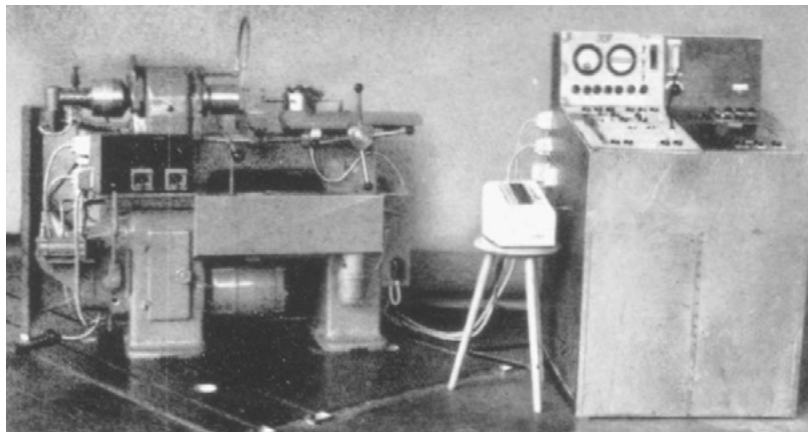


Abbildung 29: Revolverdrehbank am ITW in Darmstadt (um 1957) mit numerischem Zähler⁴³⁰

⁴²³ Institut für spanende Technologie und Werkzeugmaschinen, heute Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt.

⁴²⁴ Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282; Mohr (13.12.56), S. 1 und Uhrmeister (1956).

⁴²⁵ Opitz u. a. (1958).

⁴²⁶ Vergleiche hierzu Kapitel 3.1, insbesondere Fußnote 227.

⁴²⁷ Jüstel (1962).

⁴²⁸ Vgl. Spur (1991), Bild 7.14 S. 530–531. Spur schrieb fälschlicherweise von der Hannover Messe. Die Tabelle in Bild 7.14 bezieht sich aber auf die Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover vom 11. bis zum 20. September 1960.

⁴²⁹ Stromberger (1957).

⁴³⁰ Bildquelle: Stromberger (1957), S. 480.

Im Vergleich zu den damals in den USA schon verfügbaren Maschinen und Steuerungen (z. B. Abbildung 9) war der technologische Rückstand offensichtlich. Aufgebaut hatte die Versuchsmaschine Dr. Wilhelm Simon, seit 1956 Assistent und ab 1958 Lehrbeauftragter für „Antriebe, Steuerung und Regelung von Werkzeugmaschinen“ an Strombergers Institut.⁴³¹ Simon ging drei Monate nach Stromberger in einem Fachaufsatz auf Details seiner Untersuchungen an der Versuchsmaschine ein.⁴³² Danach forschte er hauptsächlich über die Messsysteme, insbesondere über die Zuverlässigkeit der Wegmessung und der dafür erforderlichen Zähler, ein sehr wichtiges Detail bei NC-Maschinen. Kein Forschungsthema waren für ihn die Bahnsteuerungen, wie sie in den USA schon gebaut wurden. Meilensteine seiner Arbeit waren 1960 seine Habilitation über „Steuerungsprobleme moderner Werkzeugmaschinen in kritischer Betrachtung“⁴³³ und 1963 sein Lehrbuch „Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen“. Dieses behandelte auch aus heutiger Sicht schon fast alle technischen Fragestellungen der NC-Technik und war für einige Jahre das deutschsprachige Standardwerk zu dieser Technologie.⁴³⁴ 1971 erschien eine stark überarbeitete Auflage, die in mehrere Sprachen übersetzt wurde.⁴³⁵

Simons Mitarbeiter Hans Werner Politsch promovierte wahrscheinlich als Erster über NC-Steuerungen in Westdeutschland. In seiner Dissertation untersuchte er, inwieweit sich die Erkenntnisse Simons auf den Drehautomaten Pittler Piromat 23 übertragen lassen.⁴³⁶ Durch mehrere Veröffentlichungen Anfang der 1960er Jahre war auch er einer den westdeutschen NC-Pioniere.⁴³⁷

Parallel zu seiner wissenschaftlichen Arbeit war Simon bis Mitte der 1960er Jahre durch eine Vielzahl von Fachartikeln und Vorträgen einer der aktivsten westdeutschen Promotoren der NC-Technik. Deshalb wurde ihm 1959 auch die Leitung des neuen

⁴³¹ Vgl. Simon (1960b), gez. S. 162.

⁴³² Simon (1957a).

⁴³³ Simon (1960b).

⁴³⁴ Simon (1963).

⁴³⁵ Simon (1971).

⁴³⁶ Der Piromat 23 war ein Revolverdrehautomat, auf dem Drehteile programmgesteuert durch eine elektro-hydraulische Nockensteuerung automatisch gefertigt werden konnten. Eine genaue Funktionsbeschreibung der Maschine findet sich in der Dissertation von Politsch. Politsch (1961b), S. 22–38. In seiner Dissertation beschäftigte sich Politsch damit, die Nockensteuerung durch eine Lochstreifensteuerung zu ersetzen und die Verfahrwege durch eine fotoelektrische Abtastung von Strichmaßstäben und deren Auswertung über Zähler erfassen. Politsch wollte damit eine höhere Flexibilität der Maschine erreichen. Ein prinzipieller Funktionsnachweis konnte von Politsch erbracht werden, auch wenn die Versuchsanlage für einen Dauerbetrieb noch nicht geeignet war. Vgl. Politsch (1961b), S. 175–179.

⁴³⁷ Z. B. Politsch (1961a) und Politsch (1964). Nach seiner Promotion war Politsch von 1962–1967 bei BBC Mannheim und war dort zuletzt Leiter der Projektierungsabteilung „Antriebe und Steuerungen von Werkzeugmaschinen und Prüfständen“. Ab 1967 leitete er den deutschen Werkzeugmaschinenvertrieb von Olivetti. Von 1974–1988 war Politsch Vertriebsvorstand beim Werkzeugmaschinenhersteller Deckel AG. Vgl. Politsch (16.01.2016), S. 34.

ADB-Unterausschusses „Informationsverarbeitung“ übertragen.⁴³⁸ Dessen Aufgabe war es, die Schnittstellen der NC-Steuerungen (z. B. den Lochstreifen als Datenträger und die NC-Programmierung) mit VDI-Richtlinien zu standardisieren, um möglichst schnell eine herstellerübergreifende Kompatibilität der Steuerungsschnittstellen zu erreichen (vgl. Kapitel 4.12).

Die großen westdeutschen Elektrokonzerne begannen in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre mit der Entwicklung von NC-Steuerungen (vgl. Kapitel 4.11). Das Ergebnis zeigte sich 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover. Nach Spur stellten in Hannover schon elf westdeutsche Werkzeugmaschinenhersteller NC-Maschinen aus. Die NC-Steuerungen stammten von acht Steuerungsherstellern. Vier Steuerungen hatten die Siemens-Schuckertwerke geliefert und je eine kam von der RWTH Aachen, der BBC, der SEL und der AEG – alle großen westdeutschen Elektrokonzerne waren also mit mindestens einer Steuerung vertreten. Zwei der drei mit ausländischen Steuerungen ausgerüsteten Maschinen hatten eine Steuerung aus den USA, und zwar von Hughes Aircraft bzw. General Electric. Eine Maschine hatte eine Steuerung von EMI-Electronics aus Großbritannien.⁴³⁹ Bei den westdeutschen Steuerungen gab es noch eine Besonderheit. Als einziger Hersteller zeigte die AEG eine selbstentwickelte NC-Bahnsteuerung in Transistortechnik an einer Walzenkalibrierdrehmaschine von Waldrich Siegen (Abbildung 30, im Hintergrund die Steuerung, im Vordergrund die Maschine). Die Steuerung konnte Geraden und Kreisbögen interpolieren (vgl. hierzu auch Kapitel 4.11.1).⁴⁴⁰ Die anderen deutschen Steuerungshersteller zeigten lediglich die technisch weniger anspruchsvollen NC-Streckensteuerungen, die mit Relais aufgebaut waren. Auf die anderen von Spur genannten Maschinen, wie die von Burkhardt & We-

⁴³⁸ Vgl. Zentrum Berlin für Zukunftsforschung (1968), S. 25.

⁴³⁹ Nach Spur waren folgende NC-Maschinen mit Einzelpunktsteuerungen auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover ausgestellt: Bohrwerk von Collet & Engelhard aus Offenbach mit einer Steuerung der Siemens Schuckert Werke (SSW); Bohrwerk von Scharmann & Co aus Rheydt mit einer SSW-Steuerung; Bohrwerk der Berliner Maschinenfabrik mit einer SSW-Steuerung; Revolver Bohr- und Fräsmaschine von Heller, Nürtingen, mit einer SSW-Steuerung; Radialbohrmaschine von Hermann Kolb in Köln mit einer Steuerung der RWTH Aachen; Revolverbohrmaschine von Karl Hüller in Ludwigsburg mit einer GE-Steuerung; Senkrecht-Fräsmaschine der Fritz Werner AG Berlin mit einer BBC-Steuerung; Senkrecht-Fräsmaschinen von Reinhard Bohle in Bielefeld mit einer SEL-Steuerung; Dreiwege-Universalmaschine von Burkhardt & Weber in Reutlingen mit einer Hughes Aircraft Co. Steuerung.

Zwei Maschinen hatten eine Bahnsteuerung: Eine Profilfräsmaschine von Droop & Rein in Bielefeld mit einer Steuerung von EMI-Electronics Ltd. aus Großbritannien und eine Walzenkalibrierdrehbank der Waldrich Siegen GmbH in Siegen mit einer AEG-Steuerung. Vgl. Spur (1991), Bild 7.14 S. 530–531. Ob die Heller-Maschine SBR 32 auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover tatsächlich mit einer SSW-Steuerung oder doch mit einer Heller-Steuerung ausgerüstet war, konnte auch aus anderen Quellen nicht ermittelt werden.

⁴⁴⁰ Vgl. Spur (1991), S. 533. Nach den Erinnerungen von Götz (einem der Entwickler) wurde die Steuerung aufgrund schon erfolgter Vorarbeiten in nur eineinhalb Jahren entwickelt. Nach Götz sollte die mit der NC-Steuerung ausgerüstete Maschine spätestens zum 80. Geburtstag des Seniorchefs von Waldrich-Siegen die ersten Werkstücke im Labor fertigen. Dies gelang auch. Vgl. Götz (24.11.2017), S. 9–10.

ber, wird in Kapitel 5.2 näher eingegangen, auf die von Heller gezeigte Revolver-Bohr- und Fräsmaschine in Kapitel 5.3. Kurzbeschreibungen der restlichen Maschinen finden sich in den Berichten der Fachzeitschriften zur Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover.⁴⁴¹

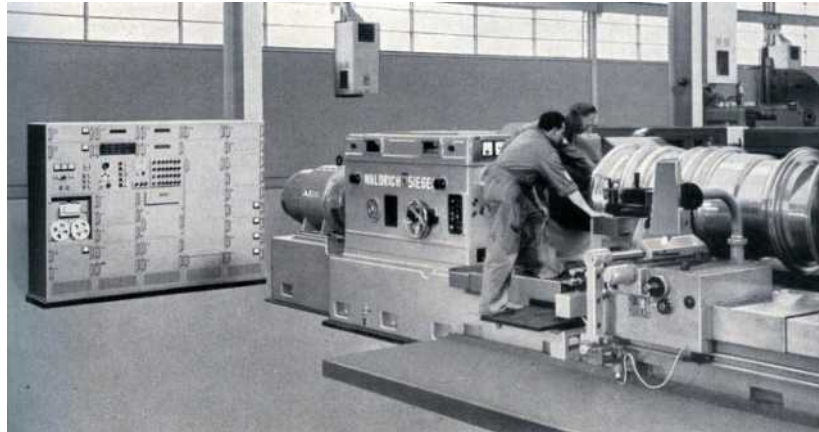


Abbildung 30: Walzenkalibriermaschine von Waldrich Siegen mit AEG-NC-Bahnsteuerung⁴⁴²

4.6 Beginn der westdeutschen NC-Maschinenproduktion

Die westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller nahmen nach und nach NC-Maschinen in ihr Fertigungsprogramm auf, wie die von Messe zu Messe steigenden Ausstellerzahlen zeigten. Die ersten waren Pioniere wie z. B. Heller und Burkhardt & Weber, die schon Ende der 1950er Jahre ihre erste NC-Maschine entwickelten und von denen Heller 1959 mit der SBR 32 die wahrscheinlich erste – wenn auch einfachste – westdeutsche NC-Maschine mit einer selbstentwickelten NC-Steuerung baute⁴⁴³ (vgl. Kapitel 5.3). Auf der anderen Seite gab es aber auch Firmen wie Traub, die erst Ende der 1970er Jahre ihre erste NC-Maschine anboten.⁴⁴⁴

Beeinflusst wurde die Einführung der NC-Maschinen in der BRD neben den wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen auch durch die Struktur der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie um 1960. Diese war damals sehr mittelständisch geprägt und bestand überwiegend aus kleineren Betrieben. So hatten z. B. 1962

⁴⁴¹ Werkstatt & Betrieb (Hesse (1960), Werkstattstechnik (Schatz (1960) und Mathée (1960)) und Industrieanzeiger (Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH Aachen (1960)).

⁴⁴² Bildquelle: Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, I.2.060 AEG-ZS 0284; AEG (1960).

⁴⁴³ Immer wieder ist in der Sekundärliteratur zu lesen, dass die Schiess AG 1957 ein numerisch gesteuertes Bohr- und Fräswerk vorstellte. Vgl. z. B. Schwab (1996), S. 21 und Spur (1991), S. 528. Dafür wurde kein Beleg gefunden. Im Buch zum 100-jährigen Jubiläum der Schiess AG steht hingegen explizit, dass Schiess erst 1960 mit der Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen begann. Vgl. Bauert-Keetman (1966), S. 22.

⁴⁴⁴ Vgl. Zeppelin (1979).

von den etwa 470 Werkzeugmaschinenherstellern um die 75 % nicht mehr als 250 Mitarbeiter. Nur ca. 10 % der Firmen hatten mehr als 500 Mitarbeiter und damit eine Größe, um die Entwicklung von NC-Maschinen ohne großes Risiko finanzieren zu können.⁴⁴⁵ Ähnlich schwierig war die Situation bei den Endkunden, da es noch keine eindeutigen Kriterien gab, um die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen zu beurteilen. Potenzielle Käufer von NC-Maschinen waren deshalb in der Einführungsphase fast nur Kunden, die mit NC-Maschinen Werkstücke herstellen wollten, die mit konventionellen Maschinen nicht oder nur sehr aufwendig zu fertigen waren. Ein weiterer Kundenkreis waren Endanwender mit einem hohen Forschungs- bzw. Investitionsetat. Sie beschafften ihre erste(n) NC-Maschine(n), um durch Untersuchungen herauszufinden, wo sie zukünftig NC-Maschinen wirtschaftlich einsetzen könnten (vgl. hierzu auch Kapitel 6). Spur fasste die schwierige Situation im Rückblick wie folgt zusammen:

Die Ausgangsposition für die Entwicklung dieser Technik war jedoch eine andere als in den Vereinigten Staaten, wo die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in erster Hinsicht für die Rüstungsproduktion bestimmt waren, so daß aufgrund staatlicher Unterstützungen die hohen Entwicklungskosten ausgeglichen werden konnten.

In der europäischen Industrie mußten zunächst die wirtschaftlichen Faktoren im Vordergrund stehen. Die hohen Entwicklungskosten, fehlende Zulieferfirmen mit ausreichenden Erfahrungen für die notwendigen Bauelemente und die Begrenzung des vorhandenen Marktes spielten dabei eine wichtige Rolle. Die potentiellen Abnehmer von Werkzeugmaschinen und besonders in der Bundesrepublik produzierten aufgrund des allgemeinen Nachholbedarfs nach dem Krieg vor allem in mittleren und größeren Serien. Sie vertrauten auf ihre neu geschaffenen konventionellen Maschinen.⁴⁴⁶

Trotz dieser Unsicherheiten nahmen einige Werkzeugmaschinenhersteller das Entwicklungsrisiko auf sich, z. B. wenn Anstöße von Kunden kamen. Beispiele dafür sind die ersten NC-Maschinen von Waldrich Siegen (vgl. Ende Kapitel 4.5) und Burkhardt & Weber (vgl. Kapitel 5.2).⁴⁴⁷

Bei Waldrich Siegen wurde die Entwicklung der Walzenkalibriermaschine und der AEG-NC-Steuerung durch ein neuartiges Maschinenkonzept zur Herstellung kosten-

⁴⁴⁵ Vgl. Leibinger (2014), S. 118–119. Nach Tabelle 4.4 hatten 1962 von den etwa 470 Werkzeugmaschinenherstellern (Abb. 4.2 von Leibinger) 75 % weniger als 250 Mitarbeiter. Nur 10 %, also etwa 47 Betriebe, hatten mehr als 500 Beschäftigte. 1962 waren also etwa 47 Betriebe finanziell in der Lage, in die NC-Technik zu investieren. Tatsächlich waren es nach Abbildung 31 nur sieben, was die anfängliche Zurückhaltung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie bzgl. der NC-Technik bestätigt.

⁴⁴⁶ Spur (1991), S. 523–524.

⁴⁴⁷ Dass die Werkzeugmaschinenhersteller bei der Einführung der NC-Technik sehr zurückhaltend waren, bestätigte im Juli 1962 auch Dr. Volk von den Siemens-Schuckertwerken in einer Besprechung bei den Gebr. Heller in Nürtingen. Er soll gesagt haben, dass die Einführung numerischer Steuerungen bei allen Firmen sehr langsam geht und dass nirgends mehr als Versuchsmaschinen gebaut werden. Vgl. Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Ordner: Eigene Beschreibung über Schwachstromsteuerungen und numerische Steuerungen; Prospekt; Gunsser (05.07.1962), S. 1.

günstiger Leitplankenprofile für Autobahnen und Bundesstraßen ausgelöst;⁴⁴⁸ bei Burkhardt & Weber war es der amerikanische Flugzeug- und Steuerungshersteller Hughes Aircraft Company, der wegen des damals günstigen Wechselkurses des US-Dollars zur DM einen westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller suchte, der für ihn eine hochwertige NC-Maschine nach seinen Vorstellungen baute (vgl. Kapitel 5.2).

Etwas anders war es bei der Firma Ludwigsburger Maschinenbau, auch Burr genannt. Dieser später erfolgreiche Hersteller von Bearbeitungszentren wollte Anfang der 1960er Jahre eigentlich keine NC-Maschinen bauen. Burr bekam aber von seinem Kunden Schnellpresse Heidelberg (später Heidelberger Druckmaschinen) in der ersten Hälfte der 1960er Jahre Aufträge, Maschinenkomponenten für deren selbst entwickelte NC-Maschinen zu liefern. Durch die Weiterentwicklung der Geschäftsbeziehung nahm der Lieferumfang von Burr immer weiter zu. In der zweiten Hälfte der 1960er Jahre hatte Burr dann genügend Know-how, um Bearbeitungszentren auf dem freien Markt unter eigenem Namen erfolgreich anzubieten (vgl. Kapitel 5.4).

Die bis jetzt genannten Hersteller entwickelten ihre ersten NC-Maschinen also nicht aus eigenem Antrieb, sondern wurden von ihren Kunden dazu motiviert. Es gab aber auch Werkzeugmaschinenhersteller, die NC-Maschinen aus eigenem Antrieb entwickelten. Dazu zählte in Baden-Württemberg in erster Linie die Nürtinger Firma Gebr. Heller, die sich in den 1950er Jahren einen Namen mit der Automatisierung von Transferstraßen durch elektrohydraulische Steuerungen in 24 Volt Relaisstechnik gemacht hatte. Heller nutzte dieses Know-how, um Ende der 1950er Jahre die NC-Maschine SBR32 mit einer eigenen NC-Relaissteuerung zu entwickeln. Da Heller-Mitarbeiter traditionell im VDI stark engagiert waren, brachte Heller seine Erfahrungen von Anfang an in den ADB-Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ ein und trug so wesentlich zur Etablierung und Standardisierung der NC-Technik bei (vgl. Kapitel 5.3).

Bei den Gebr. Boehringer war für den Bau der ersten NC-Drehmaschine (1964) entscheidend, dass sowohl der damalige Technische Geschäftsführer Schuler als auch der Konstruktionsleiter Rohs vom WZL in Aachen kamen und eine positive Einstellung zur NC-Technik hatten. Die erste NC-Maschine war aber kein Erfolg, weil sie eine Streckensteuerung hatte, die für eine NC-Drehmaschinen eher ungeeignet war. Erst mit dem innerhalb des VDF abgestimmten zweiten Schritt (1967) und der Umstellung auf Bahnsteuerungen waren die Gebr. Boehringer erfolgreich (vgl. Kapitel 5.1).

Auch der Stanzmaschinenhersteller Trumpf entwickelte seine erste NC-Maschine aus eigener Initiative. Der Konstruktionsleiter Leibinger hatte Ende der 1950er Jahre in den USA beim Werkzeugmaschinenhersteller Cincinnati an Baugruppen für NC-

⁴⁴⁸ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 7.

Maschinen mitkonstruiert und erste Erfahrungen mit NC-Maschinen gesammelt.⁴⁴⁹ Als seiner Meinung nach 1967 Trumpf technisch in der Lage war, NC-Maschinen zu bauen, entwickelte er aus der Kopiernibbelmaschine eine NC-Stanzmaschine.⁴⁵⁰ Diese wurde der Grundstein für die heutige Bedeutung von Trumpf (vgl. Kapitel 5.5).

Es gab aber auch Werkzeugmaschinenhersteller, die sehr lange zögerten, NC-Maschinen anzubieten. Dazu zählten vor allem die Hersteller von kleinen, kompakten Maschinen, da sich bei diesen Maschinen die teure NC-Technik auf den Maschinenpreis prozentual viel stärker auswirkte als bei den großen Maschinen. Beispiele hierfür waren bei den Drehmaschinenhersteller die Firmen Traub⁴⁵¹ und Boley & Leinen⁴⁵², bei den Fräsmaschinenherstellern die Firmen Maho⁴⁵³ und Deckel⁴⁵⁴. Diese Hersteller boten teilweise erst Ende der 1970er Jahre ihre ersten NC-Maschinen an.

Die grafische Übersicht nach Specht/Haak (Abbildung 31) verdeutlicht die Entwicklung. Ab 1963 stieg die Zahl der Hersteller von NC-Maschinen von acht auf 48 an, um

⁴⁴⁹ Vgl. Leibinger (2010), S. 86.

⁴⁵⁰ Vgl. Leibinger (2010), S. 137–140.

⁴⁵¹ Traub stellte 1979 seine erste CNC-Drehmaschine vor. Das Besondere an der Maschine war, dass sie eine leistungsstarke, weitgehend selbstentwickelte Werkstattprogrammierung hatte und sich so aus dem Stand vom Wettbewerb abhob. Vgl. Zeppelin (1979).

⁴⁵² In einem Brief vom 27.2.1978 schrieb der Händler Walter Roser an Boley & Leinen: „Ich stelle immer wieder fest, dass Kunden anfragen nach NC-gesteuerten Drehmaschinen in der Größenordnung 150*800 mm“ (Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW Y022 Ordner Marktuntersuchung 1977–1979; Roser (27.02.1978)). Boley & Leinen antwortete Roser am 10.5.1978: „Es ist sicher richtig, dass der Trend zur NC-Steuerung geht. Wer als erster auf dem Markt ist, ist natürlich am besten dran. Leider muss man sich halt nach seinen Möglichkeiten richten und in unserer Größenordnung ist es natürlich schwierig, da die Steuerungskosten, trotzdem sie wesentlich niedriger geworden sind, immer noch in keinem Verhältnis zum Anschaffungspreis der Maschine sind. Das besagt auch Ihr Hinweis, dass die Kunden nach NC-gesteuerten Drehmaschinen in der Größenordnung 150 × 800 mm fragen, also Größenordnung Heidenreich & Harbeck.“ (Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW Y022 Ordner Marktuntersuchung 1977–1979; Boley & Leinen (27.02.1978)). Boley & Leinen erhielt noch weitere Briefe mit ähnlichem Inhalt. Dies führte dann dazu, dass etwa ein Jahr später für August/September 1980 die Lieferfähigkeit der ersten NC-Drehmaschine LZ 150NC/CNC angekündigt wurde (Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW Y022 Ordner Marktuntersuchung 1977–1979; Boley & Leinen (15.06.1979)).

Ob der späte Einstieg in die NC-Technik eine Ursache für die Insolvenz im Jahr 1986 gewesen ist, war anhand der Unterlagen nicht nachvollziehbar (vgl. Kollmer-von Oheimb-Loup (2005), S. 75).

⁴⁵³ Die erste Maho NC-Maschine MH 900 NC wurde 1975 auf der EMO in Paris ausgestellt. Vgl. Dilling u. a. (1975), S. 590. Nach Koop, der sich auf ein Interview mit Holstein bezieht, war die Maschine mit einer Heckler-&-Koch-Steuerung ausgerüstet, hatte aber keinen Markterfolg. Erst eine auf der METAV 1976 ausgestellte Maschine mit der in Zusammenarbeit mit Heidenhain neuentwickelten TNC 120 und noch mehr die ab der EMO 1977 in Hannover mit der Heidenhain TNC 121 angebotene Maschine waren erfolgreich. Insgesamt wurden über 6.000 mit einer TNC 121 ausgerüstete Maschinen von Maho verkauft. Vgl. Koop (2010), S. 111.

⁴⁵⁴ Die NC-Technik bei Deckel ist eng verknüpft mit dem Anfang 1973 erfolgten Wechsel des technischen Vorstands Hans Kuhnert von den Heidelberger Druckmaschinen als Vorstandsvorsitzender zur Friedrich Deckel AG. Kuhnert war ein leidenschaftlicher Verfechter der NC-Technik. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 22 und Laudatio von Prof. Stute zur Ehrenpromotion von Hans Kuhnert. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 127, Nr. 24; Prof. Stute (23.11.1973).

dann zumindest bis 1971 (unter Einbeziehung von Abbildung 32) bei etwa 50 zu stagnieren.

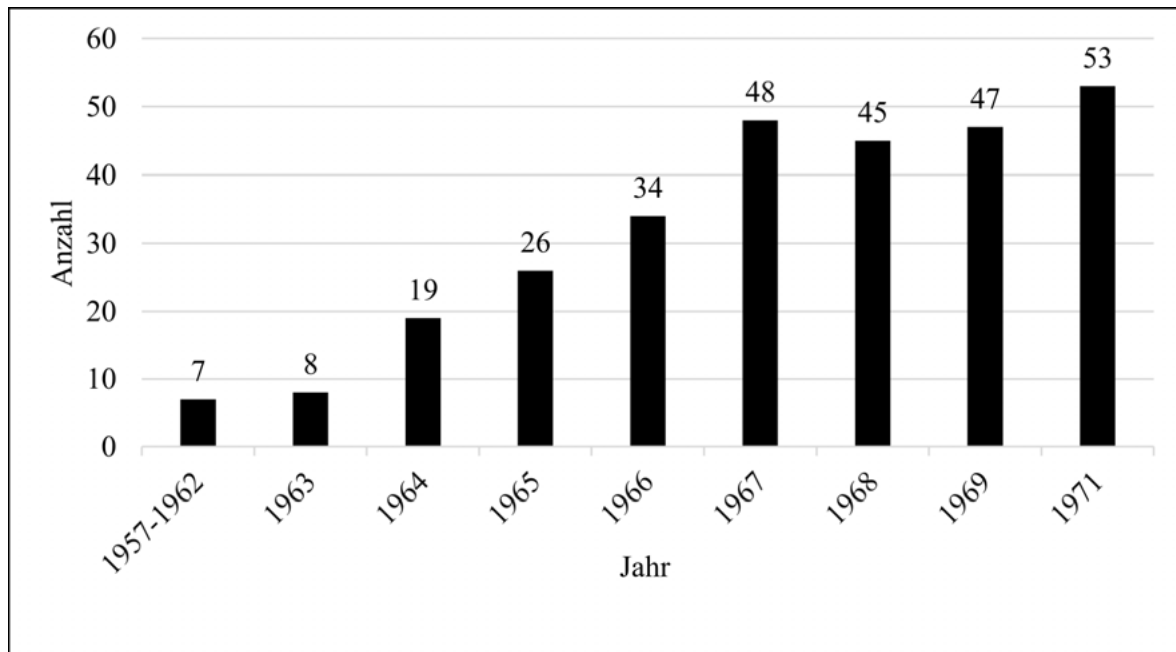


Abbildung 31: Anzahl der westdeutschen NC-Maschinenhersteller zwischen 1957 und 1971⁴⁵⁵

Das bestätigt, dass es in diesem Zeitraum noch viele Werkzeugmaschinenhersteller gab, die für sich bzw. ihre Kunden keinen Mehrwert durch NC-Maschinen sahen. Nach einer Aufstellung des VDW gab es Mitte 1971 in der Bundesrepublik Deutschland 53 Hersteller von NC-Maschinen, von denen 18 aus Baden-Württemberg kamen (Abbildung 32). Da der VDW 1971 etwa 430 Werkzeugmaschinenhersteller in der Bundesrepublik Deutschland zählte,⁴⁵⁶ hatten 1971 erst etwa 12 % von ihnen NC-Maschinen im Programm. Die meisten waren Hersteller von großen und teuren Maschinen wie Bohrwerken, Bearbeitungszentren oder Drehmaschinenhersteller ab mittelgroßen Maschinen. Bei diesen war der Kostenblock von um die 30 % für die Steuerungs- und Antriebstechnik in der Wirtschaftlichkeitsrechnung noch beherrschbar, wenn der Produktivitätszuwachs mindestens in der gleichen Größenordnung war. Komplett fehlten in der Übersicht die Hersteller von kleinen Dreh- und Fräsmaschinen, weil bei diesen Maschinen die Kosten für Steuerungs- und Antriebstechnik (deutlich) über den Kosten der eigentlichen Maschine lagen. Bei den mittelgroßen Drehmaschinen war die Situation uneinheitlich. Die Gebr. Boehringer, Heyligenstaedt und Pittler hatten ab Mitte der 1960er Jahre NC-Drehmaschinen im Programm, Index und Traub hingegen boten erst in den 1970er Jahren NC-Drehmaschinen an.

⁴⁵⁵ Bildquelle: Specht/Haak (1995), S. 61. Specht/Haak gaben als Datenquelle die Werkzeugmaschinenstatistik des VDW an. Die Grafik wurde für 1971 um die Anzahl der NC-Maschinenhersteller aus Abbildung 32 ergänzt.

⁴⁵⁶ Vgl. Glunk (1991), S. 217.

J. Banning AG Mafa., Hamm	*Ludwigsburger Maschinenbau GmbH, Ludwigsburg
*G. Bluthardt, Werkzeugmaschinenfabrik, Nürtingen	Max Müller Brinker Mafa., Langenhagen
*Gebr. Boehringer GmbH, Göppingen	Nassovia WerkZeugmaschinenfabrik GmbH, Langen
Reinhard Bohle KG Werkzeugmaschinenfabrik Jöllenbeck	Pittler Mafa.AG, Langen
*Burkhardt GmbH Mafa., Pfullingen	*Mafa Ravensburg AG, Ravensburg
*Burkhardt & Weber KG Werkzeugmaschinenfabrik, Reutlingen	Reckermann Fräsmaschinen Handels GmbH, Solingen
Collet & Engelhard Mafa., GmbH, Offenbach a. Main	Rheinische Stahlwerke Hille-Henschel Werkzeugmaschinen, Witten
O. Dörries GmbH, Düren	Rheinstahl Wagner, Dortmund
Droop & Rein Werkzeugmaschinenfabrik, Bielefeld	Rhein. Mafa. u. Eisengießerei Anton Böper KG (VEBO), Dülken
Mafa. Froriep GmbH, Rheyd	Scharmann & Co, Rheyd
Werkzeugmaschinenfabrik Gildemeister & Comp. AG, Bielefeld	*Schaudt Maschinenbau GmbH, Stuttgart
Heidenreich & Harbeck, Hamburg	Schiess AG, Ddf.-Oberkassel
*Gebr. Heinemann AG, St. Georgen	Alfred H. Schütte, Köln-Deutz
*Gebr. Heller Mafa. GmbH, Nürtingen	*Schwäbische Hüttenwerke GmbH, Wasseraffingen
Hessischer Apparatebau GmbH, Hahn/Taunus	*Bernhard Steinel Werkzeugmaschinenfabrik, Schwäbisch Gmünd
*Hestika-Werkzeugmaschinenfabrik Karl Hees, Ludwigsburg	*Trumpf & Co., Stgt. Weilimdorf
Heyligenstaedt & Comp. Werkzeugmaschinenf. GmbH, Giessen	*Gustav Wagner Mafa, Reutlingen
Hilgers Maschinen- u. Apparatebau-Anstalt mbH, Rodenkirchen	Werkzeugmaschinenfabrik Adolf Waldrich, Coburg
Gebr. Honsberg, Remscheid	H.A. Waldrich GmbH, Coburg
*Karl Hüller GmbH Werkzeugmaschinenfabrik, Ludwigsburg	H.A. Waldrich GmbH, Coburg
*Mausier-Schaerer GmbH Karlsruhe	Wanderer-Werke AG Werkzeugmaschinenwerk, Haar
Arno Jung GmbH, Abt. Werkzeugmaschinenbau, Kirchen	*Ferdinand C. Weipert, Werkzeugmaschinenf. u. Eisengießerei, Heilbr.
Köllmann Maschinenbau GmbH, Langenberg	*Eugen Weisser & Co., KG Werkzeugmaschinenfabrik, Heilbronn
Hermann Kolb, Mafa., Köln-Ehrenfeld	Fritz Werner Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin 48
Fritz Kopp Mafa. GmbH, Neu-Ulm	*J. Wörner KG, Schwenningen
Leifeld & Co. Werkzeug- und Maschinenfabrik, Ahlen	H. Wohlenberg KG, Hannover I
Herbert Lindner GmbH, Berlin 26	Wotan-Werke GmbH - VWF, Düsseldorf-Holthausen
	* NC-Maschinenhersteller aus Baden-Württemberg (18)

Abbildung 32: Westdeutsche NC-Maschinenhersteller Mitte 1971⁴⁵⁷

Die in Abbildung 32 genannten Werkzeugmaschinenhersteller hatten zwischen 1957 und 1970 immerhin schon 2861 NC-Maschinen im Wert von 906 Mio. DM verkauft (vgl. Tabelle 6). Auffällig ist der starke Anstieg von NC-Maschinen mit Bahnsteuerungen ab 1967, der fast nur von den NC-Drehmaschinen kam.⁴⁵⁸ Das liegt an den deutlichen Vorteilen von NC-Drehmaschinen mit Bahnsteuerungen gegenüber solchen mit Streckensteuerungen. Mit Bahnsteuerungen können schräge und kugelförmige Übergänge des Drehdurchmessers im Unterschied zu handbedienten Maschinen sehr einfach hergestellt werden. Da Drehmaschinen im Gegensatz zu Fräsmaschinen nur eine Bahnsteuerung für zwei Achsen benötigten, war eine Bahnsteuerung für Drehmaschinen preiswerter als für Fräsmaschinen und der damals übliche Steuerungsanteil von etwas über 30 % vom Maschinenpreis konnte auch bei kleineren Maschinen annähernd erreicht werden. Das erhöhte die erzielbaren Stückzahlen. Außerdem gab es mit der

⁴⁵⁷ Bildquelle: Eigene Übersicht, zusammengestellt nach Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 190b; Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (16.12.1971), Anlage 1, S. 1–3.

⁴⁵⁸ Nach vom VDW Prof. Warnecke zur Verfügung gestellten statistischen Unterlagen waren von den 1970 produzierten 368 NC-Maschinen 302 Maschinen mit Bahnsteuerungen ausgerüstete Drehmaschinen und -automaten. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 190b; Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (16.12.1971), Anlage 3, Tabelle 9.

GE 100S von General Electric eine erprobte, kostengünstige und etablierte Bahnsteuerung, die von mehreren Maschinenherstellern eingesetzt wurde.⁴⁵⁹

	1957-1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Stückzahl	30	38	108	162	268	429	490	574	762
davon Export	19	16	45	62	108	209	252	229	270
Maschinenwert in Mio DM	16,9	11,5	22,1	37,3	67	122,4	166,5	187,2	275,1
%-Anteil der Steuerungen am Maschinenwert	15,5	30,7	35,3	31,3	32,4	36,9	32,6	33,4	32
Zahl der Werkzeugmaschinenhersteller	7	18	19	26	34	48	45	47	50
Zahl der Steuerungshersteller	4	13	21	17	24	25	25	27	32
davon NC-Maschinen mit Bahnsteuerung (Stück)	2	1	3	8	45	190	267	283	368
davon Export	-	-	2	3	14	119	151	146	168
Wert (Mill. DM)	•	•	•	2,6	17,1	60,8	100,8	98,8	138,7
%-Anteil der Steuerungen am Maschinenwert	•	•	•	45,4	38,6	41,7	34,8	37,5	35,2

Tabelle 6: Westdeutsche NC-Maschinenproduktion von 1957–1970⁴⁶⁰

Interessant ist auch, dass die Zahl der eingesetzten Steuerungshersteller ab 1966 wieder leicht zunahm. Das lässt vermuten, dass wieder mehr Steuerungshersteller (nach einem deutlichen Rückgang 1965) in der elektrischen Ausrüstung von NC-Maschinen einen interessanten Markt sahen, obwohl 1970 jeder Steuerungshersteller durchschnittlich nur etwa 24 Steuerungen lieferte.⁴⁶¹ Mit diesen niedrigen Stückzahlen konnten mit ziemlicher Sicherheit die Entwicklungskosten nicht abgedeckt werden, aber die Hersteller hofften wahrscheinlich auf steigende Stückzahlen.

Da der Steuerungsanteil an den Maschinenkosten immer noch bei über 30 % lag, waren NC-Maschinen für die Anwender nur wirtschaftlich, wenn die Mehrkosten durch eine höhere Produktivität kompensiert werden konnten. Um ihre Umsätze zu erhöhen, versuchten die Maschinenhersteller diesen Produktivitätsgewinn mit aufwendigen Beispielrechnungen nachzuweisen. Darin verglichen sie die Fertigungskosten von unterschiedlichen Werkstücken stückzahlabhängig zwischen konventionellen und NC-

⁴⁵⁹ Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 36. Hans Maas, ehemaliger Geschäftsführer von Heyligenstaedt berichtete, dass seine Firma 1965 auf der europäischen Werkzeugmaschinenausstellung in Brüssel über 100 NC-Drehmaschinen mit der Steuerung GE 100S verkaufte. Vgl. Maas (2003), S. 65. Die GE 100S kam in den USA 1964 auf den Markt. Vgl. Thomas (2008a), S. 47.

⁴⁶⁰ Eigene Tabelle nach Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 190b; Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (16.12.1971), Anlage 2.

⁴⁶¹ Wird noch berücksichtigt, dass Drehmaschinenhersteller wie Heyligenstaedt und Boehringer relativ hohe Stückzahlen mit der Steuerung GE 100S verkauften, waren die durchschnittlichen Stückzahlen der anderen Hersteller noch niedriger.

Maschinen (vgl. Kapitel 10.2). Veröffentlicht wurden die Berechnungen in Fachaufsätzen, Kundenzeitschriften und Prospekten.

Zusammengefasst nahmen zuerst Werkzeugmaschinenhersteller großer, hochpreisiger Fräs- und Bohrmaschinen NC-Maschinen in ihr Fertigungsprogramm auf, da sich bei diesen Maschinen der Aufwand für die Steuerungs- und Antriebstechnik prozentual nicht so stark auf den Maschinenpreis auswirkte. Ein weiteres Kriterium war die Kundenstruktur. Werkzeugmaschinenhersteller mit finanzstarken Kunden gingen das Entwicklungsrisiko eher ein. Sie hofften, dass ihre Kunden NC-Maschinen kauften, um die Vor- und Nachteile dieser neuen Maschinen für ihr Fertigungsspektrum auszuloten.

NC-Drehmaschinen waren bis Mitte der 1960er Jahre nur wenig nachgefragt, da sie ihre Vorteile nur mit einer teuren NC-Bahnsteuerung ausspielen konnten. Als aber Mitte der 1960er Jahre General Electric seine kostengünstige und erprobte Bahnsteuerung GE 100S auch in Deutschland anbot, zogen die Stückzahlen von NC-Drehmaschinen stark an. NC-Drehmaschinen wurden schnell die meistverkauften NC-Maschinen, da ihr Preis-Leistungs-Verhältnis bzw. ihre Wirtschaftlichkeit die Kunden überzeugten.

4.7 Vertrieb der ersten NC-Maschinen

Der Vertrieb der NC-Maschinen wurde anfangs fast nur von technischen und wirtschaftlichen Argumenten geprägt. Die wichtigsten Promotoren waren in der Anfangsphase die Professoren der fertigungstechnischen Institute in Aachen (Prof. Opitz), in Stuttgart (Prof. Dolezalek) und in Darmstadt (Prof. Stromberger). In den von ihnen herausgegebenen Zeitschriften bzw. Zeitschriftenbeilagen (vgl. hierzu Kapitel 4.9.6), aber auch in anderen Fachzeitschriften, wurden ab etwa 1955 zunehmend Fachaufsätze veröffentlicht, in denen die NC-Technik erklärt und die erwarteten bzw. schon verifizierten wirtschaftlichen und technischen Vorteile der NC-Maschinen für bestimmte Fertigungsaufgaben herausgestellt wurden. Oft kamen in den Zeitschriften auch deutsche Ingenieure zu Wort, die bei US-Werkzeugmaschinenherstellern arbeiteten und aus erster Hand vom NC-Einsatz in den USA berichteten.

Auch auf den regelmäßigen Kolloquien der fertigungstechnischen Institute (vgl. Kapitel 4.9.5) wurden die Vor- und Nachteile der NC-Maschinen ab dem AWK 1956 immer intensiver diskutiert. Da unter den Teilnehmern auch viele Entscheidungsträger waren, wurden am Rand der Kolloquien mit ziemlicher Sicherheit erste Erfahrungen mit NC-Maschinen ausgetauscht und über geplante Investitionen gesprochen. Die Führungskräfte bekamen einen Eindruck, was andere Firmen über NC-Maschinen dachten.

Einige einflussreiche Ingenieure im VDI engagierten sich im ADB-Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ bzw. im Unterausschuss „Informationsverarbeitung“ ab

Ende der 1950er Jahre für erste Normen zur NC-Technik. Durch eine Reduzierung herstellerspezifischer Ausprägungen wollten sie die NC-Einführung durch eine möglichst große Kompatibilität der NC-Steuerungen erleichtern. Zusätzlich organisierte der VDI bzw. die ADB ab Anfang der 1960er Jahre viele Veranstaltungen, um die im Beruf stehenden Betriebsingenieure über die Funktionsweise und die Vor- und Nachteile der NC-Maschinen zu informieren (vgl. Kapitel 8.1.1). Die Veranstaltungen hatten teilweise sehr hohe Teilnehmerzahlen, sodass bis Mitte der 1960er Jahre schon viele Betriebsingenieure abschätzen konnten, ob NC-Maschinen für ihren Betrieb Vorteile haben könnten.

Die Werkzeugmaschinenhersteller taten sich anfangs schwer, ihre NC-Maschinen zu verkaufen. Nur wenige wie Burkhardt & Weber oder Burr (vgl. Kapitel 5.2 und 5.4) hatten das Glück, dass Kunden von sich aus direkt NC-Maschinen bei ihnen bestellten und damit einen großen Teil der Entwicklungskosten finanzierten. Die meisten „Pioniere“ mussten die Entwicklungskosten ihrer NC-Maschinen selbst tragen. Sie taten dies, weil sie davon überzeugt waren, dass den NC-Maschinen die Zukunft gehörte. Die Maschinen wurden dann auf den Werkzeugmaschinenmessen ausgestellt, in der Hoffnung, Interesse zu wecken und einige davon zu verkaufen. Die Messeauftritte wurden oft von Veröffentlichungen in Fach- und Kundenzeitschriften begleitet, in denen die Vorzüge und Besonderheiten der Maschinen herausgestellt wurden.

Zusätzlich zu den Fachaufsätzen schalteten einige Werkzeugmaschinenhersteller etwa ab Mitte der 1960er Jahre Anzeigen in den viel gelesenen Fachzeitschriften.⁴⁶² Bei der Durchsicht der Anzeigen fiel auf, dass die Vorteile von NC-Maschinen gegenüber konventionellen Maschinen nur selten hervorgehoben wurden.⁴⁶³ Die Hauptbotschaft der Anzeigen war, dass der Inserent (jetzt auch) NC-Maschinen mit bestimmten Eigenschaften (z. B. Arbeitsraum, Art des Werkzeugwechslers etc.) im Programm hatte. Der Inserent ging anscheinend davon aus, dass die potenziellen Kunden die Vor- und Nachteile der NC-Technik kannten und von der Anzeige nur angesprochen wurden, wenn die technischen Daten der Maschine zu seinem Fertigungsproblem passten und sie schon Vorüberlegungen zur Anschaffung einer NC-Maschine angestellt hatten. Er ging mit großer Wahrscheinlichkeit nicht davon aus, mit seiner Anzeige die Beschaffung von NC-Maschinen auszulösen. Dieses Stadium war frühestens Mitte der 1970er Jahre erreicht, als sich durch die bessere Wirtschaftlichkeit der CNC-Maschinen langsam die

⁴⁶² Die Durchsicht der Fachzeitschriften nach Anzeigen in Bibliotheken war nur sehr eingeschränkt möglich. In den Fachzeitschriften waren die Anzeigen meistens am Anfang oder Ende der Hefte. Um Platz zu sparen, wurden beim Archivieren der Hefte in Sammelbänden die Anzeigenblöcke am Anfang und Ende der Hefte fast immer entfernt.

⁴⁶³ Eine der wenigen Anzeigen, die auf die Vor- und Nachteile der NC-Technik einging, war von den Gebr. Heller: „Verringerung der Rüst- und Nebenzeiten, Zwangslauf des Fertigungsflusses, Verbesserung der Maschinenausnutzung. Abkürzung der Durchlaufzeit, Erhöhung des Automatisierungsgrades, Einsparung von hochwertigen Arbeitskräften – dies sind Forderungen für den Einsatz von Heller-Bearbeitungszentren.“ Gebr. Heller Maschinenfabrik (1969).

Meinung durchsetzte, dass eine Fertigung ohne NC-Maschinen langfristig nicht mehr konkurrenzfähig ist.

Ein wesentliches Verkaufshemmnis für NC-Maschinen war häufig der Vertrieb, da viele Werkzeugmaschinenhersteller aus Kostengründen keine eigene Vertriebsorganisation hatten. Dieser lag dann in den Händen großer Händler wie z. B. Hahn & Kolb in Stuttgart. Diese vertraten mehrere Werkzeugmaschinenhersteller und taten sich schwer, ihre Außendienstmitarbeiter zum Verkauf von NC-Maschinen zu motivieren, da diese auf Provisionsbasis arbeiteten. Ihr Interesse war es, mit möglichst wenig Aufwand viel Umsatz zu machen. NC-Maschinen passten da nicht so recht ins Konzept, denn beim Verkauf von NC-Maschinen mussten sich die Außendienstmitarbeiter intensiv mit der neuen Technik auseinandersetzen, was sich wegen des höheren Zeitaufwands für sie nicht lohnte. Außerdem bestand das Risiko, Ärger zu bekommen, wenn die Maschine nicht den Erwartungen entsprach oder die falsche Maschine ausgewählt worden war. Die Werkzeugmaschinenhersteller verlangten daher von Ihren Händlern, ihre Verkäufer durch einen fachkundigen Innendienst zu unterstützen.⁴⁶⁴ NC-Maschinen konnten daher in dieser Phase oft leichter von Werkzeugmaschinenherstellern verkauft werden, die zumindest für potenzielle NC-Kunden einen eigenen Vertrieb hatten. Aber auch sie mussten ihre Verkäufer für den Vertrieb von NC-Maschinen schulen und sich Anreize für den Verkauf ihrer NC-Maschinen überlegen. Schließlich arbeitete auch ihr Vertrieb fast immer auf Provisionsbasis.

Besonders schwierig war es im Verkaufsgespräch, den Kundennutzen nachzuweisen, wenn der Kunde nicht von sich aus zu einer NC-Maschine tendierte. Das zeigen auch die Prospekte der Werkzeugmaschinenhersteller, von denen z. B. das Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) in Berlin eine umfangreiche Sammlung aus der Zeit ab 1965 hat.⁴⁶⁵ In den Prospekten waren – wie in den Anzeigen – nur wenig grundsätzliche Argumente für NC-Maschinen zu finden. Den meisten Platz nahmen auch darin die technischen Detailbeschreibungen der Maschinen und ihrer Varianten ein. Anscheinend gingen die Werkzeugmaschinenhersteller bei den Prospekten wie bei den Anzeigen davon aus, dass Kunden, die sich für NC-Maschinen interessierten, die Vor- und Nachteile der NC-Technologie schon kannten und anhand der im Prospekt genau beschriebenen Maschineneigenschaften nur noch die optimale Maschine für ihr Fertigungsproblem aussuchen mussten.

⁴⁶⁴ Nach dem Protokoll der Filialeitertagung des Werkzeugmaschinenhändlers Hahn & Kolb Ende 1967 wurde in der Diskussion gefordert: „Im Hause muß eine NC-Arbeitsgruppe geschaffen werden, die unsere Herren bei der Ausbildung und im Verkauf unterstützt. Dieses wird klar formuliert von einigen Lieferfirmen gefordert.“ Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW Y181-58; Hahn & Kolb (12.12.1967), S. 6.

⁴⁶⁵ Die systematische Sammlung von NC-Maschinenprospekten begann erst 1965 mit der Berufung von Günter Spur zum ordentlichen Professor des IWF in Berlin. Vgl. o. V. (1965a), S. 1.

Nur in wenigen Prospekten, z. B. in einem der Gebr. Heller, fanden sich allgemeingültig formuliert die Vorteile von NC-Maschinen:

Beim Einsatz numerisch gesteuerter Maschinen sind die Vorteile rechnerisch schwer zu erfassen. Praktische Erfahrungen brachten folgende Vorteile:

1. Ersparnisse an Fertigungszeit (20 -70 %)
2. Bessere Maschinenausnutzung durch geringere Standzeiten
3. Einsparung an Rüstzeit und Nebenzeit
4. Einsparung von Betriebsmittelkosten
Wegfall aufwendiger Vorrichtungen (keine Kosten) für Instandsetzung und Lagerhaltung
5. Schnellerer Durchlauf der Teile, Durchlaufzeit erheblich gekürzt.
6. Verringerung der Werkzeugkosten
7. Verringerung von Ausschuß und Nacharbeit
8. Verringerung des Lagerbestandes (Fertigung nach Bedarf, insbesondere für Ersatzteile)
9. Schnellere Durchführung von Konstruktionsänderungen
10. Einsparung von Werkstatttraum, da häufig Ersatz mehrerer herkömmlicher Maschinen⁴⁶⁶

Der erste Punkt dieser Auflistung war sicher der wichtigste und am einfachsten zu verifizieren. Er konnte durch stückzahlabhängige Zeitmessungen nachgewiesen werden. Deshalb konzentrierten sich die Werkzeugmaschinenhersteller vor allem auf diese Art des Nachweises, denn sie konnten ihre Maschinen am einfachsten verkaufen, wenn ihre Kunden mit den NC-Maschinen möglichst viel Geld verdienten. Die typische Vorgehensweise dazu wird im Kapitel 10.2 beschrieben.

Die anderen Punkte waren schwerer nachzuweisen und in nachvollziehbare Zahlen umzusetzen. Dieser Aufgabe stellten sich u. a. Universitätsinstitute. Sie beschäftigten sich damit, für die Ermittlung dieser weichen Faktoren eine Systematik zu entwickeln. Erste Ansätze in diese Richtung waren die Dissertationen von Maßberg⁴⁶⁷ und Stehle⁴⁶⁸ Mitte der 1960er Jahre am WZL (vgl. hierzu auch Kapitel 4.9.1). Ihre Vorgehensweise wurde z. B. vom Werkzeugmaschinenhersteller Gebr. Boehringer in seine Rechenmodelle übernommen (vgl. Kapitel 10.2.).

Zusammengefasst wurde versucht, NC-Werkzeugmaschinen überwiegend mit wirtschaftlichen Argumenten zu verkaufen. Dabei empfahlen die Werkzeugmaschinenhersteller aber nur dann den Kauf einer NC-Werkzeugmaschine, wenn Werkstücke und benötigte Stückzahlen eine kostengünstigere Fertigung mit großer Wahrscheinlichkeit

⁴⁶⁶ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (04/1966), gez. S. 1.

⁴⁶⁷ Maßberg (1965).

⁴⁶⁸ Stehle (1966).

erwarten ließen. Der damit verbundene Aufwand war relativ groß, was die Verbreitung von NC-Werkzeugmaschinen in der Anfangsphase hemmte, auch weil es nur eine begrenzte Anzahl von Erfahrungsträgern gab. Schwierig wurde es, wenn der Vertrieb auf Provisionsbasis arbeitete. Der Beratungsaufwand für NC-Maschinen war deutlich höher und wurde durch den höheren Verkaufspreis nicht kompensiert, sodass der Vertrieb lieber konventionelle Maschinen verkaufte.

4.8 Studien zu westdeutschen NC-Maschinen

In der zweiten Hälfte der 1960er Jahre zeichnete sich ab, dass sich die NC-Technik in der Metallbearbeitung mittel- bis langfristig durchsetzen würde. Verbände, Institutionen und die IG Metall gaben deshalb Studien in Auftrag, da sie wissen wollten, welche Konsequenzen die NC-Technik für ihre Mitglieder haben könnte. Aus den Ergebnissen wollten sie Handlungsempfehlungen für sich bzw. ihre Mitglieder ableiten.

Auf die Ergebnisse der wichtigsten Studien wird hier nur im Überblick eingegangen; relevante Studienergebnisse werden in die in der Arbeit diskutierten Einzelthemen einbezogen. Eine auffällige Gemeinsamkeit der durchgesehenen Studien waren Fragestellungen (allerdings mit unterschiedlicher Gewichtung je nach Auftraggeber), warum die Unternehmen NC-Maschinen beschafft hatten, welche Rolle die Wirtschaftlichkeit dabei spielte, wie die NC-Maschinen programmiert wurden und welche Auswirkungen NC-Maschinen auf die Organisation, die Abläufe und die Beschäftigten hatten. Was aber fehlte waren zukunftsorientierte Fragen, wie viele NC-Maschinen aufgeteilt nach Maschinenklassen (vereinfacht aufgeteilt auf Dreh-, Bohr- und Fräsmaschinen) in Abhängigkeit vom Maschinenpreis und der Maschinenproduktivität beschafft würden. Oder anders ausgedrückt: Bei welchen Werkstücken haben NC-Maschinen im Vergleich zu konventionellen Maschinen eine besonders hohe Produktivität und durch welche maschinenbaulichen und steuerungstechnischen Maßnahmen kann diese weiter erhöht werden? Mit einer solchen – sicher nicht einfach zu erstellenden Studie – hätten Werkzeugmaschinen- und Steuerungshersteller eine Orientierung gehabt, welche Entwicklungsschwerpunkte sie setzen müssten, um höhere Stückzahlen zu erreichen.

Diese Problematik zeigte sich deutlich in der vom VDW finanzierten Studie des ifo-Instituts. In ihr wurde untersucht, wer warum und wer wie NC-Maschinen gekauft und genutzt hatte. Sie untersuchte aber nicht, welche Eigenschaften den NC-Maschinen noch fehlten, um höhere Verkaufszahlen zu erreichen. Eine wichtige Fragestellung aber war, durch welche staatlichen Maßnahmen (z. B. erhöhte Abschreibungen) die Kaufbereitschaft für NC-Maschinen erhöht werden könnte.⁴⁶⁹ Der VDW wollte also nicht wissen, durch welche Verbesserungen mehr NC-Maschinen verkauft wer-

⁴⁶⁹ Vgl. Gebhardt (1970), S. 23–24.

den können, sondern durch welche Subventionen sich die Wirtschaftlichkeit am effektivsten verbessern lässt.

Eine längerfristige Stückzahlprognose (ohne Aufteilung auf NC-Maschinenarten) fand sich nur in der Studie von Brödner und Hamke vom Institut für Produktionstechnische Automatisierung in Berlin. In ihr wurde für 1979 einen Bestand von 37.000 bis 44.200 NC-Maschinen geschätzt.⁴⁷⁰ Verglichen mit der tatsächlichen Entwicklung (25.000 NC-Maschinen 1980⁴⁷¹) war die Schätzung deutlich zu hoch. Brödner erklärte die große Abweichung damit, ihr Modell hätte nicht ausreichend berücksichtigt, dass eine NC-Maschine drei konventionelle Maschinen ersetzt; deshalb sei die Schätzung zu hoch ausgefallen.⁴⁷² Auftraggeber für diese Studie war aber nicht der VDW, sondern die Bundesanstalt für Arbeitsvermittlung und Arbeitslosenversicherung auf Anregung des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. Mit der Studie sollte also nicht der Absatz von NC-Maschinen erhöht werden, sondern das Institut wollte wissen, welche Auswirkungen NC-Maschinen auf die zukünftigen Arbeitsstrukturen (und damit auf die Arbeitsplätze bzw. Arbeitslosigkeit) haben würden.⁴⁷³

Eine weitere Stückzahlprognose, allerdings mit einem viel kleineren zeitlichen Horizont (nur drei Jahre statt zehn Jahre bei Brödner/Hamke) kam 1974 vom Marktforschungsinstitut Infratest-Industria. Abgeleitet aus einer Marktumfrage sagte die Studie für 1977 in der Bundesrepublik Deutschland einen Bestand von nur 5148 NC-Maschinen voraus.⁴⁷⁴ Interessant an dieser Prognose war, dass sie den geschätzten Bestand auf Maschinenarten aufteilte.⁴⁷⁵

Die Studie von Infratest-Industria baute auf Vorläuferstudien von 1967 und 1969 auf, die im Auftrag des RKW erfolgt waren. Die Vorläuferstudien wiederum waren eine wichtige Grundlage für das RKW-Projekt A 47 am ISF⁴⁷⁶, in dem der Einsatz nume-

⁴⁷⁰ Vgl. Brödner/Hamke (1970), S. 154–164. Die Tabelle 5.3 mit der prognostizierten Entwicklung befindet sich auf S.164.

⁴⁷¹ Vgl. o. V. (1980a), S. 5. Der für 1980 genannte NC-Maschinenbestand von 25.000 errechnet sich aus dem in der VDW-Untersuchung hochgerechneten Bestand von 1.250.000 Werkzeugmaschinen, an denen die NC-Maschinen einen Anteil von 2 % hatten. Von den 25.000 Maschinen wurden 62 % erst in den Jahren 1975 bis 1979 beschafft. Vgl. o. V. (1980a), S. 3.

⁴⁷² Vgl. Brödner (07.04.2016), S. 17–18.

⁴⁷³ Vgl. Brödner (07.04.2016), S. 3 und vgl. Brödner/Hamke (1969), S. 180.

⁴⁷⁴ Die Auftraggeber der Studie sind aus dem dem Verfasser vorliegenden Exemplar nicht ersichtlich. Infratest-Industria ermittelte für 1974 einen Bestand von 4223 NC-Maschinen in der Bundesrepublik Deutschland und leitete daraus bis 1977 einen Zuwachs auf 5148 NC-Maschinen ab. Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Infratest 1; Infratest-Industria (1974), S. 79. Die von Infratest-Industria für 1974 geschätzten 4223 NC-Maschinen in der Bundesrepublik Deutschland stimmen gut mit der Schätzung von Clausnitzer von 4400 NC-Maschinen überein. Vgl. Clausnitzer (1974), S. 6.

⁴⁷⁵ Für 1977 wurden prognostiziert: 1103 NC-Bohrmaschinen, 535 NC-Fräsmaschinen, 728 NC-Bohr- und Fräswerke, 1956 NC-Drehmaschinen, 474 NC-Bearbeitungszentren und 352 sonstige NC-Maschinen. Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Infratest 1; Infratest-Industria (1974), S. 79.

⁴⁷⁶ Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e. V., München.

risch gesteuerter Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland gemeinsam von Soziologen, Betriebs- und Volkswirten untersucht wurde.⁴⁷⁷

Fast zeitgleich mit der zweiten Studie von Infratest-Industria erstellte im Rahmen des SFB 57 „Produktionstechnik und Automatisierung“ Clausnitzer an der TU-Berlin eine Untersuchung mit dem Titel „Der Einsatz von NC-Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland“. Diese durchleuchtete sehr detailliert den NC-Maschinenbestand nach verschiedenen Kriterien und brachte Ergebnisse, die einen guten Überblick über die damals vorhandenen NC-Maschinen, ihre Struktur, ihre Ausstattung und ihre Einsatzbedingungen gaben.⁴⁷⁸ Die Studie von Clausnitzer beschrieb nur den Istzustand und gab keine Hinweise, in welche Richtung die NC-Maschinen für eine größere Verbreitung weiterentwickelt werden sollten, d. h. Anwender und Maschinenhersteller mussten aus dem Istzustand ihre eigenen Schlüsse ziehen. Wegen ihrer vielen Details wird sie in der Fachliteratur oft zitiert.

Kurz nach Ende des Untersuchungszeitraums veröffentlichte 1981 das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung seine Studie über „Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen des CNC-Werkzeugmaschineneinsatzes“. Sie war 1976 im Rahmen des RKW-Projekts A133 begonnen worden.⁴⁷⁹ Anlass war nach dem Geleitwort des RKW die zunehmende Verbreitung der CNC-Technik und dass es noch keine empirische Untersuchung über die Auswirkungen der CNC-Technik auf die Beschäftigten gab. Ein weiterer Schwerpunkt war, ob durch die Werkstattprogrammierung von CNC-Maschinen der Bediener neue Aufgaben und mehr Verantwortung bekommen könnte. Die Studie hatte die Vorstandsabteilung Automation der IG Metall (vgl. Kapitel 8.2.1) vorgeschlagen und wurde vom Bundesministeriums für Wirtschaft finanziert.⁴⁸⁰ Bei der Studie wurde das Fraunhofer-Institut von einem Projektbeirat aus Tarifpartnern (Mitarbeiter der IG Metall, des IfaA und der Firma M.A.N.), Ministerien, dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit und dem RKW unterstützt.⁴⁸¹

⁴⁷⁷ Vgl. Schultz-Wild/Weltz (1973), S. 2. Ein Original des in der Literatur oft zitierten Forschungsberichts A 47 ist weder beim ISF noch beim RKW vorhanden und auch in keiner Bibliothek. Schultz-Wild/Weltz veröffentlichten eine gekürzte Fassung mit den Teilen, die die innerbetrieblichen Auswirkungen behandelten. Die ursprünglich geplante Veröffentlichung des zweiten Teils (gesellschaftliche und wirtschaftliche Auswirkungen) erfolgte nicht.

⁴⁷⁸ Clausnitzer (1974). Zu beachten ist, dass der Name des Verfassers durch einen Druckfehler im Buchtitel vermutlich falsch geschrieben ist. Korrekt ist wahrscheinlich Claußnitzer (Claussnitzer). Um aber keine unnötige Verwirrung zu stiften, wird im Text immer die Schreibweise Clausnitzer der Titelaufnahme verwendet.

⁴⁷⁹ Rempp (1981).

⁴⁸⁰ Vgl. Rempp (1981), Geleitwort.

⁴⁸¹ Die meisten Mitglieder des Beirats waren Fachleute. Vgl. Rempp (1981), Fußnote Geleitwort. Dies gilt besonders für Blum von der IG Metall (Interviewpartner im Rahmen dieser Dissertation) und die Beiräte von M.A.N., die teilweise schon als kompetente Anwender auf den Sitzungen der M.A.N. Betriebskommission Vorträge gehalten hatten (vgl. Kapitel 6.3).

Bemerkenswert ist, dass schon in der Ausschreibung besonderes Augenmerk auf die Werkstattprogrammierung gelegt wurde, die erst mit CNC-Steuerungen möglich war. Dies, obwohl es zum Zeitpunkt der Ausschreibung erst wenige Steuerungen mit Werkstattprogrammierung gab, geschweige denn praktische Erfahrung bei den Anwendern. Die Sprint-Steuerungen von Siemens kamen erst 1977 auf den Markt (vgl. Kapitel 4.11.7) und die Heidenhain-Steuerungen mit Klartext-Programmierung 1979/1980 (vgl. Kapitel 4.11.4). Insofern war bezüglich des Studienergebnisses erst einmal Skepsis angebracht, da die Datenbasis und der Erfahrungszeitraum der Anwender klein waren. Am Ende überzeugte aber das Ergebnis der Studie, da sie einen Nutzen der Werkstattprogrammierung auch für den Fall herausarbeitete, dass die NC-Maschinen überwiegend in der Arbeitsvorbereitung programmiert wurden, wenn der Maschinenbediener durch die leistungsfähigere NC-Steuerung Teile des Einrichtens (Einfahren des Programmes) übernehmen konnte.⁴⁸² Unabhängig davon nutzten Anfang der 1980er Jahre immerhin schon 22 % der CNC-Anwender die Werkstattprogrammierung.⁴⁸³

Die Ergebnisse der Studie zur Werkstattprogrammierung wurden nicht von allen CNC-Herstellern geteilt und bei Weiterentwicklungen berücksichtigt. Diese im Rückblick falsche Einschätzung war nach dem Untersuchungszeitraum ein Grund für den zunehmenden Marktanteil von Steuerungsherstellern wie Heidenhain (vgl. Kapitel 4.11.4), die sich auf Steuerungen mit Werkstattprogrammierung fokussierten.

4.9 NC-Forschung an den Hochschulen

4.9.1 Das Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen

Das 1906 in Aachen gegründete Werkzeugmaschinenlabor (WZL) ist eines der ältesten Werkzeugmaschineninstitute in der Bundesrepublik Deutschland.⁴⁸⁴ Von 1936 bis 1973 wurde es von Herwart Opitz geleitet.⁴⁸⁵ Nach seiner Emeritierung wurde das WZL auf drei Lehrstühle und eine Abteilung aufgeteilt. Die neue Leitung bestand ab 1973 aus vier Professoren: Wilfried König für den Lehrstuhl „Technologie der Fertigungsverfahren“, Walter Eversheim für den Lehrstuhl „Produktionssystematik“, Manfred Weck für den Lehrstuhl „Werkzeugmaschinen“ und Tilo Pfeifer für das Lehr- und Forschungsgebiet „Messtechnik für die automatisierte Fertigung“.⁴⁸⁶

⁴⁸² Vgl. Rempp (1981), S. 244–246.

⁴⁸³ Vgl. Rempp (1981), S. 44, insb. Abb. II/5. Werden drei Großanwender mit intensiver Nutzung der Werkstattprogrammierung herausgerechnet, sinkt der Wert auf 17 %.

⁴⁸⁴ Die Geschichte des WZL ist sehr ausführlich im Buch „100 Jahre Produktionstechnik“ beschrieben, sodass hier auf eine detaillierte Darstellung verzichtet werden kann. Eversheim u. a. (2006).

⁴⁸⁵ Vgl. Eversheim u. a. (2006), S. 37.

⁴⁸⁶ Vgl. Eversheim u. a. (2006), S. 91.

Erste Berührungspunkte mit der NC-Technik hatte Opitz schon Anfang der 1950er Jahre, da er sich oft in den USA aufhielt und die NC-Entwicklung am MIT kannte.⁴⁸⁷ 1952 schickte er seinen Mitarbeiter Helmut Hucks zum MIT, um sich dort über die erste NC-Maschine detailliert zu informieren. Auf der Feinbearbeitungstagung 1955 in Aachen konnte Opitz dann ein erstes eigenes Modell einer NC-Maschine zeigen.⁴⁸⁸ Auf Grund seiner USA-Kontakte hielt 1956 auf dem AWK Milton C. Shaw vom MIT einen Vortrag, in dem erstmals auf einem westdeutschen Werkzeugmaschinenkolloquium u. a. die NC-Technik erläutert wurde (vgl. Kapitel 4.5).

Bei seinen Forschungen beschäftigte sich zu dieser Zeit das WZL mit einer Magnetbandsteuerung (ähnlich der Numericord-Steuerung von GE, vgl. Kapitel 3.2), die die Bedienhandlungen bei der Fertigung eines Musterteils aufzeichnen und zur Steuerung der Maschine für ein Wiederholteil abspielen konnte. Der Forschungsbericht über die Magnetbandsteuerung für eine Drehmaschine erschien 1958, enthielt aber leider kein aussagekräftiges Resümee.⁴⁸⁹ An dem Projekt wurde nach Mohr mindestens schon seit 1956 gearbeitet, denn die Versuchsmaschine wurde im Anschluss an die AWK-Vorträge vorgeführt.⁴⁹⁰

Im Anschluss an das Projekt mit der Magnetbandsteuerung beschäftigte sich das WZL auch mit NC-Positioniersteuerungen und den dafür geeigneten Messsystemen. Durch diese Arbeiten konnte auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover 1960 eine Radial-Bohrmaschine der Firma Hermann Kolb Maschinenfabrik aus Köln mit einer Positioniersteuerung der RWTH Aachen ausgestellt werden.⁴⁹¹ Als Messsystem hatte die Maschine optische Impulsmaßstäbe mit einer Teilung von 0,01 mm. Vermutlich handelte es sich um die Maschine/Steuerung, die Jüstel in seiner Dissertation als Steuerung A beschrieb.⁴⁹²

Nach Jüstel gab es am WZL einige Jahre keine Dissertationen über die Hardware von NC-Steuerungen. Eine Ausnahme war 1969 die Dissertation von Aßmus über den Aufbau einer Punktsteuerung mit pneumatischen Bauelementen.⁴⁹³ Erst in den 1970er Jahren griff das WZL das Thema „NC-Hardware“ wieder auf, als programmierbare Klein-

⁴⁸⁷ Vittr/Weck (2006), S. 317.

⁴⁸⁸ Vgl. Kompe (2006b), S. 62.

⁴⁸⁹ Opitz u. a. (1958). Da der Mitautor Uhrmeister 1960 über hydraulische Vorschubmotoren promovierte (Uhrmeister (1960)), haben die Arbeiten an der Magnetbandsteuerung wahrscheinlich kein Ergebnis gebracht, das für eine Promotion ausreichte.

⁴⁹⁰ Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282; Mohr (13.12.56), S. 1.

⁴⁹¹ Vgl. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH Aachen (1960), S. 1500. Aus der Veröffentlichung geht leider nicht hervor, ob es sich um ein Projekt des Maschinenherstellers Hermann Kolb oder des WZL handelte.

⁴⁹² Vgl. Jüstel (1962), S. 7–25.

⁴⁹³ Aßmus (1969).

computer bzw. Prozessrechner⁴⁹⁴ begannen, die festverdrahteten NC-Steuerungen abzulösen. Die Dissertation von Derenbach⁴⁹⁵ (1973) behandelte die typischen Eigenschaften computerbasierter NC-Steuerungen anhand theoretischer und praktischer Beispiele. Grünert⁴⁹⁶ (1975) untersuchte u. a., inwieweit der Rechner der NC-Steuerung zusätzlich die Anpasslogik für die Maschinensteuerung übernehmen konnte; sollte dies möglich sein, sei eine Kosteneinsparung zu erwarten. Diese Idee wurde später bei NC-Steuerungen für einfachere Maschinen in die Praxis umgesetzt.⁴⁹⁷

Am unter Federführung des Stuttgarter ISW laufenden BMFT-Verbundprojekt MPST⁴⁹⁸ (vgl. Kapitel 4.9.4) war auch das WZL beteiligt. Werth erarbeitete ein Konzept, mit dem auch Nicht-Standard-NC-Anwendungen MPST nutzen konnten.⁴⁹⁹

In den 1970er Jahren war Adaptive Control (AC) auf nationaler und internationaler Ebene eine intensiv diskutierte Technologie, der in der Forschung ein großes Potenzial zugesprochen wurde. Hinter AC stand die Idee, die Grenzen von Maschine und Werkzeug automatisch auszuloten und auf die Grenzwerte zu regeln. Die theoretisch einfachste Anwendung von AC an einer Werkzeugmaschine war, bei einer Dreh- oder Fräsbearbeitung den Vorschub so lange zu erhöhen, bis Rattern⁵⁰⁰ auftrat. Dann musste der Vorschub wieder reduziert werden, bis das Rattern aufhörte. Von AC erhofften sich die Entwickler eine deutliche Produktivitätssteigerung, da damit die Werkstücke mit höheren Vorschüben und mit einem geringeren Sicherheitsabstand zur Rattergrenze gefertigt werden konnten, d. h. von AC wurde eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit erwartet. Auch die Programmierung wurde theoretisch einfacher, da ein eigentlich zu hoher Vorschub programmiert werden konnte, den die Steuerung beim Auftreten von Rattern automatisch reduzierte (vgl. hierzu auch Kapitel 7.5).

An den AC-Forschungen beteiligten sich mehrere westdeutsche Institute, das WZL mit einer Arbeit von Gather⁵⁰¹ zur Stabilisierung des Fräsprozesses durch Drehzahländerung und Schnitttiefenreduzierung. Leider stellte sich trotz anfänglich positiver Ergebnisse heraus, dass die Umsetzung in der Praxis scheiterte. Sensorik und Steuerungs-

⁴⁹⁴ Ein Prozessrechner unterscheidet sich von einem normalen Rechner dadurch, dass er bestimmte Programme immer wieder in einem festen zeitlichen Raster bearbeitet. Dies ist bei CNC-Maschinen zum Beispiel für die Erfassung der Istwerte der Achsen und die Ausgabe der Drehzahl Sollwerte an die Achsen zwingend erforderlich. Nur so kann ein gleichmäßiges und ruckfreies Verfahren der Achsen erreicht werden.

⁴⁹⁵ Derenbach (1974).

⁴⁹⁶ Grünert (1975).

⁴⁹⁷ Z. B. in der Sinumerik 810. Vgl. Schirdewahn/Sollmann (1985), S. 23.

⁴⁹⁸ Mehrprozessorsteuerungssystem.

⁴⁹⁹ Vgl. Werth (1983).

⁵⁰⁰ Unter Rattern wird bei Werkzeugmaschinen verstanden, dass die Maschine durch den Bearbeitungsprozess zu Schwingungen angeregt wird. Durch starke Schwingungen können Werkzeug und/oder Werkstück zerstört werden.

⁵⁰¹ Gather (1977).

technik waren noch nicht ausreichend weit entwickelt bzw. nicht leistungsfähig genug.⁵⁰²

Ein weiteres Forschungsthema in den 1970er Jahren waren Arbeiten zum Einsatz von Prozessrechnern an NC-Maschinen bzw. in der Fertigungstechnik. Rehr⁵⁰³ z. B. ging u. a. der Frage nach, ob durch die Kombination eines leistungsfähigen Prozessrechners mit Rumpf-NC-Steuerungen⁵⁰⁴ kostengünstigere DNC⁵⁰⁵-Systeme aufgebaut werden könnten.⁵⁰⁶ Obwohl Rehr Einsparungen für möglich hielt, konnten sich diese Systeme in der Praxis nicht durchsetzen.

Das WZL beschäftigte sich auch intensiv mit der NC-Programmierung und erarbeitete ab 1964/1965 zusammen mit dem Institut von Simon (TU Berlin) die Grundlagen der Programmiersprache EXAPT. Wegen des wachsenden Arbeitsumfangs wurden ab 1965 noch die Institute von Spur (ebenfalls TU Berlin) und Stute (TH Stuttgart) hinzugezogen.⁵⁰⁷ Das Entwicklungsziel war eine verbesserte Version des aus den USA stammenden NC-Programmiersystems APT, das auch technologische Werte, wie Vorschubgeschwindigkeit, Spindeldrehzahl und Hilfsfunktionen im NC-Programm berücksichtigte (vgl. Kapitel 4.13 mit weiteren Details).

Ein weiteres wichtiges Thema war die Wirtschaftlichkeit der NC-Bearbeitung. Maßberg,⁵⁰⁸ Stehle⁵⁰⁹ und Hormann⁵¹⁰ beschäftigten sich in ihren Dissertationen mit Kostenrechnungs- und Kalkulationsverfahren, die für die Entscheidung, ob die konventionelle Fertigung oder die NC-Fertigung günstiger war, herangezogen werden konnten (vgl. Kapitel 10).⁵¹¹

Zusammengefasst beschäftigte sich das WZL schon seit der Vorstellung der ersten NC-Maschine am MIT mit der NC-Technik und ist als größter deutscher Forschungsstandort für Werkzeugmaschinen dieser Technologie bis heute verbunden. Allerdings befinden sich die Forschungsschwerpunkte für einige Teilthemen an anderen Hochschulen. So wurden z. B. seit der 1965 erfolgten Einrichtung des Lehrstuhls Werkzeugmaschi-

⁵⁰² „Wenn auch die Idee richtig war, so scheiterte der AC-Gedanke jedoch an der technischen Umsetzbarkeit. Sensorik und steuerungstechnische Realisierung stießen auf unüberwindbare Schwierigkeiten. Mittlerweile sind diese Schwierigkeiten beseitigt, sodass viele der damals gemachten Überlegungen heute erst ihre Verwirklichung finden.“ Vitr/Weck (2006), S. 329–330.

⁵⁰³ Rehr (1972).

⁵⁰⁴ Der Grundgedanke war, den DNC-Prozessrechner auch für die rechenintensive Interpolation zu verwenden. Die NC-Steuerungen konnten dann einfacher aufgebaut sein und für das Gesamtsystem wurde eine Kostenreduzierung erwartet.

⁵⁰⁵ Direct Numeric Control (vgl. Kapitel 7.7.1)

⁵⁰⁶ Vgl. Vitr/Weck (2006), S. 337.

⁵⁰⁷ Vgl. Simon (1971), S. 392.

⁵⁰⁸ Maßberg (1965).

⁵⁰⁹ Stehle (1966).

⁵¹⁰ Hormann (1973).

⁵¹¹ Vgl. Engelskirchen/Eversheim (2006), S. 359.

nen B (später ISW) steuerungs- und regelungstechnische Fragestellungen hauptsächlich in Stuttgart bearbeitet (vgl. Kapitel 4.9.4). Das WZL konzentrierte sich mehr auf die maschinenbaulichen Aspekte der NC-Technik, griff aber immer wieder steuerungs-technische Fragestellungen auf, wie die Arbeit von Derenbach zur Verwendung von Prozessrechnern für NC-Steuerungen im Untersuchungszeitraum beispielhaft zeigt.

4.9.2 Das Institut für Spanende Technologie der Werkzeugmaschinen (ITW) der TH Darmstadt

Das heutige Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen an der Technischen Universität Darmstadt⁵¹² geht auf Prof. Heinrich Krauß zurück, der ab 1894 an der damaligen Technischen Hochschule mechanische Technologie lehrte. Von 1944 bis 1968 leitete Prof. Stromberger das Institut, das in dieser Zeit Institut für Spanende Technologie der Werkzeugmaschinen hieß.⁵¹³

Strombergers Institut war nach dem WZL das zweite westdeutsche Hochschulinstitut, das sich mit der NC-Technik beschäftigte. Das lässt sich aus einem 1957 veröffentlichten Fachaufsatz von Stromberger ableiten,⁵¹⁴ in dem er eine Versuchsmaschine seines Instituts beschreibt (Abbildung 29). Die konkreten Forschungsarbeiten wurden ab 1956 von seinem Assistenten Wilhelm Simon durchgeführt.⁵¹⁵ Dieser hatte sich nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs bis 1955 dem Wiederaufbau des Familienunternehmens Wilhelm Simon KG gewidmet bevor er 1956 mit 45 Jahren Assistent von Prof. Stromberger wurde und sich auf die NC-Technik konzentrierte. 1958 erhielt Simon an der TH Darmstadt einen Lehrauftrag über „Antriebe, Steuerung und Regelung von Werkzeugmaschinen“⁵¹⁶ und arbeitete an seiner Habilitation über „Steuerungsprobleme moderner Werkzeugmaschinen“⁵¹⁷. Diese schloss er 1960 ab. 1961 wurde er zum Dozenten ernannt.⁵¹⁸ Während seiner Habilitation arbeitete Simon eng mit Politsch zusammen, der 1961 „Über die Anwendung einer numerischen Zählersteuerung für einen neuzeitlichen Revolverdrehautomaten“⁵¹⁹ bei Stromberger promovierte.

⁵¹² Die heutige Technische Universität Darmstadt ging 1997 aus der Technischen Hochschule Darmstadt hervor. Diese wiederum entstand 1877 aus dem Darmstädter Polytechnikum. Vgl. o. V. (2017c), S. 476–480.

⁵¹³ Vgl. Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (2013), S. 8–9.

⁵¹⁴ Stromberger (1957).

⁵¹⁵ Vgl. Simon (1960a), S. 17. Leider konnte nicht geklärt werden, ob der Aufbau der im Artikel beschriebenen Lehr- und Versuchsanlage von Simon initiiert wurde. Dies ist allerdings naheliegend, da er schon ab 1956 als Assistent am ITW Darmstadt arbeitete. Vgl. Simon (1960b), gez. S. 162. Auch Politsch bestätigte, dass Simon schon 1956 bei Stromberger am ITW arbeitete und die Versuchsdrehmaschine aufbaute. Vgl. Politsch (16.01.2016), S. 18.

⁵¹⁶ Vgl. Simon (1960b), gez. S. 162.

⁵¹⁷ Simon (1960b).

⁵¹⁸ Vgl. Simon (1960b), gez. S. 162. Simon schrieb im Lebenslauf seiner Dissertation, dass er zum Dozenten ernannt wurde (nicht zum Privatdozenten).

⁵¹⁹ Politsch (1961b).

1963 fasste Simon seine Forschungsergebnisse, sein Wissen und seine Erfahrungen in dem Lehrbuch „Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen“⁵²⁰ zusammen, das schnell ein Standardwerk der westdeutschen Maschinenbauliteratur wurde.⁵²¹ 1964 wurde Simon ordentlicher Professor für „Automatisierung“ an der TU Berlin.⁵²²

Mit der Berufung von Simon nach Berlin war die NC-Steuerungstechnik am ITW (ab 1968 PTW⁵²³) im Untersuchungszeitraum kein zentrales Forschungsthema mehr. Politsch, der die Vorlesung von Simon übernahm,⁵²⁴ war in der Industrie tätig.⁵²⁵ Bis 1980 gab es nur noch die Dissertationen von Schulz⁵²⁶ (1966) und Lukas⁵²⁷ (1977), die im Titel einen Bezug zur NC-Technik hatten. Auch heute ist das PTW noch eines der großen produktionstechnischen Institute.

4.9.3 Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) und Institut für Produktionstechnische Automatisierung der TU Berlin

Im Untersuchungszeitraum forschten an der TU Berlin zwei Institute an der NC-Technik, nämlich das traditionsreiche IWF und das 1964 gegründete Institut für Produktionstechnische Automatisierung⁵²⁸.

Das IWF entstand aus dem 1904 an der TH Berlin-Charlottenburg⁵²⁹ gegründeten Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen, Fertigungsanlagen und Fabrikbetrieb. Mit seinem Versuchsfeld für Werkzeugmaschinen war es die erste Einrichtung in Deutschland, die neben der Lehre wissenschaftliche Forschung in einem industriellen Umfeld betrieb.⁵³⁰ Erster Lehrstuhlinhaber wurde 1904 Georg Schlesinger,⁵³¹ der „einer der Pioniere des Werkzeugmaschinenbaus und der Betriebswissenschaft“⁵³² war.

⁵²⁰ Simon (1963). 1971 erschien eine zweite, deutlich überarbeitete Auflage des Buchs. Simon (1971).

⁵²¹ Vgl. Spur (1991), S. 526.

⁵²² Vgl. o. V. (1964d), S. 2. Offiziell hatte der Lehrstuhl die Bezeichnung „Theoretischer Maschinenbau“.

⁵²³ Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen.

⁵²⁴ Politsch übernahm die Vorlesung von Simon spätestens zum WS 1965/66 (vgl. Universitätsarchiv der TU Darmstadt, Zs-7424; Technische Hochschule Darmstadt (1965), S. 85).

⁵²⁵ Vgl. Politsch (16.01.2016), S. 34.

⁵²⁶ „Das Zusammenwirken von Werkzeugmaschine und numerischer Steuerung“, Schulz (1966). Nach seinem Lebenslauf in der Dissertation muss Schulz Simon gut gekannt haben, da sie zur selben Zeit am ITW waren. Hauptberichter war der Institutsleiter Prof. Stromberger, Mitberichter war Prof. Winfried Oppelt (Darmstadt) und nicht Prof. Simon, der damals schon in Berlin war.

⁵²⁷ „Beitrag zur Lageregelung an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen“, Lukas (1977).

⁵²⁸ Der Lehrstuhl hatte zuerst den Namen „Theoretischer Maschinenbau“. Vgl. o. V. (1964d).

⁵²⁹ Die Technische Hochschule Berlin-Charlottenburg wurde nach dem Zweiten Weltkrieg als Technische Universität Berlin-Charlottenburg am 9.4.1946 wiedereröffnet. Vgl. Spur (2004), S. 347.

⁵³⁰ Vgl. Spur (2004), S. 98. Die Entwicklung des Lehrstuhls und seiner Einrichtungen von 1904 bis 1985 beschreibt Spur auf den Seiten 96–526.

⁵³¹ Vgl. Spur (2004), S. 107.

⁵³² Spur (1991), S. 481.

1965 wurde Günter Spur auf den Lehrstuhl des IWF berufen.⁵³³ Spur war zuvor Konstruktionsleiter des Bielefelder Drehmaschinenherstellers Gildemeister & Co. AG in Bielefeld gewesen⁵³⁴ und machte neben dem „Maschinenbau“ auch die NC-Technik zu einem seiner Forschungsthemen. Er nahm die numerischen Steuerungen in seine Vorlesungen auf.⁵³⁵ Zusammen mit den Werkzeugmaschineninstituten in Aachen und Stuttgart beteiligte sich das IWF schon ab 1965 an der Entwicklung der NC-Programmiersprache EXAPT, (vgl. Kapitel 7.6). Der Schwerpunkt der IWF-Arbeiten lag auf dem Programmteil für die Drehbearbeitung (EXAPT 2), zu dem Spur als ehemaliger Konstruktionsleiter von Gildemeister seine Erfahrung einbringen konnte.⁵³⁶ Etwa ab 1969/70 erweiterte das IWF seine Forschungsarbeiten auch auf die Steuerungstechnik. Erste Themen waren Maschinensteuerungen mit Prozessrechnern und Untersuchungen von DNC-Systemen.⁵³⁷ Aus den Arbeiten entstanden die Dissertationen von Adam⁵³⁸, Wentz⁵³⁹ und Duelen.⁵⁴⁰ Erwähnenswert ist auch noch die Dissertation von Pritschow (1972), die sich mit dem schon beim WZL erwähnten „Modethema“ Adaptive Control (AC) beim Drehen und Bohren beschäftigte und die von den Gebr. Boehringer in Göppingen unterstützt wurde (vgl. Kapitel 5.1).⁵⁴¹

Spur baute das IWF zügig aus: 1965, zum Zeitpunkt seiner Berufung, hatte das IWF fünf wissenschaftliche Mitarbeiter, 1970 waren es 25⁵⁴² und 1976 zählte das Institut schon knapp 70 Mitarbeiter (davon etwa 28 in der Verwaltung). Daran änderte sich dann bis 1985 nur wenig.⁵⁴³ Das lag am 1976 begonnenen Aufbau eines Parallelinstituts zum IWF, dem Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA-Berlin, ab 1980 IPK⁵⁴⁴) unter dem Dach der Fraunhofer-Gesellschaft, das bis 1985 auf über 200 Mitarbeiter expandierte.⁵⁴⁵

⁵³³ Vgl. o. V. (1965a), S. 1.

⁵³⁴ Vgl. Spur (2004), S. 400.

⁵³⁵ Vgl. Spur (2004), S. 414.

⁵³⁶ Vgl. Spur (2004), S. 420.

⁵³⁷ Vgl. Spur (2004), S. 425.

⁵³⁸ Adam (1973a).

⁵³⁹ Wentz (1973).

⁵⁴⁰ Duelen (1973).

⁵⁴¹ Pritschow (1972). Ein Teil der praktischen Untersuchungen für seine Dissertation führte Pritschow bei den Gebr. Boehringer in Göppingen an deren Maschinen durch (vgl. Kapitel 5.1).

⁵⁴² Vgl. Spur (2004), S. 409.

⁵⁴³ Vgl. Spur (2004), S. 469–470.

⁵⁴⁴ Erste Gespräche zur Gründung einer „Berliner Versuchsanstalt für Produktionstechnik“ wurden 1972 im Umfeld der Bleibeverhandlungen von Spur geführt. Es dauerte dann aber noch vier Jahre, bis das IPA-Berlin am 1.9.1976 offiziell die Arbeit aufnahm. Formal war es in der Anfangsphase mit dem Stuttgarter IPA-Institut verbunden, das als Vorbild fungierte. Im Januar 1980 wurde das IPA-Berlin in ein eigenständiges Fraunhofer-Institut überführt und änderte seinen Namen in „Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik“ (IPK). Vgl. Spur (2004), S. 458–459.

⁵⁴⁵ Vgl. Spur (2004), S. 469–470. Ein Vorteil der Fraunhofer-Institute ist, dass sie personell freizügiger agieren und einfacher Drittmittel zur Finanzierung einwerben können.

In der ersten Phase bis 1980 wurden vom IPA-Berlin mehrere Industrieprojekte bearbeitet, die sich mit der Entwicklung spezieller (NC-)Steuerungen beschäftigten. Darunter waren z. B. die Entwicklung eines in die NC-Steuerung integrierten Programmiersystems für die werkstattgerechte Dateneingabe bei Drehmaschinensteuerungen und die Entwicklung einer „Rechnersteuerung für Schleifmaschinen mit automatischer Abrichteinrichtung“.⁵⁴⁶

Noch vor der Berufung Spurs zum Leiter des IWF hatte die TU Berlin 1964 die Bedeutung der Automatisierungstechnik für den Maschinenbau erkannt und Wilhelm Simon aus Darmstadt als ordentlichen Professor auf den Lehrstuhl I „Theoretischer Maschinenbau“ berufen.⁵⁴⁷ Lehrstuhl und Institut wurden im März 1966 in „Lehrstuhl für Automatisierung und Institut für Produktionstechnische Automatisierung“ umbenannt.⁵⁴⁸

Anfangs arbeitete Simon eng mit dem IWF zusammen. Deutlich wird das daran, dass Simon von 1966 bis 1970 an sieben von 14 Dissertationen am IWF als Haupt- oder Mitberichter mitwirkte.⁵⁴⁹ Außerdem arbeitete auch Simons Institut in den ersten Jahren an der EXAPT-Entwicklung mit (vgl. Kapitel 7.6). Die enge Zusammenarbeit verringerte sich ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahre und hatte mehrere Ursachen. Zum einen wurde Simons Institut bei der Umstrukturierung der TU Berlin 1971 dem neu geschaffenen Fachbereich Kybernetik zugeordnet⁵⁵⁰ und zum anderen hatten sich Simons Forschungsschwerpunkte verändert. Schon 1966 war aus Sicht der in der HGF organisierten Professoren bei Simon die originäre NC-Technik in den Hintergrund getreten. Sie verweigerten ihm die deshalb vorläufig die Aufnahme in die HGF, weil „sein derzeitiges Arbeitsgebiet: Programmiersprachen, Auswirkungen der Automatisierung in soziologischer Hinsicht, Wirtschaftlichkeit numerischer Steuerungen, am Rande der Fertigungstechnik liegt“⁵⁵¹. Simon änderte aber seine neuen Forschungsschwerpunkte nicht. So nennt 1968 die Informationsbroschüre des Zentrums für Zukunftsforschung in Simons Lebenslauf folgende aktuelle Arbeitsgebiete: Mensch-Maschine-Kommunikation, Ganzheitsbetrachtung von technischen, wirtschaftlichen und soziologischen Aspekten der Automatisierung und Pädagogik (programmierter Unterricht). Als Verbindungen zur Zukunftsforschung werden aufgeführt: Zusammenhänge zwischen technologischer Entwicklung, Veränderung von Arbeitsplatzstrukturen und Ar-

⁵⁴⁶ Vgl. Spur (2004), S. 475.

⁵⁴⁷ Vgl. o. V. (1964d), S. 1–2.

⁵⁴⁸ Vgl. o. V. (1966).

⁵⁴⁹ Vgl. Spur (2004), S. 436–437 (tabellarische Übersicht der Dissertationen am IWF von 1966 bis 1975).

⁵⁵⁰ Vgl. Weber (1971), S. 134–135.

⁵⁵¹ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 148; Lange (Juli 1966a), S. 7.

beitsqualifikationen.⁵⁵² Auch Brödner, von 1968 bis 1974 Assistent an Simons Institut, bestätigte diese Forschungsschwerpunkte.⁵⁵³

Konsequenterweise gab Simon auch den Vorsitz im Unterausschuss „Informationsverarbeitung“ beim VDI ab, den er seit 1959 innehatte. Ihn übernahm spätestens 1970 Stute.⁵⁵⁴ Sogar aus der EXAPT-Entwicklung zog sich Simon zurück,⁵⁵⁵ obwohl EXAPT auf eine Initiative des von ihm geleiteten VDI-Ausschuss zurückging.⁵⁵⁶

Dennoch blieb Simon der NC-Technik verbunden. 1971 erschien eine stark überarbeitete Neuauflage seines Buchs über die NC-Technik von 1963.⁵⁵⁷ Sein Mitarbeiter Clausnitzer fertigte noch 1974 eine Untersuchung über den NC-Einsatz in der Bundesrepublik Deutschland an.⁵⁵⁸ Simon selbst betreute aber ab 1970 hauptsächlich Dissertationen, die sich mit EDV⁵⁵⁹-Fragestellungen in der Fertigung beschäftigten. Zum 30.9.1974 wurde Simon auf eigenen Antrag in den Ruhestand versetzt.⁵⁶⁰

4.9.4 Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der TH Stuttgart

An der TH Stuttgart⁵⁶¹ war die Ausgangslage etwas anders. Um 1960 leitete Prof. Alfred Erhardt das Institut für Werkzeugmaschinen, an dem sich bis zu diesem Zeitpunkt niemand mit der NC-Technik beschäftigt hatte.⁵⁶² Außerdem gab es das Institut für „Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb“ (IFF), das seinen Schwerpunkt bei der Fabrikorganisation und -automatisierung hatte.⁵⁶³ Dazu gehörte auch die Verwendung von

⁵⁵² Vgl. Zentrum Berlin für Zukunftsforschung (1968), S. 25.

⁵⁵³ Vgl. Brödner (07.04.2016), S. 4.

⁵⁵⁴ Vgl. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (1970), S. 18. Das genaue Datum des Übergangs des Vorsitzes des Unterausschusses von Simon auf Stute konnte nicht ermittelt werden, da in der Zeitschrift Werkstatttechnik, die auch Organ der ADB ist, in den Jahresberichten die Vorsitzenden der Unterausschüsse nicht aufgeführt wurden und das VDI-Archiv keine Sitzungsprotokolle mehr hat. Der erste Nachweis, dass Stute den Vorsitz des Unterausschusses Informationsverarbeitung übernommen hatte, findet sich in der Schrift zum 50-jährigen Jubiläum der ADB. Die ersten Tätigkeitsberichte des ISW führen (im Unterschied zu den Berichten ab 1971) auch nicht die Tätigkeiten des ISW in Gremien auf.

⁵⁵⁵ Vgl. Brödner (07.04.2016), S. 8. Brödner war der Meinung, dass Simon bei EXAPT auch eine mehr maschinenorientierte Programmierung erreichen wollte, was von den anderen Instituten nicht unterstützt wurde. Für diese Sicht wurde aber kein anderer Beleg gefunden.

⁵⁵⁶ Vgl. Simon (1971), S. 392.

⁵⁵⁷ Simon (1971).

⁵⁵⁸ Clausnitzer (1974).

⁵⁵⁹ Elektronische Datenverarbeitung.

⁵⁶⁰ Vgl. Universitätsbibliothek TU Berlin, Abt. Hochschularchiv (1974), S. 370.

⁵⁶¹ Die TH Stuttgart wurde 1967 in Universität Stuttgart umbenannt, um den Ausbau der nichttechnischen Fächer auch im Namen auszudrücken. Vgl. Becker (2004), S. 39.

⁵⁶² Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart (2017).

⁵⁶³ Vgl. Spaeth (2008), S. 17–18.

NC-Maschinen (nicht aber deren Entwicklung) in der Fertigung, wenn diese Rationalisierungsvorteile versprochen.

Dolezalek, seit 1955 Leiter des IFF, war ein überzeugter „Automatisierer“. Um die Automatisierung auf eine breitere Basis zu stellen, gründete er 1955 im VDI den ADB-Ausschuss⁵⁶⁴ „Automatisierung in der Fertigung“⁵⁶⁵, den er auch als Obmann leitete.⁵⁶⁶ Dolezalek war bestens vernetzt und ein Verfechter der NC-Technik. 1959 übertrug er deshalb, wie schon mehrfach erwähnt, Simon die Leitung des neuen Unterausschusses „Informationsverarbeitung“⁵⁶⁷

1960 empfahl der Wissenschaftsrat⁵⁶⁸, an der TH Stuttgart mehrere neue Lehrstühle einzurichten. Darunter war auch der „Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen B“.⁵⁶⁹ Die Mittel für den neuen Lehrstuhl sollten schon für den Haushalt 1963 beantragt werden, wie aus einem Schreiben von Quack (Juli 1962) an die Fakultät für Maschinenwesen hervorgeht.⁵⁷⁰ Vom zuständigen Dekan Weise wurden die Mittel jedoch erst Ende Januar 1963 beantragt. Die Begründung für den neuen Lehrstuhl formulierte Dolezalek auf Bitte von Weise.⁵⁷¹ Aus ihr kann herausgelesen werden, dass Dolezalek einen Lehrstuhl favorisierte, der sich mit numerischen Steuerungen beschäftigte:

Der Werkzeugmaschinenbau war in der Vergangenheit im Wesentlichen darauf konzentriert, bestimmte technologische Vorgänge mit größtmöglicher Leistung und vielseitiger Einsatzmöglichkeit zu schaffen. Dabei ist der Gesichtspunkt des schnellen Durchlaufs der Erzeugnisse durch die Fabrikation der fertigungstechnischen Industrie weitgehend vernachlässigt worden. Es erscheint notwendig, dieser Frage bei der Maschinenentwicklung in Zukunft besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, wobei gleichzeitig die Frage der numerischen Kontrolle solcher Fließfertigungsanlagen besondere Beachtung verdient.⁵⁷²

⁵⁶⁴ VDI-Fachgruppe Betriebstechnik; Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure.

⁵⁶⁵ Vgl. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (1970), S. 10 und vgl. Burkhardt (1969), S. VIII. Das Ziel des Ausschusses war es, „Richtlinien zur Verbesserung und Vereinfachung der Automatisierung in der Fertigung auszuarbeiten.“ 1966 war der Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ mit 12 Unterausschüssen und 250 Mitgliedern der größte der ADB. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 203a; Dolezalek (08.12.1966).

⁵⁶⁶ Vgl. Pavel (2004), S. 259.

⁵⁶⁷ Vgl. Zentrum Berlin für Zukunftsforschung (1968), S. 25 und vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 244 b; ADB, Ausschuss Automatisierung in der Fertigung (26.10.1960), vorletzte Umschlagseite Sonderdruck.

⁵⁶⁸ Der Wissenschaftsrat wurde 1957 von der Bundesregierung und den Ländern gegründet. Er sollte u. a. Empfehlungen für den Ausbau der wissenschaftlichen Hochschulen erarbeiten. Vgl. o. V. (1960c), S. 6–7.

⁵⁶⁹ In der Empfehlung des Wissenschaftsrats wurde der zusätzliche Lehrstuhl noch als „Ordinarius für Maschinenelemente“ bezeichnet. Vgl. o. V. (1960c), S. 371.

⁵⁷⁰ Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 65, Nr. 15, Lasche 902; Quack (13.07.1962), S. 4.

⁵⁷¹ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 81, Nr. 1; Weise (23.01.1963).

⁵⁷² Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 81, Nr. 1; Weise (29.01.1963).

Dolezalek hatte auch schon Kandidaten im Auge. Er schrieb deshalb Dekan Jehlicka am 13. August 1963:

Wie ich ebenfalls erfahren habe, steht einer der von mir ins Auge gefassten Kandidaten auf einer Berufsungsliste für eine andere Technische Hochschule. Wir müssen daher schnell erreichen, daß ein Ruf nach Stuttgart so frühzeitig ergeht, daß wir dabei die erste Hand haben.⁵⁷³

Trotz des Drucks von Dolezalek verzögerte sich das Berufsungsverfahren für den Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen B. Nach dem Bericht des Dekans Hess vom 18. Januar 1965 einigte sich der Berufungsausschuss erst am 17.2.1964 auf den fachlichen Schwerpunkt des neuen Instituts. Neben dem Gebiet der Steuerungstechnik war die Ausrichtung auf Arbeitsmaschinen (z. B. Montagemaschinen, Verpackungsmaschinen) oder einfach ein Parallellehrstuhl zum vorhandenen Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen diskutiert worden. Am Ende entschied sich der Berufungsausschuss dann doch für die Steuerungstechnik.⁵⁷⁴

Angesichts der Tatsache, daß von der Fakultät für Maschinenwesen bei Beantragung des Lehrstuhls Werkzeugmaschinen B von vornherein die Ausrichtung auf die Steuerungstechnik ins Auge gefaßt worden war, entschied sich der Berufungsausschuß für diese Richtung.⁵⁷⁵

Auf Platz eins der Berufsungsliste wurde am 9.12.1964 von der Fakultät Maschinenwesen Gottfried Stute gesetzt, der bei der AEG in Frankfurt auf dem Gebiet der Automatisierung von Werkzeugmaschinen arbeitete. Stute hatte 1959 als Elektrotechniker bei Opitz in Aachen promoviert.⁵⁷⁶ Die Bestätigung von Stute durch den baden-württembergischen Ministerpräsidenten erfolgte im Juli 1965. Stute trat seine Stelle am 1.9.1965 an.⁵⁷⁷ Nach seiner Berufung strebte Stute eine Namensänderung seines Lehrstuhls an, die das Arbeitsgebiet mehr zum Ausdruck bringen sollte. Mit Schreiben des Kultusministeriums vom 13.12. 1966 wurde die Namensänderung in „Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen“ genehmigt.⁵⁷⁸

Stute baute das Institut durch Einwerben von Drittmitteln (staatlich finanzierte Forschungsprojekte und Industrienaufträge) schnell auf eine beachtliche Größe aus. So zählte z. B. der Jahresbericht 1972 neben der Institutsleitung schon 26 wissenschaftli-

⁵⁷³ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 81, Nr. 1; Dolezalek (13.08.1963). Vermutlich meinte Dolezalek Wilhelm Simon, der 1964 einen Ruf nach Berlin erhielt.

⁵⁷⁴ Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 81, Nr. 1; Hess (18.01.1965), S. 1–2.

⁵⁷⁵ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 81, Nr. 1; Hess (18.01.1965), S. 2.

⁵⁷⁶ Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 81, Nr. 1; Hess (18.01.1965), S. 3 und Anlage 1a–1d.

⁵⁷⁷ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 81, Nr. 1; Technische Hochschule Stuttgart (15.09.1965).

⁵⁷⁸ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 65, Nr. 5, Lasche 907; Kultusministerium Baden-Württemberg (13.12.1966).

che Mitarbeiter, sieben Mitarbeiter als technisches Personal und drei Verwaltungsmitarbeiter auf.⁵⁷⁹ Als laufende Forschungsarbeiten waren viele Projekte aufgeführt; darunter Arbeiten zu Programmiersystemen, digitaler Signalverarbeitung, Konstruktion, Steuerungstechnik sowie Antriebs- und Regelungstechnik. Bemerkenswert war, dass Stute nach sieben Jahren schon Vorsitzender mehrerer Gremien war. Dazu gehörten der „Ausschuss für angewandte Forschung“ bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Vorsitz der „Hochschulgruppe Fertigungstechnik“ (HGF) und der Vorstand der „Forschungsvereinigung Programmiersprachen“.⁵⁸⁰

Bis zum Jahr 1980 wuchs das Institut weiter. Der Jahresbericht nannte 45 wissenschaftliche Mitarbeiter, sechs Mitarbeiterinnen im Verwaltungsbereich und zwölf Beschäftigte im technischen Bereich. Dazu kamen rund 55 ungeprüfte wissenschaftliche Hilfskräfte (1972 war es noch etwa die Hälfte).⁵⁸¹ Stute war es gelungen, in nur fünfzehn Jahren ein großes Universitätsinstitut aufzubauen, das stark von der für den Maschinenbau immer wichtiger werdenden Steuerungs- und Antriebstechnik profitierte.

Auch Stutes wissenschaftliches Wirken hatte eine beachtliche Größenordnung. Bis zu seinem frühen Tod am 10.8.1982 wurden von ihm 49 Dissertationen betreut.⁵⁸² In seinem Beitrag über Stute zum 175-jährigen Jubiläum der Universität Stuttgart fasste Stutes langjähriger Mitarbeiter und Stellvertreter Storr, die wichtigsten Forschungsschwerpunkte Stutes zusammen:⁵⁸³

- Entwicklung des Programmiersystems EXAPT zusammen mit dem Aachener Professor Opitz und den Berliner Instituten von Simon und Spur (vgl. Kapitel 7.6).
- Entwicklung von Regeln und Methoden zur Einstellung von Antrieben an Werkzeugmaschinen. Die Methoden wurden dann im Lageregelseminar⁵⁸⁴ vermittelt, das noch heute unter seinem ursprünglichen Namen, wenn auch mit anderen Inhalten, immer wieder abgehalten wird.
- Entwicklung, Aufbau und Betrieb eines flexiblen Fertigungssystems im Rahmen eines Sonderforschungsbereichs bestehend aus vier verketteten Bearbeitungsstationen.

⁵⁷⁹ Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1972), S. 21–22.

⁵⁸⁰ Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1972), S. 8–10.

⁵⁸¹ Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1980), S. 26–27.

⁵⁸² Vgl. Storr (2004), S. 282–283.

⁵⁸³ Vgl. Storr (2004), S. 280–282 für die folgenden vier Punkte.

⁵⁸⁴ Das erste in den Jahresberichten erwähnte Lageregelseminar wurde vom 23. bis zum 25.3.1972 abgehalten. Titel: Die Lageregelung an Werkzeugmaschinen. Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1972), S. 19. Nach den Erinnerungen von Schmid entstand das Seminar aus vom ISW durchgeführten Schulungen bei den Gebr. Boehringer in Göppingen. Vgl. Schmid (13.05.2016), S. 5.

nen mit integrierter Werkstück- und Werkzeuglagerung sowie einer verknüpften Messstation.⁵⁸⁵

- Konzeption und Entwicklung des Mehrprozessorsteuerungssystems (MPST) im Rahmen eines Verbundvorhabens, bestehend aus standardisierten wiederverwendbaren Soft- und Hardwaremodulen, zusammen mit verschiedenen Instituten und Unternehmen unter der Führung von Stute. Die Vision des Projekts war es, mit MPST einen Standard zu entwickeln, den alle Steuerungshersteller nutzen konnten.

Nach dem Tod Stutes übernahm 1984 Prof. Günter Pritschow die Institutsleitung. Nach seiner Emeritierung 2005 wurde er von Prof. Alexander Verl abgelöst. An der grundsätzlichen Ausrichtung des Instituts änderte sich unter Pritschow und Verl nur wenig.⁵⁸⁶ Auch die Mitarbeiterzahl hatte Anfang 2021 mit 57 noch eine ähnliche Größenordnung wie 1980.⁵⁸⁷

Zusammengefasst war es Stute in wenigen Jahren gelungen, ein Institut aufzubauen, das auf dem „Forschungsmarkt“ für Steuerungstechnik eine wichtige Rolle spielte. Insofern bewahrheiteten sich die Überlegungen Dolezaleks, dass Bedarf an einem Institut mit steuerungstechnischem Schwerpunkt besteht. Hinzu kam, dass mit Stute ein Institutsleiter berufen wurde, der neben seiner wissenschaftlichen Qualifikation auch Geschick bei der Akquisition von Forschungsaufträgen hatte. Seine Nachfolger Pritschow und Verl knüpften an die Erfolge Stutes an und führten das Institut ohne große Änderungen an der prinzipiellen Ausrichtung erfolgreich weiter.

4.9.5 Zusammenarbeit der Hochschulinstitute

Die produktionstechnischen Hochschulinstitute in Aachen, Berlin und Stuttgart arbeiteten auf vielfältige Art und Weise zusammen und waren in das produktionstechnische Innovationssystem eingebunden (vgl. Kapitel 4.4). Alle Varianten der Zusammenarbeit und des Informationsaustausches darzustellen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, deshalb sollen hier nur die wichtigsten angesprochen werden. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen dem organisierten Austausch von Informationen und Forschungsergebnissen und der gemeinsamen Arbeit an größeren Forschungsprojekten, bei denen die Institute die Bearbeitung der Aufgaben untereinander aufteilten, manchmal auch unter Einbeziehung von Firmen in Verbundprojekten.

⁵⁸⁵ Erwähnt werden sollte auch noch die Mitgestaltung des DNC-Systems bei den Heidelberger Druckmaschinen durch zwei Doktoranden des ISW (vgl. Kapitel 6.1).

⁵⁸⁶ Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart (2021a).

⁵⁸⁷ Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart (2021b).

Der wissenschaftliche Informationsaustausch unter den Instituten erfolgte hauptsächlich in der Hochschulgruppe Fertigungstechnik (HGF).⁵⁸⁸ Die HGF geht auf die Hochschulgruppe Betriebswissenschaft (HGB) zurück, die 1937 auf der Leipziger Frühjahrsmesse mit Unterstützung des VDW gegründet wurde. In der HGB waren ursprünglich alle Lehrstühle für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaft des Deutschen Reichs vertreten.⁵⁸⁹

Nach dem Zweiten Weltkrieg ruhte die HGB bis Ende 1947. Auf Anregung von Otto Kienzle fand das erste Nachkriegstreffen 1948 in Wiesbaden statt.⁵⁹⁰ Dabei wurde als Abgrenzung zur Vorkriegszeit die Namensänderung in HGF beschlossen.⁵⁹¹ 1987 erfolgte die Umbenennung in „Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik“ (WGP).⁵⁹²

Die Kriterien für eine Mitgliedschaft waren streng. So wurde z. B. 1966 die Mitgliedschaft des NC-Pioniers Simon abgelehnt, „da sein derzeitiges Arbeitsgebiet: Programmiersprachen, Auswirkungen der Automatisierung in soziologischer Hinsicht, Wirtschaftlichkeit numerischer Steuerungen, am Rande der Fertigungstechnik liegt.“⁵⁹³

Um insbesondere die Entscheidungsträger bei den Werkzeugmaschinenherstellern besser über die Forschungen der HGF-Institute zu informieren, wurden ab 1968 die „Kurzberichte der HGF“ herausgegeben.⁵⁹⁴ Ob diese den Bekanntheitsgrad der Institute und ihrer Forschungsergebnisse tatsächlich verbesserten, ist nicht erwiesen. Tatsache aber ist, dass die großen HGF-Institute bis in die 1980er Jahre einen hohen Personalzuwachs hatten, der wahrscheinlich mehr auf die Zusammenarbeit im produktionstechnischen Innovationssystem als auf die HGF-Kurzberichte zurückzuführen war.

⁵⁸⁸ Die Geschichte der HGF bis 1987 ist ausführlich in der Festschrift zu ihrem 50-jährigen Jubiläum beschrieben. Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik (1987). Spur ging darin auf die Vorgeschichte der HGF ein. Danach arbeiteten die späteren HGB-Institute schon ab Mitte der 1920er Jahre zusammen; ihre Professoren trafen sich auf den Leipziger Frühjahrsmessen mit dem VDW. Die Gründung der HGB stand nach Spur nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der NS-Rüstungswirtschaft. Sie war aber Voraussetzung dafür, dass das Reichswirtschaftsministerium kein zentrales Forschungsinstitut für Werkzeugmaschinen gründete. Durch die HGB wurden die Arbeiten besser abgestimmt und koordiniert. Vgl. Spur (1987b), S. 17–21.

⁵⁸⁹ Vgl. Spur (2004), S. 330–334.

⁵⁹⁰ Vgl. Archiv Otto Kienzle bei Prof. Tönshoff, 25 Jahre Hochschulgruppe Fertigungstechnik 1937–1962; Kienzle (17.04.1962), S. 6.

⁵⁹¹ Vgl. Spur (1991), S. 429. Das genaue Datum der Namensänderung in HGF wird nirgends genannt.

⁵⁹² Vgl. Spur (2004), S. 342–343.

⁵⁹³ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 148; Lange (Juli 1966b), S. 7.

⁵⁹⁴ Die „Kurzberichte der Hochschulgruppe Fertigungstechnik der Technischen Hochschulen und Universitäten der Bundesrepublik Deutschland“ erschienen von 1968 bis 1988 im Girardet-Verlag in Essen. Danach wurden sie noch zwei Jahre von der WGP herausgegeben. Die Frage, wie die Forschungsergebnisse der Institute am besten die Firmen erreichen, wurde lange auf den Sitzungen der HGF diskutiert. Der Karlsruher Professor Victor teilte auf der gemeinsamen Sitzung mit dem VDW am 28. April 1967 mit, dass hierzu Kurzberichte beim Girardet-Verlag erscheinen würden. Für eine möglichst hohe Abonnentenzahl erwartete die HGF die Unterstützung des VDW. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 148; Lange (Mai 1967), S. 4.

Um den internationalen Informationsaustausch der Produktionswissenschaft zu fördern, wurde 1951 die internationale Akademie für Produktionstechnik CIRP⁵⁹⁵ gegründet⁵⁹⁶, bei der alle bedeutenden westdeutschen Produktionsforscher Mitglied waren.⁵⁹⁷ Ähnlich wie die HGF hält auch CIRP regelmäßig Tagungen ab und veröffentlicht ihre Forschungsergebnisse in einer Zeitschrift.⁵⁹⁸

Die HGF-Institute suchten auch über Kolloquien den Weg in die breitere Öffentlichkeit, um über ihre aktuellen Entwicklungen (und damit auch über ihre Erkenntnisse zur NC-Technik) zu informieren und diese öffentlichkeitswirksam zu diskutieren. Das älteste ist das Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium (AWK), zu dem Opitz erstmals 1948 eingeladen hatte⁵⁹⁹ und das noch heute regelmäßig stattfindet.⁶⁰⁰

In Stuttgart organisierte Dolezalek vom Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) 1957 zusammen mit den VDI-Fachgruppen Konstruktion und Betriebstechnik erstmals die Tagung „Automatisierung der Fertigung“.⁶⁰¹ Sie fand bis 1967 fünfmal statt.⁶⁰² Ab 1970 wurde sie dann ohne den VDI, dafür aber zusammen mit weiteren Instituten unter dem Namen „Fertigungstechnisches Kolloquium“ (FTK) weitergeführt.⁶⁰³ Das vorerst letzte FTK fand 2012 statt.⁶⁰⁴

In Berlin lud Spur vom Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik 1975 erstmals zum „Produktionstechnischen Kolloquium“ (PTK) ein.⁶⁰⁵ Auch das Berliner Kolloquium findet bis heute noch regelmäßig statt.⁶⁰⁶

Gemeinsam ist allen Kolloquien bis heute, dass in den Vorträgen nicht nur die einladenden Hochschulinstitute zu Wort kommen, sondern auch andere in- und ausländische Institute. Auch Vertreter aus der Industrie halten regelmäßig Gastvorträge, um die enge Zusammenarbeit zwischen Theorie und Praxis zu unterstreichen, aber auch, um aus Sicht der Unternehmen auf Forschungsdesiderate hinzuweisen.

⁵⁹⁵ Collège International de Recherche en Production.

⁵⁹⁶ Die ausführliche Geschichte von CIRP bis 1991 findet sich im „CIRP HISTORY BOOK“. Vgl. Remmerswaal (1991).

⁵⁹⁷ Vgl. Spur (1991), S. 486.

⁵⁹⁸ Die Forschungsergebnisse werden in den „CIRP annals“ veröffentlicht, die heute noch erscheinen.

⁵⁹⁹ Vgl. Spur (1991), S. 482.

⁶⁰⁰ Aktuell findet das AWK alle drei Jahre mit einer hohen Teilnehmerzahl statt. Seit 2005 hatte das AWK z. B. immer über 1000 Teilnehmer (ältere Zahlen liegen nicht vor). Das letzte AWK fand 2017 mit 1300 Teilnehmern statt. Vgl. Privatarhiv Thomas Wissert, AWK 1; Meurer (10.08.2020).

⁶⁰¹ Die Vorträge der Tagung finden sich in Verein Deutscher Ingenieure (1958).

⁶⁰² Die letzte Tagung der Reihe vor dem FTK hatte den leicht modifizierten Titel „Automatisierung in der industriellen Fertigung“ und fand 1967 statt. Die Vorträge finden sich in VDI (1968).

⁶⁰³ Vgl. auch Spur (1991), S. 485; Spur terminiert die erste Automatisierungstagung in Stuttgart auf 1959. Sie war jedoch schon 1957. Vgl. Verein Deutscher Ingenieure (1958).

⁶⁰⁴ Gesellschaft für Fertigungstechnik u. a. (2012).

⁶⁰⁵ Spur (2004), S. 448.

⁶⁰⁶ Das XVI. PTK fand vom 12. bis 13. 9. 2019 statt. Vgl. Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (2019).

Spätestens ab Ende der 1970er Jahre war es üblich, dass die Institute während der Kolloquien ihre aktuellen Forschungen an Exponaten in den Instituten vorführten.⁶⁰⁷

Eines der ersten Projekte, bei denen die produktionstechnischen Hochschulinstitute in Aachen, Berlin und Stuttgart eng zusammenarbeiteten, war die Entwicklung der NC-Programmiersprache EXAPT. Diese sollte einige Schwächen (z. B. fehlende Technologiewerte) der US-Entwicklung APT beseitigen. Auch wenn die ersten Arbeiten von der DFG gefördert wurden, finanzierte die Weiterentwicklung zu einem wesentlichen Teil schon ab 1967 der industriegetragene EXAPT-Förderverein. EXAPT wurde so ein Beispiel für einen erfolgreichen Technologietransfer (vgl. Kapitel 4.13).

Für die Bearbeitung umfangreicher und interdisziplinärer Forschungsprojekte waren die einzelnen Universitätsinstitute zu klein und zu schmal aufgestellt. Um größere Projekte in der Grundlagenforschung bearbeiten zu können, wurden deshalb auf Anregung des Wissenschaftsrats von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) 1968 Sonderforschungsbereiche (SFB) ausgeschrieben, die vom Bund und den Ländern finanziert wurden. In den SFBs arbeiteten mehrere Institute einer Universität in einem Forschungsprojekt zusammen. Die Sonderforschungsbereiche waren langfristig angelegt und konnten bis zu zwölf Jahre dauern; in der Anfangsphase waren sogar noch längere Laufzeiten möglich.⁶⁰⁸ Kurz nach ihrer Einführung wurden 1968 an der RWTH Aachen der SFB 55 „Fertigungstechnik“ und an der TU Berlin der SFB 57 „Produktionstechnik und Automatisierung“ gegründet.

Der SFB 55 mit dem Untertitel „Prozeßsteuerung in der Fertigungstechnik“, der von 1968 bis 1983 an der RWTH Aachen lief, untersuchte die „Grundlagen und Voraussetzungen für den Einsatz flexibler automatischer Fertigungseinrichtungen für die diskontinuierliche Stückgutfertigung im Bereich mittlerer und kleiner Serien bis zur Einzel-fertigung“.⁶⁰⁹ Er wurde über seine Laufzeit mit 47 Mio. DM gefördert.⁶¹⁰ Der SFB hatte 14 Teilprojekte, wovon zwei der am WZL bearbeitete Teilprojekte für die NC-Technologie relevant waren: Das Teilprojekt A1 „Überwachungssysteme für spanende Fertigungsverfahren als Beitrag zur Automatisierung des Fertigungsablaufs“ und das Teilprojekt A4 „Entwicklung adaptiver Regelungssysteme für das Fräsen“.⁶¹¹

Das Teilprojekt A1 umfasste Grundlagenuntersuchungen zur Erkennung des Werkzeugverschleißes beim Drehen und Fräsen. Ziel war es, durch Werkzeugüberwa-

⁶⁰⁷ Ein entsprechender Hinweis findet sich z. B. vor dem Inhaltsverzeichnis des FTKs von 1979. FTK (1979). Über Vorführungen für einen kleineren Kreis wurde aber schon von früheren Kolloquien berichtet, z. B. vom AWK 1956. Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282; Mohr (13.12.56), S. 1.

⁶⁰⁸ Vgl. Streiter (2008).

⁶⁰⁹ Vgl. Rake (1983), S. 1.

⁶¹⁰ Vgl. Rake (1983), S. 2.

⁶¹¹ Vgl. Rake (1983), S. 7.

chungssysteme verschlissene Werkzeuge rechtzeitig zu erkennen, um Werkzeugbruch und damit teure Störungen in der Fertigung möglichst zu vermeiden. Hierzu gehörte auch die Entwicklung geeigneter Sensoren.⁶¹² Die Ergebnisse waren so vielversprechend, dass der am Projekt beteiligte Mitarbeiter Kluft nach seiner Dissertation die Forschungsergebnisse mit seiner Firma Prometec vermarktete.⁶¹³ Das Ergebnis war so gesehen ein gelungener Technologietransfer.

Im Teilprojekt A4 sollten adaptive Regelungssysteme (AC-Systeme) für das Fräsen entwickelt werden. Hierzu wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt und neue Regelungskonzepte für die Antriebe auf digitaler Basis mit einem Zustandsregler ausgetestet.⁶¹⁴ Hier stellte sich leider heraus, dass die technischen Voraussetzungen für einen praktischen Einsatz in der Industrie noch nicht ausreichten⁶¹⁵ (vgl. hierzu auch Kapitel 7.5). Die Ergebnisse trugen aber dazu bei, den Zerspanungsprozess besser zu verstehen und langfristig die Prozesssicherheit der NC-Maschinen zu verbessern.

Im Berliner SFB 57 „Fertigungstechnik“ arbeiteten ab 1969 die Institute für Arbeitswissenschaft (Prof. Schulte), Automatisierung (Prof. Simon), Feinwerktechnik (Prof. Schweizer), Mess- und Regelungstechnik (Prof. Gast), Operations-Research (Prof. Weber) und das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (Prof. Spur) zusammen. Das Projekt war in vier Teilprojekte untergliedert: „Optimierung des betrieblichen Fertigungsablaufs“, „Adaptive Regelung von Werkzeugmaschinen“, „Automatisierung in der Fertigungsvorbereitung“ und „Innovation und Investitionsplanung der Fertigungsmittel“. Der SFB 57 wurde bis zu seinem Ende (1984) von der DFG mit über 28 Mio. DM unterstützt. Simon leitete keines der Teilprojekte, Spur zwei. Simon war bis Anfang 1973 Sprecher des SFB; sein Nachfolger bis zum Ende wurde Spur.⁶¹⁶ Mit seinen Arbeitsergebnissen aus dem Teilprojekt „Adaptive Regelung von Werkzeugmaschinen“ promovierte 1972 Pritschow, der 1984 Nachfolger von Stute in Stuttgart wurde (vgl. Kapitel 4.9.4). Einen Teil seiner Untersuchungen hatte Pritschow bei den Gebr. Boehringer in Göppingen durchgeführt. (vgl. Kapitel 5.1.).⁶¹⁷

Der SFB 155 „Flexibles Fertigungssystem“ lief an der Universität Stuttgart von 1973 bis Ende 1986.⁶¹⁸ Er begann deutlich später als die SFBs in Aachen und Berlin. Dies hing damit zusammen, dass er anfangs zu komplex konzipiert war und die Struktur

⁶¹² Vgl. Rake (1983), S. 29–30.

⁶¹³ Vgl. Kompe (2006a), S. 126. Die Prometec GmbH gibt es noch heute; sie beschäftigt sich immer noch mit der Überwachung von Bearbeitungsprozessen, gehört aber seit 2016 zu SANDVIK Coromant. Vgl. Sandvik Coromant (2016).

⁶¹⁴ Vgl. Rake (1983), S. 56–65.

⁶¹⁵ Vgl. hierzu auch die Ausführungen von Vitr/Weck (2006), S. 329–330.

⁶¹⁶ Vgl. Spur (2004), S. 435–436.

⁶¹⁷ Vgl. Pritschow (1972), Vorwort. Die Promotion hat den Titel „Ein Beitrag zur technologischen Grenzregelung bei der Drehbearbeitung“.

⁶¹⁸ Die im SFB 155 durchgeführten Arbeiten sind ausführlich im Abschlussbericht zusammenfassend beschrieben. Tuffentsammer/Berger (1988c).

deshalb bis zur Genehmigung mehrfach geändert werden musste. Die Verzögerung hatte aber den Vorteil, dass in der Aufgabenstellung schon erste Erkenntnisse zu flexiblen Fertigungssystemen im In- und Ausland berücksichtigt werden konnten.⁶¹⁹ Sprecher des SFB war Stute von Beginn bis zu seinem Tod im Jahr 1982⁶²⁰; danach übernahm diese Aufgabe Tuffentsammer, der kurz vor Abgabe des Abschlussberichts auch verstarb.⁶²¹

Kernstück dieses SFBs war der Aufbau einer Pilotanlage aus vier NC-Bearbeitungszentren, die sich je nach Anforderung gegenseitig ergänzen bzw. ersetzen konnten. Die Bearbeitungszentren verfügten über einen bidirektionalen Informationsfluss und waren bezüglich Werkzeug- und Werkstückversorgung autark.⁶²² Der SFB bestand aus vier Projektbereichen, von denen sich im Unterschied zu Aachen und Berlin keiner direkt mit den NC-Steuerungen beschäftigte. NC-Steuerungen und Maschinen waren aus Sicht des SFBs Baugruppen, mit denen gearbeitet wurde. Ziel des SFBs war die Entwicklung von Hard- und Softwarelösungen, um möglichst viele Werkstücke in hoher Qualität mit einem flexiblen Fertigungssystem herstellen zu können.⁶²³

Anfang der 1970er Jahre ergab sich für die produktionstechnischen Institute eine weitere Fördermöglichkeit. Um die „Anwendungslücke“ der Datenverarbeitung (DV) zu schließen, war vom BMwF von 1967 bis 1970 das 1. DV-Programm aufgelegt worden. Es wurde noch zweimal durch das neugegründete BMFT verlängert (2. DV-Programm von 1971–1975 und 3. DV-Programm von 1976–1979). Mit den DV-Programmen wurden neuartige Anwendungen gefördert, darunter zwischen 1971 und 1979 im Teilprojekt PDV⁶²⁴ mit 168 Mio. DM die Steuerung von Maschinen und Anlagen.⁶²⁵

Um die Mittel für das PDV-Projekt zielgerichtet einzusetzen, wurde das Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK) Projektträger. Ausgewählt wurde das KFK, weil es Erfahrungen mit komplexen Projekten hatte.⁶²⁶ Das Themenspektrum der PDV-Projekte war breit und reichte von „Automatisierten Prüfeinrichtungen im Hörfunk“ (P2.2./5, Vorhabenträger Institut für Rundfunktechnik GmbH München) bis zur „Entwicklung eines modularen Mehrprozessorsteuersystems“ (P7.3/21, Vorhabenträger ISW Stuttgart).⁶²⁷

⁶¹⁹ Vgl. Tuffentsammer/Berger (1988b), S. XI.

⁶²⁰ Vgl. Tuffentsammer/Berger (1988b), S. XI.

⁶²¹ Vgl. o. V. (1988).

⁶²² Vgl. Tuffentsammer/Berger (1988b), S. XI–XII.

⁶²³ Der SFB 155 hatte folgende Projektbereiche: A: Untersuchungen zum optimierten Einsatz flexibler Fertigungssysteme in der Produktion; B: Konstruktionskonzepte und konstruktiver Aufbau von flexiblen Fertigungssystemen; C: Informationsverarbeitung, Aufbau und Betrieb einer Modellanlage; D: Integration von Umformverfahren in flexible Fertigungssysteme. Vgl. Tuffentsammer/Berger (1988a), S. 7–8.

⁶²⁴ Projekt Prozesslenkung mit DV-Anlagen.

⁶²⁵ Vgl. Stucke (1993), S. 191–193, insbesondere Tabelle 7.

⁶²⁶ Vgl. Bey (1975), S. 213.

⁶²⁷ Vgl. o. V. (1976a), S. 59 und 70.

Der Auslöser für das PDV-Projekt waren die neuartigen Prozessrechner. Diese konnten Prozesse, die eine schnelle und zeitkonstante Reaktion bis in den Millisekundenbereich hinunter benötigten, regeln und steuern.⁶²⁸ Im PDV-Projekt sollten die vielen Detailfragen, die konkreten industriellen Anwendungen noch im Weg standen, geklärt werden. Dazu gehörten auch Anwendungen im Werkzeugmaschinenumfeld.⁶²⁹

Ein „Werkzeugmaschinenthema“, für Prozessrechneranwendungen waren industrielle Anwendungen für flexible Fertigungssysteme (vgl. Kapitel 7.7.2). Um eine mögliche Projektstruktur auszuloten, fand dazu beim Projektträger am 7.4.1974 ein Kolloquium statt,⁶³⁰ auf dem der Entwicklungsstand diskutiert wurde und das als Weichenstellung für die Teilprojekte diente. Nach dem Projektleiter Bey vom Projektträger KfK waren ca. 20 % der Mittel des PDV-Programms für flexible Fertigungssysteme vorgesehen.⁶³¹

Wichtig für den Projektträger war, dass die Verbundprojekte möglichst universitätsübergreifend von mehreren Instituten und von der Industrie bearbeitet wurden und sich die Industrie mit einem eigenen Anteil finanziell beteiligte. Nur so erschien es gewährleistet, dass die beteiligten Firmen ein möglichst großes Interesse an der Verwertung der Projektergebnisse hatten. Die generelle Optimierung des Auswahlprozesses von Verbundprojekten (Partnerauswahl, optimale Anzahl der Projektpartner, Höhe der Eigenbeteiligung der Industrie etc.) zog sich über mehrere Jahre hin.⁶³²

Zusammengefasst arbeiteten die produktionstechnischen Institute in unterschiedlichen Projekten auf vielfältige Art und Weise zusammen. Auf der persönlichen Ebene erfolgte dies hauptsächlich in der HGF und in CIRP. Auf der Projektebene innerhalb der Hochschule in Sonderforschungsbereichen und hochschulübergreifend in über Projektträger gesteuerten Verbundprojekten, oft auch mit industriellen Partnern.

Das Ergebnis kann sich durchaus sehen lassen. Mit EXAPT z. B. wurde eine NC-Programmiersprache entwickelt, die auch heute noch in vielen Betrieben eingesetzt wird. Die sowohl in SFBs als auch im BMFT-Projekt PDV geförderten flexiblen Fertigungssysteme führten letztlich zur Installation zahlreicher Anlagen, von denen so-

⁶²⁸ Die Grundidee eines Prozessrechners war, dass eine Maschine oder Anlage sowohl zeitkritische als auch zeitunkritische Prozesse hat. Die zeitkritischen Prozesse müssen unbedingt eingehalten werden. Prozessrechner haben deshalb eine Interruptsteuerung, die zeitunkritische Prozesse in einem genau definierten Raster unterbricht und zeitkritische Prozesse in die zeitunkritischen Prozesse einschiebt. Bei Werkzeugmaschinen z. B. muss für die Einhaltung der programmierten Werkstückkontur der Positions-Istwert der Achsen mit dem Positionssollwert in einem konstanten Raster von wenigen Millisekunden kontrolliert werden. Ergeben sich Abweichungen, muss der Geschwindigkeitssollwert angepasst werden. Schon geringfügige Abweichungen, vor allem eine Unregelmäßigkeit des Zeitrasters (Jitter), führen zu Konturfehlern.

⁶²⁹ Vgl. Bey (15.03.2017), S. 4.

⁶³⁰ Spur (1974).

⁶³¹ Vgl. Spur (1974), S. 96.

⁶³² Vgl. Bey (15.03.2017), S. 5–6.

wohl die Werkzeugmaschinenhersteller als auch die Endanwender profitierten. Nicht vergessen werden darf auch die Gründung kleinerer, durchaus erfolgreicher Firmen wie Promotec, die Spezialthemen der Forschungsprojekte in einen kommerziellen Rahmen überführten. Insofern nahmen die Hochschulinstitute zusammen mit ihren Partnern eine wichtige Rolle im produktionstechnischen Innovationssystem ein und trugen wesentlich zu der schon skizzierten erfolgreichen Entwicklung der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie bei.

4.9.6 Institutsleiter als Herausgeber von Zeitschriften

Die zeitnahe Publikation wissenschaftlicher Ergebnisse erfolgt auch heute noch weitgehend über Fachzeitschriften, die sich durch ihre Themenschwerpunkte unterscheiden. Die Professoren der wichtigsten produktionstechnischen Institute erkannten früh den Nutzen der Fachzeitschriften und waren deshalb oft deren Herausgeber. Dadurch konnten sie ihren Bekanntheitsgrad steigern und das publizistische Konzept der Fachzeitschrift beeinflussen. Zusätzlich konnten sie die Forschungsergebnisse ihrer Institute einfacher veröffentlichen.

Die älteste Fachzeitschrift mit einer engen Bindung an das PTW (früher ITW) in Darmstadt ist „Werkstatt+Betrieb“ (Gründungsjahr 1867). Im Untersuchungszeitraum waren die Darmstädter Professoren Stromberger (1949–1971), Stöferle (ab 1971) und Schulz (ab 1981) Herausgeber.⁶³³

Eine weitere wichtige Zeitschrift im produktionstechnischen Umfeld ist die 1956 wiedergegründete „Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung“ (ZWF). Bei ihr waren im Untersuchungszeitraum die Berliner Professoren des IWF, Schallbroch und Spur (zeitweise zusammen mit anderen Berliner Professoren), Herausgeber.⁶³⁴

Die dritte traditionelle Zeitschrift ist die 1907 gegründete „Werkstattstechnik“.⁶³⁵ Herausgeber von 1957 bis 1967 war der Stuttgarter Professor Dolezalek (IFF). 1967 wurde der VDI Herausgeber, weil die Werkstattstechnik auch Organ der großen VDI-Gesellschaft Produktionstechnik ADB war und ist. Die Stuttgarter Professoren (zeit-

⁶³³ Vgl. o. V. (2017a), S. 115.

⁶³⁴ Die Zeitschrift geht auf die 1870 gegründete Monatszeitschrift „Umland Technische Rundschau“ zurück und hatte mehrere Unterbrechungen, sodass erst im Jahr 2005 der 100. Jahrgang erschien. Sie wechselte auch mehrfach ihren Namen. Im Untersuchungszeitraum hieß sie „Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung“. 1986 änderte sich der Titel in „Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung“ und 1995 in „Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb“. Das Namenskürzel ZWF änderte sich nie. Herausgeber war ab 1956 der Berliner TU-Professor Schallbroch; von 1959 bis 1972 war Prof. Wiest Mitherausgeber. 1969 wurde Prof. Spur Mitherausgeber und 1973 alleiniger Herausgeber. Vgl. Spur (2005).

⁶³⁵ Vgl. Warnecke (2000).

weise unterstützt von Professoren aus Hannover und Karlsruhe) waren ab 1967 „wissenschaftliche Leiter“.⁶³⁶

Nicht vergessen werden darf der „Industrieanzeiger“, dessen Berichtsheft „Werkzeugmaschine und Fertigungstechnik“ über viele Jahre durch Professor Opitz vom WZL herausgegeben wurde. Nach Opitz übernahmen seine Nachfolger im WZL gemeinsam diese Funktion.⁶³⁷

Im Untersuchungszeitraum waren die genannten Zeitschriften bis auf den Industrieanzeiger ähnlich strukturiert. Sie erschienen monatlich und den größten Teil nahmen mehrseitige Fachaufsätze zu Themen rund um die Werkzeugmaschinen ein. Das Spektrum reichte dabei von Wirtschaftlichkeitsrechnungen über die Vorstellung von neuen Maschinenkomponenten und -konzepten bis zur ausführlichen Beschreibung ganzer Fertigungsanlagen. Auch die Autoren deckten ein breites Spektrum ab. Sie kamen von Hochschulen und Industrieunternehmen oder waren freie Ingenieure bzw. Fachjournalisten, um nur einige Berufszweige zu nennen. Ergänzt wurden die Fachaufsätze durch Kurzberichte, Berichte aus der „Gemeinschaftsarbeit“ (Tagungen, Ergebnisse der Fachausschüsse z. B. der ADB), Zeitschriftenschau, Buchbesprechungen, Nachrichten aus Industrie und Wirtschaft und technische Informationen über neue Produkte.

Der Industrieanzeiger wich von dieser Linie etwas ab. Er erschien zweimal wöchentlich und hatte einen großen Anzeigenteil über neue Produkte und einen Informationsteil über die aktuellen Entwicklungen bei Preisen, Recht, Steuern, etc. Fachaufsätze fielen eher knapp aus. Spezielle Themen wurden in Berichtsheften wie „Werkzeugmaschine und Fertigungstechnik“ vertieft, die mit einer niedrigeren Frequenz erschienen.

Zusammengefasst hatten im Untersuchungszeitraum die produktionstechnischen Institute in Aachen, Darmstadt, Berlin und Stuttgart Einfluss auf die Ausrichtung der großen Fachzeitschriften. Da die Zeitschriften von vielen Unternehmen abonniert und über Umläufe in den Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen von vielen Mitarbeitern gelesen wurden, beeinflussten die von ihnen forcierten Themen mit großer Wahrscheinlichkeit die Weiterentwicklung der Werkzeugmaschinen und damit die Einführung der NC-Technik. Die Fachzeitschriften waren deshalb ein wichtiges Element im produktionstechnischen Innovationssystem, denn sie waren ein wichtiges Bindeglied und eine Informationsdrehscheibe zwischen Hochschulen, Werkzeugmaschinenherstellern und Endanwendern. Ein weiterer Vorteil war, dass die Institute über die Fachzeitschriften ihre Leistungsfähigkeit und Arbeitsschwerpunkte in die Öffentlichkeit tragen konnten, was die Einwerbung von Forschungsgeldern erleichterte. Dass diese Strategie zusammen mit anderen Maßnahmen gut funktionierte, zeigt das in den

⁶³⁶ Vgl. Dolezalek (1967), S. 1.

⁶³⁷ Vgl. Reitz (1979), S. 12–13.

Kapiteln 4.9.1 bis 4.9.4 beschriebene starke personelle Wachstum der Institute im Untersuchungszeitraum.

4.10 Der Einfluss von VDW und VDI auf die Einführung der NC-Maschinen

Sowohl der „Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken“ (VDW) als auch der „Verein Deutscher Ingenieure“ (VDI) beeinflussten die Einführung der NC-Technik.

Der VDW wurde 1891 in Hannover gegründet, um „die Beziehungen der bedeutendsten Fabriken im Werkzeugmaschinenbau zueinander zu befestigen“⁶³⁸, wie Ernst Schieß es in seiner Begrüßung auf der Gründungsversammlung ausdrückte.

Nach dem Zweiten Weltkrieg musste der VDW am 5. Oktober 1949 in Königstein/Taunus in Westdeutschland neu gegründet werden.⁶³⁹ Im VDW sind heute fast alle deutschen Werkzeugmaschinenhersteller organisiert; sie tauschen sich in Versammlungen und Fachausschüssen regelmäßig aus.

Vieles deutet darauf hin, dass der VDW anfangs eine sehr zurückhaltende Einstellung zur NC-Technik einnahm,⁶⁴⁰ obwohl enge Verbindungen zwischen dem VDW und der HGF bestanden und der VDW im produktionstechnischen Innovationssystem mitarbeitete.

Glunk berichtet, dass es in den 1950er Jahren intensive Gespräche zwischen dem VDW und der HGF bezüglich einer finanziellen Förderung der HGF-Institute durch den VDW gab. Diese führten 1958 zu einem Entwurf von „Richtlinien für die Durchführung von VDW-Forschungsaufgaben“.⁶⁴¹ Danach wurde z. B. 1960 jedes Hochschulinstitut der HGF vom VDW mit 20 000 DM unterstützt. Zusätzlich wurden bis 1961 Einzelprojekte an den Instituten mit einer halben Million DM gefördert, darunter allerdings keine zur NC-Technik. 1961 gab es erstmals eine Rückstellung über 10 000 DM für die Arbeiten Simons an Strombergers Institut an der TH Darmstadt.⁶⁴² Nach Glunk herrschte sowohl bei den Endanwendern als auch bei den meisten Werkzeugma-

⁶³⁸ Glunk (1991), S. 10. Für das Zitat gibt Glunk keine Quelle an.

⁶³⁹ Vgl. Glunk (1991), S. 112.

⁶⁴⁰ Über die Rolle des VDW bei der Einführung der NC-Technik stand nur wenig Archivmaterial zur Verfügung, da das VDW-Archiv nicht zugänglich ist. Es musste deshalb überwiegend auf Sekundärliteratur zurückgegriffen werden, wie z. B. auf das von Glunk im Auftrag des VDW erstellte Buch zu seinem 100-jährigen Jubiläum (Glunk (1991)). Zusätzlich wurden im Universitätsarchiv Stuttgart in den Archivalien von Prof. Dolezaleks ehemaligem Institut IFF einige Protokolle der gemeinsamen Sitzungen der HGF mit dem VDW gefunden. Diese fanden meist direkt im Anschluss an das jährliche Treffen der HGF-Gruppe statt. In den Protokollen fanden sich aber keine Absprachen bezüglich einer Zusammenarbeit bei der NC-Technik. Diese wird in den Protokollen von Dolezalek nur zweimal erwähnt. Einmal in einem Bericht von Opitz über eine Studienreise nach USA und Fernost (vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 148; Lange (Juli 1966b), S. 3) und einmal in einem Bericht von Stute über den Entwicklungsstand der AC-Technologie in den USA (vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 148; Victor (1968), S. 5).

⁶⁴¹ Vgl. Glunk (1991), S. 125.

⁶⁴² Vgl. Glunk (1991), S. 126.

schinenherstellern noch Ende 1963 die Auffassung vor, dass der sinnvolle Einsatz der NC-Technik auf die Rüstungsindustrie beschränkt sei.⁶⁴³

1963 reiste eine RKW-Studiengruppe – auch mit Teilnehmern aus der Werkzeugmaschinenindustrie – in die USA, um sich über Anwendung und Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen zu informieren.⁶⁴⁴ Im Frühsommer 1964 berichtete dann Simon in einen Vortrag vor dem VDW über seine Reise und den Einsatz numerischer Steuerungen in den USA. Der Vortrag soll dann ein Umdenken eingeleitet haben, so dass die NC-Technik und ihr Umfeld das Hauptthema auf dem AWK 1965 wurde.⁶⁴⁵ Ein Jahr später, 1966 auf der 75-Jahr-Feier des VDW, war Fehse, der Obmann des Technischen Ausschusses, mit dem Engagement der Mitgliedsfirmen für die NC-Technik immer noch unzufrieden. Er forderte sie auf, NC-Maschinen im eigenen Betrieb in der Fertigung einzusetzen, damit sie mit der technischen Entwicklung Schritt halten konnten.⁶⁴⁶

Trotz der etwas positiveren Einstellung blieb der VDW mit der Vergabe von Forschungsaufträgen zur NC-Technologie an die Hochschulinstitute noch bis Ende der 1960er Jahre zurückhaltend. Von Januar 1960 bis Dezember 1969 erschienen 87 VDW-Forschungsberichte, von denen nur drei NC-Themen behandelten. Erst in den 1970er Jahren änderten sich die Verhältnisse; in diesem Zeitraum waren von den 72 Berichten 32 mit NC-Themen verknüpft, also fast 45 %, was eine beachtliche Steigerung war.⁶⁴⁷ Zusätzlich beschloss der VDW, das Marktvolumen für NC-Maschinen auszuloten, um eine belastbare Grundlage für weitere Entscheidungen zu bekommen. Dazu wurde das Münchner ifo-Institut mit einer Studie beauftragt. Neben einer Bestandsaufnahme der Verbreitung der NC-Technik in Westdeutschland sollte in der Studie ermittelt werden, was die Verwendung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in Westdeutschland hemmte, vor allem aber wie sie gefördert werden konnte. Eine erste Version der Studie erschien 1969.⁶⁴⁸ Diese war dem VDW aber nicht detailliert ge-

⁶⁴³ Glunk bezog sich auf eine gemeinsame Sitzung des VDW und der Fachgemeinschaft Werkzeugmaschinen im VDMA am 5./6. November 1963. Fußnote 117, Glunk (1991), S. 183.

⁶⁴⁴ Vgl. Simon (1964), S. 206. Die Reise erfolgte vom 18. Oktober bis 15. November 1963. Die elf Fachleute der Studiengruppe kamen aus den Branchen: Werkzeugmaschinenbau, Elektrotechnik einschließlich Elektronik, Hydraulik, Regelungstechnik, Informationsverarbeitung und Betriebswirtschaft.

⁶⁴⁵ Vgl. Glunk (1991), S. 127. Die Berichte und Vorträge des 12. AWK wurden vom Giradet-Verlag veröffentlicht. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (1965).

⁶⁴⁶ Siehe Fußnote 119 zum Vortrag von Fehse auf der Mitgliederversammlung der Fachgemeinschaft Werkzeugmaschinen im VDMA und des VDW am 4. Oktober 1966. Glunk (1991), S. 183.

⁶⁴⁷ Die Zahlen ergeben sich aus der Auswertung der in der Technischen Informationsbibliothek in Hannover (TIB) gelisteten „VDW Forschungsberichte“. Allerdings gibt es eine gewisse Unschärfe, da manche Berichte in mehreren Teilen zu unterschiedlichen Zeitpunkten erschienen sind. Dreiteilige Berichte, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten erschienen sind, wurden als drei Berichte gezählt. Dies ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass in den 1970er Jahren die Zahl der „NC-Berichte“ stark zunahm.

⁶⁴⁸ Gebhardt/Hild (1969).

nug, sodass ein Jahr später eine überarbeitete Version erschien.⁶⁴⁹ In ihr waren wichtige statistische Zahlen aktualisiert, vor allem aber waren die Ergebnisse der Umfrage über den Einsatz von NC-Maschinen detaillierter und nachvollziehbarer dargestellt. Obwohl der VDW auch mit der zweiten Version der Studie immer noch nicht ganz zufrieden war,⁶⁵⁰ wurde den Ergebnissen zu den Absatzhindernissen für numerische gesteuerte Werkzeugmaschinen besondere Beachtung geschenkt:⁶⁵¹

● Kapitalmangel der Investoren	25 %
● Mangel an qualifiziertem Personal	15 %
● Einsatzmöglichkeiten von NC weitgehend unbekannt	14 %
● Ungenügende Auslastungsmöglichkeiten	14 %
● Investoren befürchten eine zu schnelle technische Alterung	7 %
● Importkonkurrenz	7 %
● Sonstiges	18 %

Insgesamt 100 %

Um die größten Absatzhindernisse „Kapitalmangel“ und „fehlendes Wissen über die Einsatzmöglichkeiten numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen bei potenziellen Anwendern“ zu reduzieren, wollte der VDW eine staatliche Förderung für NC-Werkzeugmaschinen für die Betriebe erreichen. Dazu erarbeitete der VDW als Argumentationshilfe für eine staatliche Förderung zusammen mit Prof. Warnecke von der Universität Stuttgart 1972 ein Positionspapier.⁶⁵² Es hatte den Titel „Steigerung der Produktivität durch Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen“.⁶⁵³ Zentrale Punkte der Argumentation waren, dass mit NC-Maschinen in der Fertigung eine deutliche Produktivitätssteigerung erreicht werden kann. Da in der EWG nur 12 % des

⁶⁴⁹ Gebhardt (1970). Die erste Version von 1969 hatte den Titel „Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen – Hemmnisse und Förderung ihrer Verbreitung in der BR Deutschland –“. Der Titel der überarbeiteten Version lautete „Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen – Probleme ihres Einsatzes in der BR Deutschland –“. Strukturell waren beide Versionen fast gleich aufgebaut, die überarbeitete Version war aber aktueller und an einigen Stellen detaillierter.

⁶⁵⁰ In seinem Briefentwurf vom 4. November 1971 schrieb Prof. Warnecke: „Der vorliegende Bericht des IFO-Instituts vom Dezember 1970 kann in der vorliegenden Form nicht weiter verbreitet werden, da er infolge der etwa zweijährigen Bearbeitungsdauer zum Teil überholt ist und da er streckenweise fachlich nicht ausreichend qualifiziert ist. [...] Darüberhinaus enthält der Bericht einige Ergebnisse und Anregungen, die weiter verfolgt werden sollten.“

1. Förderung des Einsatzes von NC-Werkzeugmaschinen in Klein- und Mittelbetrieben.
2. Staatliche Förderung des Einsatzes von Werkzeugmaschinen.“

Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 190b; Warnecke (04.11.1971), S. 1.

⁶⁵¹ Vgl. Gebhardt (1970), S. 22.

⁶⁵² Der Zweck der Schrift ist ersichtlich aus dem Schriftwechsel zwischen Warnecke (Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 190b; Warnecke (02.12.1971)) und dem VDW (Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 190b; Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (19.07.1972)). Er zeigt, dass die Vorschläge aus der ifo-Studie zur Förderung der NC-Maschinen mit dem Positionspapier in die Politik getragen werden sollten.

⁶⁵³ Warnecke (ca. 1972).

Weltbestandes an NC-Maschinen installiert sind, in den USA aber 57 %, ⁶⁵⁴ sei es für die Konkurrenzfähigkeit der westdeutschen Wirtschaft notwendig, dass die Bundesregierung die NC-Technik fördere. Als Ergebnis wurden folgende Maßnahmen vorgeschlagen, die aber von der Bundesregierung nicht umgesetzt wurden: ⁶⁵⁵

- Verbesserte Beratungsförderung für den Einsatz von NC-Maschinen für kleinere und mittlere Unternehmen durch das RKW.
- Investitionszuschuss von 40 % für die Beschaffung von NC-Maschinen.
- Förderung des Aufbaus regionaler NC-Werkzeugmaschinen-Gemeinschaftszentren, in denen Kleinbetriebe NC-Maschinen gemeinsam nutzen können, um deren Nutzen auszutesten.

Ein äußeres Zeichen für die geänderte Einstellung des VDW zu NC-Maschinen Ende der 1960er Jahre wurde die Werkzeugmaschinenausstellung IHA 70 in Hannover. Es war die erste vom VDW organisierte Werkzeugmaschinenausstellung mit internationaler Beteiligung, ⁶⁵⁶ auf der auffallend viele numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen ausgestellt waren. ⁶⁵⁷ Integriert in die Ausstellung war auch der vom VDW organisierte „Internationale Congress für Metallbearbeitung“ (ICM), ⁶⁵⁸ auf dem die NC-Technik ebenfalls eine wichtige Rolle spielte. ⁶⁵⁹

Deutlich früher als der VDW engagierte sich der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) für die NC-Technik. Der VDI wurde 1856 als Verband der Industrieingenieure gegründet, nahm anfangs aber alle auf, die sich der Technik verpflichtet fühlten. ⁶⁶⁰ Der VDI wuchs schnell und war zu Beginn des Ersten Weltkriegs mit 24.000 Mitgliedern der größte Ingenieurverein. ⁶⁶¹ Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde der VDI im April 1949 für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland und Westberlins neu gegründet; die Geschäftsstelle befand sich in Düsseldorf. ⁶⁶² Da der VDI im Unterschied zum VDW überwiegend persönliche Mitglieder hatte und deshalb weniger auf Firmeninteressen achten musste, ⁶⁶³ konnte er neue Themen und Trends wie die NC-Technik deutlich

⁶⁵⁴ Vgl. Warnecke (ca. 1972), S. 5–6.

⁶⁵⁵ Vgl. Warnecke (ca. 1972), S. 15–17. Es wurde kein Nachweis gefunden, dass die Vorschläge umgesetzt wurden.

⁶⁵⁶ Vgl. Kaebernik (1970), S. 513. Die IHA 1970 fiel mit dem fünfzigjährigen Ausstellungsjubiläum des VDW zusammen. Der Anteil der ausländischen Hersteller lag bei 40 %.

⁶⁵⁷ Vgl. Kaebernik (1970), S. 514. Einen prozentualen Anteil nannte Kaebernik nicht.

⁶⁵⁸ Vgl. Kaebernik (1970), S. 513.

⁶⁵⁹ Der VDW gab einen Tagungsband über den Kongress heraus. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (1970).

⁶⁶⁰ Vgl. Kaiser/König (2006), S. 195 und vgl. Laux u. a. (1981), S. 21. Der Begriff „Ingenieur“ war zum Gründungszeitpunkt des VDI noch sehr unscharf. Vgl. Laux u. a. (1981), S. 25.

⁶⁶¹ Vgl. Kaiser/König (2006), S. 207.

⁶⁶² Vgl. Laux u. a. (1981), S. 39.

⁶⁶³ Im VDW können nur Firmen Mitglied werden. Der VDI hat überwiegend persönliche Mitglieder, kennt aber auch „Fördernde Mitglieder“. Das können auch Unternehmen sein.

früher aufgreifen als z. B. der VDW. Behandelt wurden neue Trends und Technologien in den thematisch zuständigen Ausschüssen bzw. Fachgliederungen, von denen es 28 im Jahr 1970 gab. Die älteste Fachgliederung und nach der Zahl ihrer Ausschüsse, Arbeitskreise und Mitglieder größte war die „Arbeitsgemeinschaft der Betriebsingenieure“ (ADB). Sie feierte 1970 ihr 50-jähriges Bestehen und war für die Automatisierungstechnik zuständig, wozu auch die NC-Technik gehörte.⁶⁶⁴

Die Jubiläumsschrift der ADB von 1970 gibt einen guten Überblick über ihre damalige Organisation. 1970 gab es 17 Ausschüsse, die überregional Fachthemen bearbeiteten. Obmann (Leiter) des Ausschusses „Automatisierung in der Fertigung“ war 1970 Otto Gunsser, leitender Angestellter bei den Gebr. Heller.⁶⁶⁵ Er hatte Ende 1966 die Leitung von Prof. Dolezalek vom IFF der TH Stuttgart übernommen.⁶⁶⁶ Dieser Ausschuss hatte wegen seiner Größe mehrere Unterausschüsse. Einer davon war der Unterausschuss „Informationsverarbeitung“. Dieser wurde 1970 von Stute geleitet und beschäftigte sich hauptsächlich mit der Standardisierung der Schnittstellen von NC-Steuerungen. Zusätzlich leitete Maßberg den Unterausschuss „Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen“, der z. B. VDI Richtlinien für die Ermittlung der Auslastung von NC-Maschinen (VDI 3254 Bl. 4) und für ihre Wartung und Instandsetzung (VDI 3034) erarbeitete. Dieser Unterausschuss wurde erst um 1967 gegründet, da die genannten Arbeiten erstmals im Tätigkeitsbericht für 1967 erwähnt wurden.⁶⁶⁷

Vor Stute hatte Simon den Unterausschuss „Informationsverarbeitung“ seit seiner Gründung im Jahr 1959 geleitet.⁶⁶⁸ Der Unterausschuss hatte schon 1959 mit der Erarbeitung von VDI-Richtlinien begonnen, die wichtig für die Verbreitung der NC-Technik in der BRD waren (vgl. hierzu Kapitel 4.12). In diesen wurden technische Standards definiert, an die sich die Hersteller halten mussten, wenn sie ihre Maschinen erfolgreich verkaufen wollten.⁶⁶⁹

Über die von Simon/Stute und Maßberg geleiteten Unterausschüsse hinaus engagierte sich der VDI auch noch anderweitig für die NC-Technik. So wurden die Automatisierungstagungen in Stuttgart bis zur Ablösung durch das FTK (1970) als gemeinsame Veranstaltung der VDI-Fachgruppen Konstruktion und Betriebstechnik und Dolezaleks

⁶⁶⁴ Vgl. Meyer (1970), S. 3.

⁶⁶⁵ O. V. (1970b).

⁶⁶⁶ Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 203a; Dolezalek (08.12.1966) und Kapitel 4.9.4.

⁶⁶⁷ Vgl. o. V. (1968a), S. 188.

⁶⁶⁸ Der genaue Zeitpunkt des Übergangs von Simon auf Stute konnte nicht festgestellt werden. Vgl. Fußnote 554.

⁶⁶⁹ Kremper (Siemens), zeitweise Mitglied des Unterausschusses, erinnerte sich, dass die schnelle Umsetzung der VDI-Richtlinie 3422 (Schnittstelle zwischen NC-Steuerung und Maschine) entscheidend dafür war, dass Siemens mit der Sinumerik 520K ab 1972 General Electric bei NC-Drehmaschinensteuerungen zurückdrängen konnte. Vgl. Brömer u. a. (25.05.2015), S. 28.

IFF bzw. IPA durchgeführt. Auf der Tagung von z. B. 1964 war die NC-Technik direkt oder indirekt Thema in einigen Vorträgen.⁶⁷⁰

Zusätzlich organisierte der VDI über die ADB Vorträge und Veranstaltungen über die NC-Technik. So gab es z. B. 1961 vom ADB-Arbeitskreis Stuttgart zwei sehr gut besuchte Vorträge von Simon über Steuerungstechnik.⁶⁷¹ Ein weiteres Angebot war ein einwöchiger Lehrgang „Automatisierungstechnik“, der auch die NC-Technik behandelte und im Dezember 1960 erstmals stattfand.⁶⁷² Ein Schritt an die breitere Öffentlichkeit war die VDI-Lehrschau „Automatisierung der Fertigung“, die 1957 für die Automatisierungstagung aufgebaut wurde. Neu konzipiert war sie in einer Messehalle auf dem Stuttgarter Killesberg ab dem 5. Mai 1960 einem breiten Publikum zugänglich. Zur Lehrschau, deren Exponate auch für VDI-Lehrgänge genutzt wurden, gehörte auch die NC-Technik. Anfang 1961 wurde die Lehrschau erneut überarbeitet, nach Stuttgart-Wangen verlegt und weiter für die VDI-Lehrgänge genutzt. Die NC-Technik wurde auf den einwöchigen Lehrgängen einen halben Tag unterrichtet.⁶⁷³

Auch für Veröffentlichungen über die NC-Technik hatte der VDI eine Plattform. Tagungsberichte, in denen die NC-Technik eine Rolle spielte, erschienen in der Reihe VDI-Berichte,⁶⁷⁴ Fachartikel über die NC-Technik in der VDI-Zeitschrift⁶⁷⁵ und der Werkstattstechnik. Letztere war auch Organ der ADB (vgl. Kapitel 4.9.6). Das „Sprachrohr“ für die breite Öffentlichkeit war die Wochenzeitung VDI-Nachrichten, in der erste Artikel zur NC-Technik schon Ende der 1950er Jahre erschienen.⁶⁷⁶

⁶⁷⁰ Z. B. in Gunsser (1965), Goebel (1965), Falk (1965) und Roschmann (1965).

⁶⁷¹ Simon hielt am 21.2.1961 den Vortrag „Elektronische Steuerungen an Werkzeugmaschinen“ (650 Zuhörer) und am 14.11.1961 zum Thema „Anwendungsgebiete und Entwicklungstendenzen von Steuerungsverfahren für Werkzeugmaschinen (680 Zuhörer). Vgl. Archiv Württembergischer Ingenieurverein (WIV) Stuttgart, Ordner WIV Arbeitskreis ADB; VDI-Arbeitskreis der Betriebsingenieure (ADB) Stuttgart (1962).

⁶⁷² Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 196; VDI-Bildungswerk (1960).

⁶⁷³ Vgl. Dolezalek (1961), S. 5. Der Lehrgang vom 28.11. bis 2.12.1960 beinhaltete noch eine Führung durch die Lehrschau am Killesberg, d. h. die Lehrschau war mindestens 8 Monate auf dem Killesberg zu sehen. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 196; VDI-Bildungswerk (1960). Der Lehrgang vom 12.6. bis 16.6.1961 z. B. fand dann in Stuttgart-Wangen im Schulungsraum des VDI statt, d. h. die Lehrschau war schon verlegt. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 196; VDI-Bildungswerk (1961).

⁶⁷⁴ In Band 33 der VDI-Berichte sind z. B. die Vorträge der Tagung Automatisierung in der Fertigung von 1957 abgedruckt, darunter auch der Vortrag von Uhrmeister „Numerisches Einstellen und Steuern von Werkzeugmaschinen mit Hilfe von Lochkarte, Lochstreifen und Magnetband“. Uhrmeister (1958).

⁶⁷⁵ Schon in der VDI-Z von 1956 wird im Bericht von der Internationalen Werkzeugmaschinenausstellung in London vom 22. Juni bis 6. Juli über „Komputor-Steuerungen von Werkzeugmaschinen“ berichtet. Vgl. Simonis/Frères (1956), S. 1511.

⁶⁷⁶ Z.B. ein Artikel von Behrendt über programmgesteuerte Großfräsmaschinen (Behrendt (1958b)) oder ein Leitartikel von Dolezalek und Mech zum wachsenden Einfluss der Automatisierungstechnik auf die Werkzeugmaschinenindustrie (Dolezalek/Mech (1960)).

Zusammengefasst unterstützte der VDI mit seinem ADB-Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ schon ab Ende der 1950er Jahre die NC-Technik, während sich der VDW als Vertreter der Werkzeugmaschinenhersteller abwartend verhielt. Etwas überspitzt formuliert waren der VDI, d. h. die Ingenieure, früh vom Erfolg der NC-Technik überzeugt, während die Mehrheit im VDW hoffte, dass sich die NC-Technik nicht durchsetzt. Sie wollte sich die Entwicklungskosten sparen. Diese Einschätzung bestätigte auch Weck, der sich an Äußerungen führender VDW-Mitglieder in den 1960er Jahren erinnerte. Diese hätten sich sinngemäß so geäußert, dass die numerische Steuerung das größte Unglück für die Werkzeugmaschinenindustrie gewesen sei, das je über sie hereingebrochen wäre.⁶⁷⁷ Die eher negative Einstellung des VDW begann sich erst in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre zu ändern. Richtig sichtbar wurde das auf der vom VDW organisierten Werkzeugmaschinenausstellung IHA 1970 in Hannover, auf der die NC-Technik stark im Fokus stand. Trotzdem wurde auch Anfang der 1970er Jahre die NC-Technik im VDW immer noch zu wenig als Chance gesehen. Anstatt sich Gedanken zu machen, durch welche Maschinenausprägungen und Weiterentwicklungen die NC-Maschinen für die Anwender interessanter werden könnten, versuchte der VDW, eine Absatzsteigerung durch staatliche Förderung zu erreichen.

4.11 Westdeutsche Hersteller von NC-Steuerungen

Auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover waren von den elf ausgestellten westdeutschen NC-Maschinen sieben mit NC-Steuerungen der damals großen Elektrokonzerne AEG, BBC-Mannheim, SEL und Siemens-Schuckert ausgerüstet. Nur die AEG-Steuerung war schon eine Bahnsteuerung⁶⁷⁸ in Transistortechnik, alle anderen waren Streckensteuerungen in Relais-technik.⁶⁷⁹

Im Untersuchungszeitraum schwankte die Zahl der von den westdeutschen Werkzeugmaschinenherstellern eingesetzten in- und ausländischen Steuerungshersteller.⁶⁸⁰

⁶⁷⁷ Vgl. Weck (24.02. und 25.02.2015), S. 11. Gemeint war damit sicher auch, dass die für die Einführung der NC-Technik notwendigen Entwicklungen und Investitionen erst einmal Erträge kosteten und die anfänglich noch fehlerbehafteten Steuerungen/Maschinen höhere Gewährleistungskosten verursachten als üblich.

⁶⁷⁸ In der Anfangsphase war der Hardwareaufwand für Bahnsteuerungen wegen der Interpolation viel aufwendiger als der für Punkt- und Streckensteuerungen (vgl. Kapitel 4.11.1). Die meisten NC-Hersteller entwickelten deshalb zuerst Punkt- und Streckensteuerungen, da der Markt für Bahnsteuerungen wegen der hohen Kosten und der wenigen potenziellen Kunden (die westdeutsche Flugzeugindustrie war noch klein) begrenzt war. Wenn Fertigungsaufgaben Bahnsteuerungen erforderten, mussten die Kunden auf ausländische Bahnsteuerungen zurückgreifen (vgl. der im Kapitel 6.1 beschriebene Einsatz von Plessey-Bahnsteuerungen bei Heidelberger Druck).

⁶⁷⁹ Vgl. Spur (1991), Bild 7.14 S. 530–531.

⁶⁸⁰ Nach Tabelle 6 im Kapitel 4.6 schwankte die Zahl der Steuerungshersteller zwischen 13 (1963) und 32 (1970). Clausnitzer stellte in seiner Studie 1974 Steuerungshersteller, Steuerungstypen und deren Marktanteile zwischen 1960 und 1974 zusammen. Clausnitzer (1974), S. 17–20.

Einige gaben auf oder wurden übernommen, es kamen aber auch immer wieder neue dazu. Die folgenden Unterkapitel geben in alphabetischer Reihenfolge einen Überblick über die westdeutschen Steuerungshersteller, die im Untersuchungszeitraum die NC-Entwicklung entweder stark beeinflussten oder zumindest zeitweise nennenswerte Marktanteile hatten. Je nach Steuerungshersteller stützen sich die Ausführungen in unterschiedlicher Intensität auf Archivmaterial, Veröffentlichungen in Firmen- und Fachzeitschriften und Interviews mit Zeitzeugen.

4.11.1 Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG)

Die AEG, im Untersuchungszeitraum der zweitgrößte deutsche Elektrokonzern, musste 1982 Vergleich anmelden und wurde 1985 von der Daimler-Benz AG als Tochtergesellschaft übernommen. 1996 fusionierte Daimler mit der AEG und trennte sich dabei von vielen Unternehmensteilen der ehemaligen Tochtergesellschaft.⁶⁸¹ Der wertvolle Markenname AEG wurde an andere Unternehmen lizenziert.⁶⁸² Große Teile des Unternehmensarchivs wurden 1997 vom Deutschen Technikmuseum in Berlin übernommen,⁶⁸³ darunter auch Archivalien zur NC-Technik aus den 1950er und 1960er Jahren.

Die AEG hatte eine lange Tradition in der Automatisierungstechnik. 1952 fasste der langjährige Mitarbeiter Wolfgang Schmid in seinem Buch *Automatologie* den technischen Stand der „Selbststeuerung von Fertigungsmaschinen“ zusammen. Schmid beschrieb darin unter dem Begriff „Einpräg-Automatik“ auch eine Schnelldrehbank der Fa. H. Ernault-Batignolles, die mit einer elektroakustischen Steuerung in Kombination mit einer elektrischen Fühlersteuerung ausgerüstet war. Die Steuerung konnte Bedienungshandlungen aufzeichnen und reproduzieren. Datenträger war ein walzenförmiger „Magnetogrammträger“.⁶⁸⁴ Die Steuerung und weitere im Buch von Schmid beschriebene Ausführungsvarianten ähnelten konzeptionell der 1948 von GE vorgestellten Record-Playback Steuerung (vgl. Kapitel 3.1) und können als deutsche Vorläufer der NC-Technik angesehen werden.⁶⁸⁵

Die Steuerungen von Schmid konnten sich allerdings nicht durchsetzen und gerieten wahrscheinlich auch bei der AEG in Vergessenheit. Nach den Unterlagen im AEG-Archiv stellte erst 1956 Mohr vom Berliner AEG Forschungsinstitut wieder Überle-

⁶⁸¹ Vgl. Strunk (2000), S. 239–244. Strunk gibt in seinem Buch einen ausführlichen Überblick über die Geschichte der AEG von den Anfängen bis zur Übernahme durch Daimler-Benz.

⁶⁸² Vgl. Strunk (2000), S. 201.

⁶⁸³ Luxbacher (1997).

⁶⁸⁴ Vgl. Schmid (1952), S. 223–237. Die Maschine wurde 1951 auf der 1. Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung (EWA) in Paris ausgestellt, fand aber nur mäßiges Interesse. Vgl. Häuser (1984), S. 720–721.

⁶⁸⁵ Vgl. Schmid (1952), S. 227–247. Bei den Varianten handelt es sich um Studien und weiterführenden Konzepte von Record-Playbacksteuerungen für Dreh- und Fräsmaschinen, die vermutlich nicht vollständig realisiert wurden.

gungen zu Steuerungen für einen automatischen Betrieb von Werkzeugmaschinen an. In seinem Technischen Bericht „Vorüberlegungen für die Programmsteuerung von Werkzeugmaschinen nach Tonbändern und ähnlichen Speicheranordnungen“⁶⁸⁶ entwickelte er Szenarien, wie die AEG auf diesem Gebiet experimentell weiterarbeiten könnte. Sie gingen wieder in die Richtung, eine Steuerung mit Magnetbändern zu bauen, die die Herstellung eines Werkstücks aufzeichnen und automatisch wiederholen konnte. Mohr kam zu dem Schluss, dass „für schwierige Aufgaben allein das Tonband vorgesehen werden kann“⁶⁸⁷. Bei der Verwendung von Lochstreifen befürchtete er eine zu große Abnutzung.⁶⁸⁸ Aus der Einleitung des Berichtes wird deutlich, dass Mohrs Überlegungen mit ziemlicher Sicherheit stark von den Diskussionen auf dem AWK 1956 und der Veröffentlichung eines Artikels von Uhrmeister⁶⁸⁹ (WZL) inspiriert waren. Merkwürdig ist, dass Mohr in der Einleitung schrieb, dass Schmid in seinem Buch „Automatologie“ diese Technologie schon nach dem Krieg stark propagierte, aber verschwieg, dass Schmid Mitarbeiter der AEG war. Ob die Überlegungen von Mohr in eine konkrete Entwicklung mündeten, ist aus den Unterlagen leider nicht ersichtlich. Aus dem Verteiler des Berichts ist erkennbar, dass sich die AEG damals auch bei ihrem Vertrieb in Frankfurt mit Fragestellungen zur NC-Technik beschäftigte.⁶⁹⁰

Auf die Vorüberlegungen von Mohr folgten weiterführende Untersuchungen, die leider nicht erhalten sind.⁶⁹¹ Im März 1959 berichtete dann R. Meyer über eine „Voruntersuchung für eine einfache Werkzeugmaschinensteuerung“ nach dem Record-Playbackprinzip. Aus Kostengründen waren für den Antrieb Schrittmotoren ohne Positionsrückmeldung vorgesehen. Der Nachteil war, dass mit diesem Konzept nur Vorschubgeschwindigkeiten von 18 mm/s (umgerechnet 1 m/min) erreicht wurden. Meyer hoffte aber darauf, durch Einsatz von Transistoren und modifizierten Motoren die Vorschubgeschwindigkeiten erhöhen zu können.⁶⁹²

⁶⁸⁶ Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282; Mohr (13.12.56).

⁶⁸⁷ Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282; Mohr (13.12.56), S. 30.

⁶⁸⁸ Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282; Mohr (13.12.56), S. 30.

⁶⁸⁹ Uhrmeister (1956).

⁶⁹⁰ Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282; Mohr (13.12.56), Deckblatt und S. 1. Nach den Erinnerungen von Götz befand sich damals der Vertrieb für die Werkzeugmaschinenausrüstungen der AEG in Frankfurt. Nach dem „Schuhauftritt“ 1960 von Chruschtschow in der UN wurden auch die Forschungsaktivitäten in Richtung Frankfurt verlagert, da der AEG Berlin nicht mehr sicher genug erschien. Vgl. Götz (24.11.2017), S. 7 und 16.

⁶⁹¹ Die Berichte der Untersuchungen sind im Literaturverzeichnis von Boese/Goetz aufgeführt. Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1463; Boese/Götz (07.09.1959), S. 108.

⁶⁹² Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken TB 1439; Meyer (04.03.1959).

Parallel wurden auch Strecken- und Bahnsteuerungen untersucht. Im September 1959 fassten Boese und Götz, die auch im Berliner Forschungsinstitut arbeiteten,⁶⁹³ ihre Erkenntnisse in einem vierteiligen „Technischen Bericht über die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen“ zusammen. Teil I behandelte die „Grundlagen“, Teil II analysierte „Bisher ausgeführte Systeme“, in Teil III machten die Autoren „Eigene Vorschläge“ und Teil IV beinhaltete das „Gesamtliteraturverzeichnis“.⁶⁹⁴

Aus den Berichten Teil I und Teil III und den darin aufgeführten weiteren Berichten (die nur teilweise im Archiv sind) ist deutlich erkennbar, dass sich die AEG mit der Technik der numerischen Steuerungen sehr intensiv auseinandersetzte und gut auf evtl. Kundenanfragen vorbereitet war. Sie konnte deshalb mit klaren Vorstellungen im Herbst 1959 mit der Entwicklung einer NC-Bahnsteuerung für die Firma Waldrich Siegen beginnen, die 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover an deren Walzenkalibriermaschine vorgestellt wurde (Abbildung 30, Kapitel 4.5).⁶⁹⁵

Bei der Maschine handelte es sich um eine Sonderdrehmaschine zur Profilierung von Walzen für die Herstellung von Leitplanken.⁶⁹⁶ Abbildung 33 zeigt die Steuerung und eine ihrer Logik-Baugruppen.

Technologisch war die AEG mit dieser Entwicklung zu diesem Zeitpunkt in der Bundesrepublik Deutschland führend, denn sie war der einzige Anbieter von Bahnsteuerungen. Dies bestätigte auch der interne AEG-Bericht zur 7. EWA in Brüssel vom September 1961. Danach belegte die AEG mit der Ausrüstung von 14 numerisch gesteuerten Maschinen nach der englischen EMI⁶⁹⁷ mit 16 Maschinen knapp den zweiten Platz. Die Siemens-Schuckertwerke lagen mit acht ausgerüsteten Maschinen deutlich hinter der AEG.⁶⁹⁸ Darüber, ob es sich bei allen im Bericht genannten Steuerungen wirklich um numerische Steuerungen handelt, kann aber diskutiert werden. Blaum zählte z. B. auch Maschinen mit, die nur eine numerische Istwertanzeige hatten.

⁶⁹³ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 5–6.

⁶⁹⁴ Im Archiv des Deutschen Technikmuseums in Berlin sind leider nur die Teile I (Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1463; Boese/Götz (07.09.1959)) und III (Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG Telefunken, TB 1545; Boese/Götz (22.09.1959/ 16.02.1961)) vorhanden. Teil III ist eine überarbeitete Version aus dem Jahr 1961, in der die geänderten Teile nicht gekennzeichnet wurden.

⁶⁹⁵ Vgl. Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG Telefunken, TB 1545; Boese/Götz (22.09.1959/ 16.02.1961), S. 114–115. Eine ausführliche Beschreibung der Steuerung erfolgte auch noch in den AEG-Mitteilungen. Pabst (1961).

⁶⁹⁶ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 7–8. Die Anfrage für die Entwicklung erhielt das Berliner Forschungsinstitut vom für die Werkzeugmaschinenhersteller zuständigen Vertrieb der AEG in Frankfurt.

⁶⁹⁷ Electrical Musical Instrument Co. Great Britain.

⁶⁹⁸ Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, 1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1570; Blaum (12.09.1961).

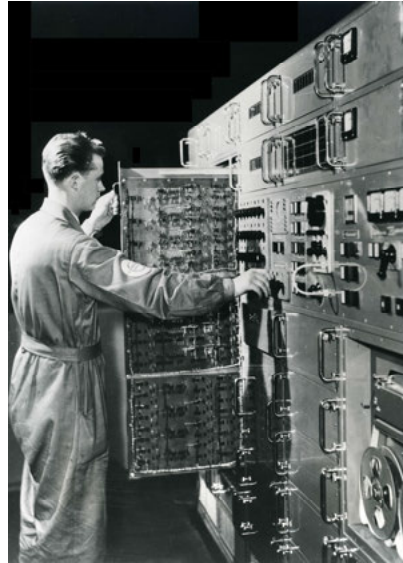


Abbildung 33: Numerische AEG-Bahnsteuerung um 1960 für Walzenkalibriermaschine⁶⁹⁹

Schatz legte in seinem Messebericht zur 7. EWA die Messlatte zwar etwas höher, er sortierte aber eine Karusselldrehbank von Schiess, bei der die Istwerte mit einem Kreuzschienenverteiler zur Schrittweilerschaltung kombiniert waren, schon als eine „numerische Steueranlage“⁷⁰⁰ ein. Unabhängig von der Zählweise steht aber fest, dass auf der 7. EWA die AEG von den westdeutschen Steuerungsherstellern die meisten Maschinen ausrüstete und das breiteste Produktspektrum von der Punkt- bis zur Bahnsteuerung in ihrem Portfolio hatte.

Im Jahr der 7. EWA machte die AEG auch erstmals „Werbung“ für ihre NC-Kompetenz. Schon Anfang 1961, im Doppelheft 1/2 der „AEG-Mitteilungen“, waren fünf Beiträge zur NC-Technik zu finden, mit denen die AEG ihren technischen Führungsanspruch untermauern wollte.⁷⁰¹ Diese behandelten neben der Beschreibung der AEG NC-Steuerung⁷⁰² Detailthemen wie die digitale Interpolation bei Bahnsteuerungen,⁷⁰³ die Lagemessung,⁷⁰⁴ die Positionierung⁷⁰⁵ und die Programmierung.⁷⁰⁶ Ein Beitrag über den Lochstreifencode⁷⁰⁷ in Heft 5/6 rundete die Serie der detaillierten und fundierten Beiträge ab.

⁶⁹⁹ Bildquelle: Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, I.2.060 FS 079-1-75-01; AEG (1960).

⁷⁰⁰ Vgl. Schatz (1961), S. 618–619.

⁷⁰¹ Diesen hatte die AEG 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover durch die Ausrüstung einer Walzenkalibriermaschine von Waldrich Siegen mit einer selbst entwickelten NC-Bahnsteuerung gezeigt. Vgl. Spur (1991), S. 533.

⁷⁰² Pabst (1961).

⁷⁰³ Götz (1961).

⁷⁰⁴ Lott (1961).

⁷⁰⁵ Stute (1961).

⁷⁰⁶ Boese (1961).

⁷⁰⁷ Petzold (1961).

Bedauerlicherweise waren ab 1961 im AEG-Archiv des Deutschen Technikmuseums keine internen „Technischen Berichte“ der AEG zu numerischen Steuerungen mehr vorhanden. Auch Prospekte der damals angebotenen Steuerungen fehlten. Es gab für die Jahre ab 1961 lediglich Fotos, die wegen fehlender Beschriftung keinem konkreten Produkt zugeordnet werden konnten.

Die AEG-Leitung war Anfang der 1960er Jahre davon überzeugt, dass mit numerischen Werkzeugmaschinensteuerungen und verwandten Produkten zeitnah nennenswerte Umsätze zu erzielen waren. Anders ist die Entscheidung nicht zu erklären, Entwicklung und Fertigung in ein neues Werk für Industrieelektronik in Seligenstadt zu verlegen. Die Fabrik in Seligenstadt wurde zwar erst 1964 offiziell eröffnet,⁷⁰⁸ Entwicklung und Fertigung der numerischen Steuerungen wurden aber schon ab 1962 nach Seligenstadt verlegt.⁷⁰⁹

Trotz Ausbau der Fertigungskapazitäten hielt sich die AEG mit weiteren Veröffentlichungen zu numerischen Steuerungen zurück. Sie wurden wahrscheinlich durch die guten Kontakte des Vertriebs zu den Werkzeugmaschinenherstellern ohne große Werbung verkauft. Erst 1964 gab es in den AEG-Mitteilungen wieder Fachartikel über die NC-Technik. Diese verdeutlichten, dass die AEG in der NC-Technik einschließlich der dazu gehörenden Antriebstechnik in Deutschland nach wie vor tonangebend war. Einen guten Überblick über den technischen Stand der AEG gibt es von Stute, der ein Jahr später Professor an der TH Stuttgart wurde (vgl. Kapitel 4.9.4). In seinem Beitrag „Datenverarbeitungsanlage für Werkzeugmaschinen“⁷¹⁰ beschrieb er die Konzepte der AEG zur Steuerung von Werkzeugmaschinen, leider ohne Produktnamen.⁷¹¹ Eine Besonderheit der AEG-Steuerungen war, dass schon 1964/1965 einige Steuerungen mit festverdrahteten Rechnern ausgerüstet waren. Diese waren frühe Vorläufer der späteren CNC-Technik.⁷¹²

⁷⁰⁸ Vgl. o. V. (1964a). Das Werk für Industrieelektronik Seligenstadt umfasste folgende Fabrikationsgebiete: „Industrielle Datenverarbeitung und numerische Steuerung, elektronische Schalt- und Steuergeräte, Fotoelektronik, Fernwirktechnik, Halbleiter-Stromrichter und Regelungseinrichtungen kleinerer Leistungen.“ AEG Aktiengesellschaft (1964?), S. 8.

⁷⁰⁹ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 16.

⁷¹⁰ Stute (1964).

⁷¹¹ 1964 erschien in der Zeitschrift „Maschine und Werkzeug“ ein Artikel über „Maschinen-Steuerungen“ als Rückblick auf die Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover in dem u. a. auch die NC-Steuerungen der AEG ausführlich beschrieben wurden. Die AEG bot danach Punkt-, Strecken- und Bahnsteuerungen an. Auch dieser Bericht enthielt keine Produktnamen. Vgl. o. V. (1964c), S. 7–8.

⁷¹² 1970 schrieb Götz, dass die AEG schon 1964 in Serie die AEG-Numeric 151 baute. Diese Steuerung war nach Götz mit einem fest verdrahteten Rechner ausgerüstet und so gesehen ein Vorläufer der CNC-Steuerung. Vgl. Götz (1970b), S. 444–445. In einer Mitteilung der AEG von 1965 wird dieses wichtige Detail der AEG-Numeric 151 nicht erwähnt. Dafür wurde betont, dass die Bahnsteuerungen der AEG-Numeric 300-Reihe als Digitalrechner ausgebildete Inneninterpolatoren haben. Vgl. Poerschke (1965), S. 146.

1968 bestand das „AEG-Numeric-System“ aus sechs Steuerungen, und zwar aus jeweils zwei Punkt-, Strecken- und Bahnsteuerungen.⁷¹³ Beachtenswert war die von Mühlenkamp separat beschriebene Bahnsteuerung AEG-Numeric 331. Diese hatte statt – wie damals üblich – einer festverdrahteten Hardware-Logik schon einen Prozessrechner für die NC-Funktionen.⁷¹⁴ Vorgestellt worden war diese Steuerung schon auf der EWA im September 1967, ohne dass die Integration eines Prozessrechners für die NC-Funktionen groß herausgestellt wurde.⁷¹⁵ Nach der späteren Terminologie handelte es sich schon um eine CNC-Steuerung, womit die AEG mit weitem zeitlichem Abstand der erste westdeutsche Anbieter dieser Technologie war. Siemens hatte eine technisch ähnliche Steuerung erst 1973, also sechs Jahre später, im Programm (vgl. Kapitel 4.11.7). Die AEG hatte mit dieser Entwicklung – ähnlich wie 1960 mit der ersten Transistor-Bahnsteuerung – einen deutlichen technologischen Vorsprung vor dem Wettbewerb. Richtig beworben wurde diese Entwicklung von der AEG aber erst auf der IHA⁷¹⁶ 1970. In ihrem Messebericht schrieben Stute und Victor: „Besonders beachtet wurde in Hannover eine Bahnsteuerung der AEG, die einen frei programmierbaren Rechner enthielt und somit durch Programmierung leicht der Aufgabe angepasst werden kann.“⁷¹⁷

1970 fasste Götz in zwei Fachaufsätzen⁷¹⁸ den Entwicklungsstand und die Zukunft der NC-Steuerungen aus Sicht der AEG zusammen. Er sah die Zukunft der NC-Steuerungen in einem Rechnerverbund zur Fertigungssteuerung. Dieser bestand nach seinen Überlegungen aus einem Fertigungsleitreehner, der die NC-Programme über eine DNC-Kopplung zu den Maschinen übertragen konnte. Außerdem sollten zukünftig neben den NC-Programmen auch Betriebsdaten wie Stückzahlen, Wartezeiten, Rüstzeiten etc. mit dem Fertigungsleitreehner ausgetauscht werden.⁷¹⁹ Das waren Überlegungen, die damals auch andere Steuerungshersteller wie z. B. Siemens anstellten (vgl. Kapitel 4.11.7). Auf der internationalen Werkzeugmaschinenausstellung 1970 in Hannover stellte die AEG ihr DNC System AEG-Numeric 700 aus, um die praktische Realisierbarkeit zu zeigen.⁷²⁰

Ein Jahr später, auf der 12. EWA 1971 in Mailand, präsentierte die AEG unter konsequenter Ausnutzung der damals verfügbaren integrierten Schaltkreise ihre modulare

⁷¹³ Dobbert (1968).

⁷¹⁴ Mühlenkamp (1968). Mühlenkamp nennt den eingesetzten Rechnertyp nicht. Ein späterer Produktbericht der Zeitschrift KEM nennt den Prozessrechner AEG 60-10. O. V. (1970a).

⁷¹⁵ Eckstein u. a. (1967), S. 933. Die Autoren beschrieben in ihrem Messebericht die Steuerung wie eine normale Bahnsteuerung.

⁷¹⁶ Internationale Hannover Ausstellung. Vgl. Glunk (1991), S. 138.

⁷¹⁷ Stute/Victor (1970), S. 689.

⁷¹⁸ Götz (1970a) und Götz (1970b).

⁷¹⁹ Vgl. Götz (1970a), S. 409–410.

⁷²⁰ Vgl. Debler (1970), S. 531–532. Als Leitreehner war ein Prozessrechner AEG 60-10 eingesetzt, der mit sechs Steuerungen von unterschiedlichen Herstellern sternförmig gekoppelt war.

dreiaxiale NC-Streckensteuerung AEG-NUMERIC 421. Sie war modular aus „Bausteinen“ aufgebaut und konnte dadurch einfach an Kundenanforderungen angepasst werden.⁷²¹

Bis zur internationalen Werkzeugmaschinenausstellung 1973 in Hannover wurde diese Steuerung zum Steuerungssystem AEG-NUMERIC 400 weiterentwickelt, das für die Technologien Drehen und Fräsen mit verschiedenen Achszahlen angeboten wurde. Wählen konnte der Kunde zwischen Antriebsschnittstellen für geregelte Antriebe und Schrittmotoren. Bei den Steuerungen für die Fräsbearbeitung gab es Ausführungen als Stecken- und Bahnsteuerungen. Eine Innovation war der optionale NCM-Baustein. Dabei handelte es sich um eine PLC-Steuerung⁷²² zur elektronischen Verknüpfung der NC-Steuerung mit der Maschine (vgl. hierzu auch Kapitel 7.4.1).⁷²³

Zwei Jahre später, 1975, fand die internationale Werkzeugmaschinenausstellung erstmals in Paris unter dem neuen Namen EMO⁷²⁴ statt. Die AEG zeigte wieder einige Innovationen, darunter die Steuerung AEG-NUMERIC 471 mit bis zu sechs Achsen. Neu war, dass wichtige Maschinenparameter in einem Kernspeicher abgelegt werden konnten und sich das „Funktionsprogramm“, also die Software der Steuerung, in einem „Nur-Lesespeicher“ befand.⁷²⁵ Die NC-Programme konnten erstmals in einem Halbleiter-Speicher direkt in der Steuerung archiviert werden, d. h. für die Abarbeitung des NC-Programms war die Geschwindigkeit des Lochstreifenlesers kein begrenzender Faktor mehr.⁷²⁶

Auf der zweiten EMO 1977 in Hannover wurde das mikroprozessorgesteuerte AEG-NUMERIC System III vorgestellt. Die Steuerung hatte drei Mikroprozessoren und eine PLC-Steuerung als Anpasssteuerung zur Maschine. Auch diese neue Steuerung hatte also ein sehr modernes Hardwarekonzept.⁷²⁷

Auf der EMO 1977 wurde jedoch deutlich, dass die AEG trotz der vielen Weiterentwicklungen und Innovationen gegenüber ihren Mitbewerbern bei den Marktanteilen in Rückstand geraten war: Im Messebericht der Zeitschrift *ZwF* wurden nur 18 mit einer AEG-NC-Steuerung ausgerüstete NC-Maschinen gezählt. Bosch (21 NC-Steuerungen), besonders aber Siemens (67 NC-Steuerungen ohne die von Siemens vertriebe-

⁷²¹ Vgl. Adam (1972), S. 28.

⁷²² Programmable Logic Controller.

⁷²³ Vgl. Adam (1973b), S. 676–677.

⁷²⁴ Exposition Mondiale de la Machine Outil; die EMO ist der Nachfolger der Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung EWA mit internationaler Beteiligung.

⁷²⁵ Die Formulierungen von Adam legen den Schluss nahe, dass die AEG-NUMERIC 471 für die Steuerung einen Rechner hatte, d. h. diese Steuerung war auch eine CNC-Steuerung.

⁷²⁶ Vgl. Adam (1975), S. 625.

⁷²⁷ Vgl. Geser u. a. (1977), S. 763.

nen Fanuc-Steuerungen Sinumerik 5M) hatten zum Teil deutlich höhere Stückzahlen.⁷²⁸

Es stellt sich deshalb die Frage, warum die AEG-Steuerungen trotz ihres guten Konzepts im Vergleich zu anderen Steuerungsanbietern, insbesondere aber zu Siemens, nur noch einen relativ kleinen Marktanteil hatten. Schlüssig kann diese Frage mangels aussagekräftiger Quellen nicht beantwortet werden. Ein Grund könnten zu geringe Investitionen in Entwicklung, Fertigung und Vertrieb gewesen sein, denn bessere Konzepte bedeuten nicht zwangsläufig Marktführerschaft. Entsprechende Hinweise gab der ehemalige AEG-Entwickler Götz in einem Interview. Er deutete an, dass wegen technischer Probleme bei den Kernkraftwerken in den 1970er Jahren und den dadurch gebundenen Finanzmitteln die Investitionen in die Weiterentwicklung der NC-Technik eingeschränkt wurden, während Siemens investieren konnte.⁷²⁹ Dies könnte ein wichtiger Grund dafür gewesen sein, dass die AEG NC-Steuerungen trotz des guten technischen Konzepts in der letzten Dekade des Untersuchungszeitraums Marktanteile an die Mitbewerber verloren.

In den 20 Jahren zwischen der ersten NC-Steuerung für die Walzenkalibriermaschine von Waldrich und dem Ende des Untersuchungszeitraums (1980) entwickelte die AEG mindestens vier komplett neue Steuerungsgenerationen, von denen jede auf einer komplett neuen Hardware und später auch noch neuen Software aufsetzte. Dies war mit hohen Kosten verbunden, die durch die noch niedrigen Stückzahlen nur schwer hereinzuspielen waren und wahrscheinlich auch zu internen Diskussionen führten. Dies kann man aus einer weiteren Andeutung von Götz schließen, der im Interview meinte, dass nach seiner Einschätzung Siemens im Unterschied zur AEG erst später viel Geld in die NC-Technik investierte und so Lehrgeld sparte.⁷³⁰ Die Steuerungshersteller BBC (vgl. 4.11.2) und SEL (vgl. Kapitel 4.11.6) standen vor ähnlichen Problemen und entschieden sogar, die NC-Entwicklung einzustellen. Darauf wird in den nächsten Unterkapiteln eingegangen.

Die AEG arbeitete auch im produktionstechnischen Innovationssystem mit. So erinnert sich Götz, dass er in mehreren Ausschüssen der ADB mitwirkte und für den VDI über viele Jahre Vorträge zur NC-Technik hielt.⁷³¹ Außerdem arbeitete er mit den Instituten von Spur (Berlin) und Stute (Stuttgart) zusammen. Die AEG war 1967 auch eines der

⁷²⁸ Vgl. Matthes/Schiffelmann (1977), S. 628–633.

⁷²⁹ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 17. Tatsächlich war es so, dass die AEG mit dem Kernkraftwerk Würghausen (u. a. 1972 Risse im Sicherheitsbehälter) hohe Verluste zu schultern hatte, die an die Substanz des Unternehmens gingen. Vgl. Strunk (2000), S. 94–97.

⁷³⁰ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 17.

⁷³¹ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 11–12 und 14.

Gründungsmitglieder des EXAPT-Vereins⁷³² (vgl. Kapitel 4.13), was sicherlich auch mit der engen Zusammenarbeit mit den Hochschulinstituten zusammenhing.

Zusammengefasst hatte die AEG eine hohe Relevanz für die NC-Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland, da sie 1960 die erste westdeutsche Bahnsteuerung entwickelte und schon 1967 eine Bahnsteuerung auf Prozessrechnerbasis in ihrem Portfolio hatte. Mit beiden Entwicklungen war die AEG dem Wettbewerb technologisch weit voraus. Allerdings gelang es ihr in den 1970er Jahren immer weniger, den technischen Vorsprung in Umsatz und Stückzahlen umzusetzen, was wahrscheinlich auch mit den finanziellen Problemen des Kernkraftgeschäfts zusammenhing.

Die Mitarbeiter der AEG waren auch in den für die NC-Technik wichtigen Ausschüssen der ADB tätig. In den 1960er Jahren hielten sie auch viele Vorträge, um die NC-Technik bei den berufstätigen Ingenieuren bekannt zu machen.⁷³³ Sie leisteten damit einen Beitrag zum Innovationssystem wie der von der AEG kommende Professor Stute des Stuttgarter Instituts ISW. Er beriet nach seinem Wechsel an die TH Stuttgart noch über viele Jahre die AEG,⁷³⁴ was dem wissenschaftlichen Austausch zwischen Industrie und Universität zugutekam.

4.11.2 Brown, Boveri & Cie. (BBC)

Einer der ersten Anbieter numerischer Steuerungen in der Bundesrepublik Deutschland war auch BBC. Vertrieben wurden zwei Produktlinien: Steuerungen aus dem Stammhaus in Baden (Schweiz) und Steuerungen der westdeutschen Tochtergesellschaft in Mannheim.⁷³⁵

Wahrscheinlich beschäftigte sich das Stammhaus in der Schweiz zuerst mit numerischen Steuerungen. Darauf deutet der Fachartikel „Elektronische Servo-, Programm- und Positioniergeräte“ hin, der im November 1957 in den Brown Boveri Mitteilungen erschien. In ihm ist ein elektronisches Streckenmess- und Positioniergerät beschrieben, das zum Messen und Positionieren geradliniger Strecken geeignet war. Konzipiert war das Gerät für Bohr- und Fräswerke sowie für Lehrenbohrwerke. Bis zu vier anzufahrende Positionen konnten per Dekadenschalter vorgewählt werden. Die Wegerfassung erfolgte über einen digitalen photoelektrischen Impulsaufnehmer, dessen Ausgangssignale schon mit Transistoren verstärkt und dann im Positioniergerät aufsummiert

⁷³² Vgl. Archiv EXAPT-Verein, Ordner EXAPT-Verein: Gründung, Satzung; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (22.03.1967).

⁷³³ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 14.

⁷³⁴ Vgl. Schmid (13.05.2016), S. 8.

⁷³⁵ Da es am ehemaligen BBC-Standort Mannheim (heute ABB) kein Archiv gibt, stammen alle Informationen zur westdeutschen Produktlinie aus Veröffentlichungen und Interviews.

wurden.⁷³⁶ Es handelte sich um ein sehr modernes Gerät, das im Rückblick als eine sehr einfache NC-Streckensteuerung bezeichnet werden kann.

Die westdeutsche BBC-Niederlassung in Mannheim agierte in den 1950er Jahren sehr selbstständig. Nach Kief baute BBC-Mannheim 1958 die ersten numerischen Steuerungen mit Relais-Logik für Versuchszwecke.⁷³⁷ Die ersten Seriensteuerungen in Relais-technik wurden an den Berliner Werkzeugmaschinenhersteller Fritz-Werner geliefert,⁷³⁸ der eine damit ausgerüstete Fräsmaschine 1960 auf der Werkzeugmaschinen-ausstellung in Hannover ausstellte.⁷³⁹ Ein Jahr später hatte BBC-Mannheim bereits eine relativ große Kompetenz in der NC-Technik aufgebaut, denn in Heft 10 der BBC-Nachrichten mit dem Schwerpunkt „Automatisierung von Werkzeugmaschinen“ waren fünf Fachartikel über numerische Steuerungen von BBC-Mannheim abgedruckt, die einen hohen Kenntnisstand dokumentierten.⁷⁴⁰ Spätestens ab 1963 wurden sogar Bahnsteuerungen angeboten.⁷⁴¹ BBC-Mannheim war also nach der AEG der zweite westdeutsche NC-Hersteller mit einer Bahnsteuerung im Programm.

Anscheinend verdiente BBC-Mannheim mit den NC-Steuerungen aber kein Geld. Nach Kief wurde schon 1964 bei BBC-Mannheim die Weiterentwicklung der NC-Steuerungen zugunsten der Schweizer Produktlinie eingestellt. Die hohen Entwicklungskosten der schnell aufeinanderfolgenden NC-Generationen und die erzielten Umsätze passten aus Sicht der Geschäftsleitung nicht zusammen.⁷⁴² Die Mannheimer Steuerungen wurden aber noch mindestens ein Jahr weiterverkauft, denn in einer Werbeschrift zur Brüsseler Werkzeugmaschinenausstellung von 1965 waren sie noch aufgeführt.⁷⁴³ In dem Heft sind auch noch zwei Beispiele von mit BBC-Steuerungen aus-

⁷³⁶ Vgl. Glantschnig (1957), S. 494–496.

⁷³⁷ Vgl. Kief (15.12.2012), S. 21. Kief war von 1957 bis 1964 bei BBC Mannheim als Ingenieur im Prüffeld und kam dort 1958 erstmals mit numerischen Steuerungen in Kontakt. 1964 wechselte Kief zu Dr. Masing, später Bosch, wo er zuletzt als Vertriebsleiter tätig war. Vgl. Kief (15.12.2012), S. 21.

⁷³⁸ Vgl. Kief (15.12.2012), S. 11, ergänzende E-Mail vom 13.12.2012.

⁷³⁹ Vgl. Mathée (1960), S. 677.

⁷⁴⁰ Herger/Ritscherle (1961), Stüben (1961), Cordes (1961), Herberich (1961) und Herger (1961).

⁷⁴¹ Auf der 8. EWA war eine Vertikal-Fräsmaschine von Droop & Rein mit einer BBC-Bahnsteuerung ausgestellt. Geliefert wurde die Steuerung von BBC-Mannheim. Vgl. Brewer (1963), S. 30 und 38. Leider waren auch in anderen Fachzeitschriften keine näheren Informationen zu dieser Steuerung zu finden. Lt. Kief wurde die Bahnsteuerung von BBC-Mannheim entwickelt. Vgl. Kief (15.12.2012), S. 7.

⁷⁴² Vgl. Kief (15.12.2012), S. 11–12. Die Information ist in der dem Interview vorausgehenden E-Mail vom 13.12. 2012 enthalten. Die Einstellung der NC-Entwicklung bei BBC-Mannheim war der Grund für Kiefs Wechsel zu Dr. Masing.

⁷⁴³ Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Brown, Boveri & Cie. AG, Baden (1965), S. 6–7.

gerüsteten NC-Maschinen, wobei aus der Beschreibung nicht hervorgeht, ob die Steuerungen aus Baden (Schweiz) oder aus Mannheim stammten.⁷⁴⁴

Bestätigen lässt sich die Einstellung der Mannheimer Linie erst 1967 durch eine Artikelserie im Septemberheft der BBC-Nachrichten zur Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover. In dieser wurde die neue NC-Steuerungsfamilie, bestehend aus fünf Steuerungsvarianten von BBC-Baden, ausführlich vorgestellt. Die leistungsfähigste Variante, die NC 810, war eine Bahnsteuerung.⁷⁴⁵ In der Einführung der Artikelserie wurde die neue BBC-Produktpolitik für Werkzeugmaschinen durch Rubin und Cordes erläutert. Ohne nähere Angaben sprachen sie von „vereinheitlichter Technik“ und betonten, dass die herkömmlichen Produkte weiter zur Verfügung stehen.⁷⁴⁶ In den Schweizer BBC-Mitteilungen wurde die neue NC-Steuerungsgeneration schon einen Monat früher vorgestellt.⁷⁴⁷

Eine Aussage darüber, welche Marktanteile BBC 1967 hatte, ist leider nicht möglich, da von der Werkzeugmaschinenausstellung 1967 keine aussagekräftige Statistik überliefert ist. Die letzte Statistik stammt von der EWA 1965 in Brüssel, auf der zwei Maschinen eine BBC-Steuerung hatten. Diese ist jedoch nicht repräsentativ, da auf dieser Ausstellung sehr viele NC-Hersteller vertreten waren.⁷⁴⁸

Die nächsten Veröffentlichungen zu NC-Steuerungen erschienen in den Schweizer BBC-Mitteilungen in den Jahren 1969 bis 1970.⁷⁴⁹ Zur EWA 1971 wurde wieder ein ganzes Heft mit einem großen NC-Teil ausschließlich der Ausrüstung von Werkzeugmaschinen gewidmet. Darin wurden auch neue Steuerungsvarianten vorgestellt, wie z. B. die NC 812, die als Bahnsteuerung für Drehmaschinen optimiert war.⁷⁵⁰

Danach gab es keine Veröffentlichungen von BBC über NC-Steuerungen mehr, da 1973 auch BBC-Baden die Entwicklung und Produktion von NC-Steuerungen einstellte und sich auf die Automatisierung und Leittechnik für die Energieversorgung konzentrierte.⁷⁵¹ Einige Mitarbeiter der NC-Entwicklung machten sich selbstständig und

⁷⁴⁴ Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen I; Brown, Boveri & Cie. AG, Baden (1965), S. 20–22.

⁷⁴⁵ Glantschnig (1967). Die Auflistung der Steuerungsvarianten findet sich auf Seite 456.

⁷⁴⁶ Cordes/Rubin (1967). Auf den einführenden Artikel von Cordes/Rubin folgten vier Fachaufsätze zu NC-Steuerungen.

⁷⁴⁷ Glantschnig (1967). Es handelt sich um den zentralen Aufsatz des Augustheftes von 1967, das sich ausschließlich mit Werkzeugmaschinensteuerungen beschäftigt. Die Aufsätze in den BBC-Nachrichten und BBC-Mitteilungen von Glantschnig waren trotz des gleichen Titels inhaltlich nicht ganz identisch. Der Aufsatz in den Schweizer BBC-Nachrichten war etwas ausführlicher, was vielleicht an einer anderen redaktionellen Ausrichtung lag.

⁷⁴⁸ Vgl. Mezger (1966), S. 120–121.

⁷⁴⁹ Z. B. Glantschnig/Burkhardt (1969) und Figner (1970).

⁷⁵⁰ Honisch (1971).

⁷⁵¹ Vermutlich war BBC der anstehende Entwicklungsschritt von der NC-Technik zur CNC-Technik zu teuer, weil wie Mitte der 1960er Jahre bei BBC Mannheim die Entwicklungskosten und die erzielbaren Margen nicht zusammenpassten.

gründeten 1973 die Firma Atek NC-Systeme AG in Brugg in der Nähe von Baden.⁷⁵² Geschäftsführer wurde Friedrich Glantschnig. Von ihm waren seit 1957 mehrere Fachaufsätze in den BBC-Nachrichten über NC-Themen erschienen, zuletzt 1971 über „Die strukturelle Gliederung der NC-Systeme von Brown Boveri.“⁷⁵³ Auf der ersten EMO in Paris (1975) stellte die junge Firma Atek ihre CNC-Steuerung Numatek 1110 vor, die auf dem Prozessrechner PDP 11/05 basierte.⁷⁵⁴ 1986 wurde Atek von Grundig übernommen (vgl. Kapitel 4.11.3).⁷⁵⁵

Die Entwicklung bei BBC zeigt, dass es damals schwer war, mit NC-Steuerungen Geld zu verdienen. BBC hoffte, durch die Zusammenlegung der Entwicklungen in Baden (Schweiz) und Mannheim die Kostensituation zu verbessern. Inwieweit die Erwartungen eintrafen, lässt sich nicht mehr feststellen, aber immerhin bot BBC nach der Entwicklungseinstellung in Mannheim noch fast zehn Jahre NC-Steuerungen an. Als dann der nächste Innovationsschritt zur CNC-Steuerung anstand, gab BBC die NC-Technik auf. Friedrich Glantschnig, einer der Entwickler, schied bei BBC aus und gründete zusammen mit anderen Entwicklern die Firma Atek, die schon auf der EMO 1975 ihre erste CNC-Steuerung vorstellte.

4.11.3 Grundig AG

Ein weiterer westdeutscher NC-Hersteller, der ab Mitte der 1970er Jahre einen größeren Bekanntheitsgrad als Lieferant von Deckel bekam, war die Grundig AG (Grundig). Diese war damals als Radio- und Fernsehgerätehersteller weiten Teilen der Bevölkerung ein Begriff. Dass Grundig auch Industrieelektronik herstellte, war in der Öffentlichkeit wenig bekannt.⁷⁵⁶

Grundig stellte seine erste NC-Steuerung 1963 auf der EWA in Mailand vor. Für Möbus war in seinem Messebericht „Neuentwicklungen im Werkzeugmaschinenbau (Eine Nachlese zur 8. EWA)“ die Grundig-Steuerung besonders bemerkenswert, weil sie modular aus Bausteinen aufgebaut war. Dadurch konnten die Steuerungen einfach

⁷⁵² Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Atek 1; Glantschnig (20.01.2022), S. 1. Der ehemalige Atek-Mitarbeiter Meister präzierte, dass acht Mitarbeitern der NC-Entwicklung von BBC in Baden (Schweiz) die Atek NC-Systeme AG gründeten. Darunter war Friedrich Glantschnig, der stellvertretende Leiter der NC-Entwicklung. Er brachte zusätzlichen den Inhaber der Firma Atek-Electronic AG in die neue Firma. Glantschnig war als „primus inter pares“ Geschäftsführer. Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Atek 2; Meister (22.01.2022).

⁷⁵³ Glantschnig (1971). Autor dieser Veröffentlichung war Fritz Glantschnig der nach Meister mit Friedrich Glantschnig identisch war und oft Fritz genannt wurde. Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Atek 2; Meister (22.01.2022).

⁷⁵⁴ Vgl. Adam (1975), S. 628.

⁷⁵⁵ Vgl. o. V. (1986c).

⁷⁵⁶ Leider gingen bei der Insolvenz von Grundig im Jahre 2003 (vgl. o. V. (2003)) viele Unterlagen verloren, sodass es vom Geschäftsfeld numerische Steuerungen keine Archivunterlagen mehr gibt. Grundig veröffentlichte nur wenig, sodass es auch nicht viele gedruckte Quellen gibt.

an Kundenanforderungen angepasst werden.⁷⁵⁷ Die volltransistorisierte Steuerung wurde als Positionier- und Streckensteuerung für zwei oder drei Achsen angeboten⁷⁵⁸ und hauptsächlich an Fräs- und Bohrmaschinen appliziert. Besonders häufig setzte der Werkzeugmaschinenhersteller Hermann Kolb in Köln die Grundig-Steuerung an seinen Koordinatenbohrwerken ein. Nach einer Referenzliste über die ausgelieferten numerisch gesteuerten Koordinaten-Bohrmaschinen⁷⁵⁹ von Ende August 1967 waren von 80 ausgelieferten Maschinen 63 mit einer Grundig-Steuerung ausgerüstet. Von den übrigen Steuerungen waren fünf von der AEG, je vier von Siemens und Dr. Masing und zwei von Olivetti. Saab und Philips waren mit je einer Steuerung vertreten. Diese Zahlen zeigen, dass die Grundig-Steuerung für die Käufer von Kolb-Maschinen wahrscheinlich Vorteile hatte.

Im Sonderdruck eines 1966 veröffentlichten Fachaufsatzes⁷⁶⁰ zur 10. EWA 1967 in Hannover warb Grundig für seine Steuerungen damit, dass sie von vier Werkzeugmaschinenherstellern an Fräs- bzw. Bohrmaschinen und an einer Universalhärtemaschine gezeigt wurden.⁷⁶¹ Grundig hatte also 1967 einen nennenswerten Marktanteil bei diesen Maschinen, vor allem aber bei der Firma Hermann Kolb. Für die späteren Jahre wurden keine vergleichbaren Daten gefunden, doch konnte sich Grundig mit seinen Positionier- und Streckensteuerungen im Markt halten, da diese Technologie damals für die meisten Bohr- und Fräsmaschinen ausreichend war.

Zusätzlich stellte Grundig auf dieser Ausstellung eine einfache Einkoordinaten-Handeingabesteuerung vor, die keinen Lochstreifenleser mehr benötigte. Die Positionswerte konnten über Dekadenschalter eingestellt werden. Die Positionierung der Achsen erfolgte durch Eilgang/Schleichgangumschaltung der Antriebe.⁷⁶² Diese Steuerung war ein erster Schritt von Grundig zu einfach bedienbaren Steuerungen für kostengünstige Maschinen.

Diese Produktlinie von mehr oder weniger intelligenten Digitalanzeigen wurde von Grundig weitergeführt. Sie war ein Grund, warum Grundig und die Friedrich Deckel AG (Deckel) in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre zusammenfanden.⁷⁶³ Grundig

⁷⁵⁷ Vgl. Möbus (1963), S. 558.

⁷⁵⁸ Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Grundig Werke GmbH (März 1965), S. 2.

⁷⁵⁹ Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 2; Hermann Kolb, Maschinenfabrik, Köln-Ehrenfeld (31.08.1967).

⁷⁶⁰ Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen; Bönisch (Sommer 1967). Der zweiteilige Originalaufsatz findet sich in Bönisch (1966a) und Bönisch (1966b).

⁷⁶¹ Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen; Bönisch (Sommer 1967), S. 2.

⁷⁶² Vgl. o. V. (1967b), S. 1898.

⁷⁶³ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 31. Leider konnten trotz intensiver Recherchen keine Hinweise darauf gefunden werden, wann und warum die Produktion der in den 1960er Jahren gebauten Grundig NC-Steuerungen eingestellt wurde.

entwickelte für die Deckel FP-Fräsmaschine eine einfache, preiswerte NC-Streckensteuerung, die 1978 vorgestellt wurde.⁷⁶⁴ Das Novum der nur für Deckel⁷⁶⁵ hergestellten NC-Streckensteuerung „Deckel Dialog 1“ war der (kleine) Bildschirm, über den dem Bediener zusätzliche Informationen angezeigt wurden und der die Programmierung vereinfachte.⁷⁶⁶ Grundig verfügte als Fernsehgerätehersteller über das Know-how, den Bildschirm so in die Steuerung zu integrieren, dass die Kosten zum Maschinenpreis passten.

Nach Geiger löste die „Deckel Dialog 1“ erhebliche Unruhe bei den Mitbewerbern aus. Die Steuerung wurde eine Erfolgsgeschichte, auch wenn es bei der schrittweisen Weiterentwicklung zu einer NC-Bahnsteuerung immer wieder Rückschläge durch Softwareprobleme gab. Nach Geiger wurden zeitweise jährlich weit über 1000 Maschinen mit den immer weiterentwickelten Dialog-Steuerungen verkauft⁷⁶⁷

Bei der Entwicklung der Deckel Dialog 1 wurde besonderer Wert auf eine möglichst ergonomische Anordnung aller Tasten und Wahlschalter gelegt. Neu war, dass jeder komplett eingegebene NC-Satz auf dem Bildschirm angezeigt wurde. Bei der Programmabarbeitung wurde der letzte, der aktuelle und der nächste Satz visualisiert, wobei der aktuelle hervorgehoben war. Bei der Programmierung an der Steuerung wurden Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, um Programmierfehler zu vermeiden (z. B. ob zu einer Achsposition auch ein Achsname angegeben war). Insgesamt war die Steuerung für die FP-Fräsmaschinen optimiert.⁷⁶⁸

In den folgenden Jahren wurde die Deckel-Steuerung von Grundig zu einer leistungsfähigen Bahnsteuerung weiterentwickelt. Hilfreich bei der Implementierung leistungstarker Fräsfunktionen war 1986 die Übernahme des Schweizer Steuerungsherstellers Atek durch Grundig.⁷⁶⁹ Dieser hatte sich als CNC-Anbieter für hochwertige Fräsmaschinen einen Namen gemacht und war von ehemaligen Mitarbeitern der Schweizer BBC gegründet worden (vgl. Kapitel 4.11.2).

Auf dem EMO-Informationsgespräch 1993 der neu fusionierten Deckel Maho AG⁷⁷⁰ wurden von Geiger als aktuelle Steuerungen die Dialog 12⁷⁷¹ und die neue Dialog 112

⁷⁶⁴ Geiger u. a. (1978).

⁷⁶⁵ Bis zur Übernahme der Philips-Steuerungen durch Grundig produzierte Grundig seine NC-Steuerungen exklusiv für Deckel.

⁷⁶⁶ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 31.

⁷⁶⁷ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 31–32. Die temporären Softwareprobleme, insbesondere bei der Einführung der Steuerung Dialog 11, wurden auch in einem Artikel des Manager-Magazins über die Probleme bei Deckel thematisiert. Vgl. Hoffmann (1990).

⁷⁶⁸ Vgl. Geiger u. a. (1978).

⁷⁶⁹ O. V. (1986c).

⁷⁷⁰ Der Fusionsvertrag zwischen Deckel und Maho wurde am 28. Juni 1993 unterzeichnet. Vgl. Koop (2010), S. 170.

⁷⁷¹ Die Zahl 12 weist darauf hin, dass es im Laufe der Jahre mehrere Steuerungsgenerationen gab.

genannt, die leistungsfähiger als die Dialog 12 war und eine Schnittstelle zu digitalen Antrieben hatte.⁷⁷²

Interessant sind auch die weiteren Verflechtungen. Maho, ehemals härtester Mitbewerber von Deckel, setzte als Standardsteuerung die Philips CNC 532 ein. Philips wiederum war seit 1984 an Grundig beteiligt und strebte ab 1993 die unternehmerische Führung bei Grundig an.⁷⁷³ Dies führte dazu, dass im Rahmen der Neuordnung zum 1. Januar 1993 die Business Unit Numeric des Geschäftsbereichs Industrieelektronik von Grundig die Numeric-Aktivitäten von Philips übernahm.⁷⁷⁴ Kurz darauf erwarb Grundig rückwirkend zum 1. Januar 1993 die Mehrheit an der Gildemeister Automation in Hannover, die NC-Steuerungen für Gildemeister herstellte.⁷⁷⁵ Ab 1993 waren dann unter dem Dach von Grundig bis auf Siemens alle wichtigen NC-Hersteller für Deckel, Maho und Gildemeister vereinigt.

Am 1. Oktober 1996 übernahm dann in einem weiteren Schritt Heidenhain die Numeric-Sparte von Grundig,⁷⁷⁶ die noch heute zu Heidenhain gehört (vgl. Kapitel 4.11.4).

Grundig bot als Nischenproduzent bis zum Ende des Untersuchungszeitraums nur NC-Steuerungen für einfache Fräsmaschinen an. Durch die enge Zusammenarbeit mit Deckel hatte Grundig am Ende des Untersuchungszeitraums bei einfachen Fräsmaschinensteuerungen einen hohen Marktanteil, auch weil die großen Steuerungshersteller wie z. B. Siemens kein Interesse an diesem Niedrigpreissegment hatten. Dies sollte sich langfristig als Fehler erweisen. Werkzeugmaschinenhersteller von kleinen NC-Maschinen wie Deckel entwickelten nach und nach auch anspruchsvollere Fräsmaschinen wie Bearbeitungszentren. Steuerungshersteller wie Grundig und Heidenhain mussten ihre Steuerungen für diese Maschinen ertüchtigen, wodurch die etablierten Steuerungshersteller Marktanteile bei den teureren Maschinen verloren.

Die Zusammenlegung der Steuerungsaktivitäten von Grundig, Philips und der Gildemeister Automation nahm die Fusion von Deckel und Maho und die 1994 erfolgte Übernahme der Deckel Maho AG durch die Gildemeister AG auf der Steuerungsseite quasi vorweg. Durch die 1996 erfolgte Übernahme der NC-Steuerungsaktivitäten von Grundig durch Heidenhain blieb das Steuerungs-Know-how von Grundig, Philips und der Gildemeister Automation erhalten und ist heute bei Heidenhain gebündelt (vgl. Kapitel 4.11.4).

⁷⁷² Vgl. Privatarhiv Michael Geiger, Ordner Referate ab 1990; Geiger (September 1993), S. 15–18.

⁷⁷³ Vgl. Mayer (1993).

⁷⁷⁴ Vgl. o. V. (1992).

⁷⁷⁵ Vgl. o. V. (1993).

⁷⁷⁶ Vgl. o. V. (1996a).

4.11.4 Dr. Johannes Heidenhain GmbH

Der zweitgrößte deutsche Hersteller von NC-Steuerungen ist heute die Dr. Johannes Heidenhain GmbH, im Folgenden Heidenhain genannt.⁷⁷⁷

Heidenhain geht zurück auf die 1889 in Berlin gegründete chemographische Werkstatt W. Heidenhain, die durch Metallätzen z. B. Schablonen für die Wäschestickerei herstellte.⁷⁷⁸ Im Jahr 1923 trat der Sohn – Dr. Johannes Heidenhain – in das Unternehmen ein⁷⁷⁹ und erfand u. a. das METALLUR-Verfahren. Mit diesem konnten hochpräzise Teilungen für Maßstäbe hergestellt werden. Ein mit dieser Technologie gefertigter Glasmaßstab mit einer Genauigkeit von $\pm 0,015$ mm wurde 1936 in ein Horizontalbohrwerk von Vomag in Plauen eingebaut.⁷⁸⁰

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde das Berliner Werk ein Hersteller von Leiterplatten für die elektrotechnische Industrie, während in Traunreut (Bayern) – nach einer Überbrückungszeit in Rain am Lech – das neue Hauptwerk mit dem Schwerpunkt Präzisionsteilungen als Dr. Johannes Heidenhain GmbH neu gegründet wurde.⁷⁸¹

Zum Produktspektrum gehörten schon bald wieder Messeinrichtungen für Präzisionswerkzeugmaschinen. 1953 brachte Heidenhain dafür erste optische Geräte mit einer Ablesemöglichkeit von 0,01 mm auf den Markt,⁷⁸² die in den Folgejahren in verschiedene Richtungen weiterentwickelt wurden. So wurden z. B. 1961 der erste inkrementale Drehgeber ROD 1 mit einer Teilscheibe von 10 000 Strichen und das inkrementale Längenmesssystem LID 1 mit einer Teilungsperiode von 0,008 mm vorgestellt, die beide für Werkzeugmaschinen konzipiert waren. Ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahre bot Heidenhain für die inkrementalen Messsysteme auch eine eigene Auswertelektronik an, den Vor- und Rückwärtszähler VRZ 59.4 für eine Achse. Er kam 1968 auf den Markt. 1974 folgte dann die Numerische Positionsanzeige 5041.⁷⁸³

Der nächste große Schritt war 1976 die dreiachsige numerische Positioniersteuerung TNC⁷⁸⁴ 110/120, die zusammen mit dem Werkzeugmaschinenhersteller Maho entwickelt wurde,⁷⁸⁵ und deutlich preisgünstiger als die bisher am Markt verfügbaren Steue-

⁷⁷⁷ Heidenhain hat kein öffentlich zugängliches Archiv, informierte aber auf Nachfrage. Zusammen mit Veröffentlichungen von und über Heidenhain, Interviews und Fachaufsätzen stand für den Untersuchungszeitraum ausreichend Informationsmaterial über die NC-Entwicklungen von Heidenhain zur Verfügung.

⁷⁷⁸ Vgl. Petrich (1989), S. 3–5.

⁷⁷⁹ Vgl. Petrich (1989), S. 6.

⁷⁸⁰ Vgl. Petrich (1989), S. 10–11.

⁷⁸¹ Vgl. Petrich (1989), S. 8–9.

⁷⁸² Vgl. Petrich (1989), S. 12.

⁷⁸³ Vgl. Petrich (1989), S. 14–17.

⁷⁸⁴ Tip Numeric Control (TNC) als Synonym für besonders einfache Bedienung und Programmierung.

⁷⁸⁵ Vgl. o. V. (1996b), S. 2.

runge war.⁷⁸⁶ Die Steuerung wurde mehrfach in Absprache mit den Kunden innoviert⁷⁸⁷ und 1981 durch die 3-Achsen-Bahnsteuerung TNC 145 ergänzt.⁷⁸⁸ Die Heidenhain-Steuerungen waren sehr erfolgreich. Nach zwanzig Jahren (1996) wurde der Verkauf von 100 000 TNC-Steuerungen gefeiert.⁷⁸⁹ Im Unterschied zu Grundig verkaufte Heidenhain seine Steuerungen aber nicht exklusiv an einen Kunden.

Die Entwicklung zum bedeutenden Steuerungshersteller verlief bei Heidenhain langsam, da Heidenhain zwischen zwei Stühlen saß: Zum einen drängten Maschinenhersteller wie Maho Heidenhain, seine Positionsanzeigen mit einfachen Steuerungsfunktionen aufzuwerten, zum anderen belieferte Heidenhain die großen Steuerungs- und Antriebshersteller mit rotatorischen Gebern für die Vorschubmotoren und wollte diese durch den Bau von Steuerungen nicht verärgern. Schließlich war die Herstellung von Maßstäben und Gebern das Kerngeschäft.⁷⁹⁰ Heidenhain beschränkte sich deshalb anfangs auf Positionsanzeigen, die die großen Steuerungshersteller nicht anboten. Diese wurden nach und nach auf „Kundenwunsch“ intelligenter, d. h. mit einfachen NC-Funktionen für das Fräsen ausgerüstet. Es war also eine ähnliche Entwicklung wie bei Grundig (vgl. Kapitel 4.11.3). Heidenhain konnte so gegenüber den Steuerungsherstellern argumentieren, die Weiterentwicklungen seien auf Kundenwunsch erfolgt.

Bei der Weiterentwicklung seiner Steuerungen ging Heidenhain sehr überlegt vor. In Absprache mit den Kunden orientierte sich die Entwicklung daran, wie der Facharbeiter an einer handbedienten Fräsmaschine die Vorgaben der Zeichnung in ein Werkstück umsetzt. Heidenhain versuchte mit seinem handlungsorientierten Bedienkonzept zu erreichen, dass der Bediener mit möglichst wenigen Tastendrücken und externen Zusatzberechnungen die in der Zeichnung vorgegebenen Positionen anfahren bzw. programmieren konnte. Daraus entstand die von Heidenhain „Klartext“ genannte Pro-

⁷⁸⁶ Die erste TNC-Steuerung für Maho kostete etwa ein Fünftel der bisher am Markt angebotenen Steuerungen, hatte aber alle NC-Funktionen, die die Maho-Maschinen benötigten. Vgl. Koop (2010), S. 111.

⁷⁸⁷ Die Entwicklung der Heidenhain-Steuerungen wurde stark von Werner Babel (Maho) geprägt, der darauf bestand, dass die zur TNC 135 weiterentwickelte Maho-Steuerung bis zur EMO 1979 einen Bildschirm bekam, vergleichbar zur 1978 auf der Ausstellung für Metallbearbeitung (AMB) vorgestellten Deckel-Steuerung. Vgl. o. V. (1996b), S. 2. Koop, der sich auf ein Interview mit Werner Babel (Geschäftsführer von Maho) bezieht, behauptet, dass Werner Babel schon die Ausprägung der 1976 auf der Fameta vorgestellten Heidenhain TNC 110 stark beeinflusste. Vgl. Koop (2010), S. 110–111. In Fußnote 54 seines Kapitels fünf schränkt Koop dies wieder ein. Nach einem Interview mit Herrn Holstein war nicht Werner Babel, sondern mehr der Konstruktionschef Reber der Treiber der Entwicklung. Vgl. Koop (2010), Fußnote 54, S. 225.

⁷⁸⁸ Vgl. Petrich (1989), S. 17–18.

⁷⁸⁹ O. V. (1996b).

⁷⁹⁰ Vgl. Miller (08.07.2013 und 05.04.2016), S. 11. Nach Miller lieferte Heidenhain schon vor der offiziellen Vorstellung der eigenen Steuerungen Sondersteuerungen an den Schleifmaschinenhersteller Fortuna in Stuttgart und an den Lehrenbohrwerkhersteller Lindner. Miller war von 1984 bis 1995 technischer Geschäftsführer von Heidenhain.

grammierung, die wegen ihrer Verständlichkeit und leichten Erlernbarkeit schnell eine außerordentlich hohe Akzeptanz erlangte.⁷⁹¹

Die etablierten Steuerungshersteller hatten Heidenhains Konzept anfangs nichts entgegenzusetzen. Sie nahmen Heidenhain auch nicht richtig ernst, weil sie den Markt falsch einschätzten. Beim Fräsen hatten sie sich auf Steuerungen für die teuren Bearbeitungszentren konzentriert, die in einer ganz anderen Preisklasse angesiedelt waren. NC-Steuerungen für kleine Fräsmaschinen, wie sie von Maho und Deckel benötigt wurden, erschienen ihnen nicht lukrativ, obwohl die erzielbaren Stückzahlen höher als in dem von ihnen bedienten Marktsegment waren.

In einem über 30 Jahre dauernden Prozess näherten sich die Philosophien an. Heidenhain ergänzte sein Steuerungsangebot um Funktionen für die Bearbeitungszentren und die etablierten Steuerungshersteller ergänzten ihre Steuerungen um Funktionen für die Werkstattprogrammierung als Alternative zur Klartextprogrammierung von Heidenhain und boten auch preiswertere Steuerungen für kleinere Maschinen an.

Heute ist Heidenhain – auch durch die Übernahme von Steuerungsherstellern wie Grundig (vgl. Kapitel 4.11.3) – nach Siemens der zweitgrößte deutsche NC-Hersteller. Im Gegensatz zu Siemens konzentriert sich Heidenhain auf NC-Steuerungen für Fräsmaschinen, während Siemens NC-Steuerungen für alle Bearbeitungstechnologien anbietet.⁷⁹² Allerdings darf nicht übersehen werden, dass Heidenhain nach wie vor seinen Umsatzschwerpunkt im Bereich der Messsystemen hat.⁷⁹³

4.11.5 Dr. Masing & Co. KG/ Robert Bosch GmbH

Die Dr. Masing GmbH & Co. KG, bis Ende 1972 Masing, dann Bosch genannt, war in den 1960er Jahren ein kleinerer Anbieter von NC-Steuerungen, der in den 1970er Jahren durch die Integration in den Bosch-Konzern starke Zuwächse verzeichnete.⁷⁹⁴

⁷⁹¹ Der Begriff Klartext-Dialog wurde erstmals in einer Veröffentlichung von Heidenhain über die TNC 131 Anfang 1980 verwendet. Vgl. Fladée (1980), S. 95. Heute ist das Wort „Klartext“ Synonym für die Heidenhain-Programmierphilosophie. Auch die seit 1983 von Heidenhain herausgegebene Kundenzeitschrift für die NC-Anwender hat diesen Namen.

⁷⁹² Für Drehmaschinen bietet Heidenhain 2021 z. B. die Steuerung CNC PILOT 640 an. Vgl. Dr. Johannes Heidenhain GmbH (2021c).

⁷⁹³ Der Jahresabschluss der Dr. Johannes Heidenhain GmbH wies für das Jahr 2019 einen Gesamtumsatz von 678 Mio. € aus. Davon entfielen 441,4 Mio. € auf „Längen- und Winkelmesssysteme“ (66 %) und 182,2 Mio. € (27 %) auf „Numerische Positionsanzeigen und Steuerungen für Werkzeugmaschinen“. Der Rest von 7 % entfiel auf „Sonstiges“. Dr. Johannes Heidenhain GmbH (2021a), S. 10. Messsysteme waren also auch 2019 noch der Hauptumsatzträger.

⁷⁹⁴ Leider sind über Masing/Bosch fast keine Unterlagen zu NC-Steuerungen im Bosch-Archiv. Der Überblick basiert deshalb auf Unterlagen aus anderen Archiven, sowie auf Veröffentlichungen und Interviews. Sehr hilfreich waren zwei Telefoninterviews mit dem langjährige Bosch NC-Vertriebsleiter Kief (Kief (15.12.2012)) und Unterlagen aus seinem Privataarchiv. Außerdem stellte der ehemalige Bosch-Mitarbeiter Konrad Stich seine Erinnerungen an die Anfänge der NC-Technik bei Masing/Bosch in einem Buch zusammen. (Stich (2013)).

Masing wurde am 21. Juni 1948 in Erbach im Odenwald von Walter Masing und seinem Bruder Herbert gegründet. Walter Masing übernahm die technische, Herbert Masing die kaufmännische Geschäftsführung. Die Kernprodukte des kleinen mittelständischen Unternehmens, waren Blindleistungsregler, Steuerungen für die Widerstands-Schweißtechnik und Positioniersteuerungen.⁷⁹⁵



Abbildung 34: Hüller Hübomat mit Masing Numeric Typ B 3/3-P⁷⁹⁶

Wann genau Masing erstmals Werkzeugmaschinen mit numerischen Steuerungen ausrüstete, ist etwas unklar. In Messeberichten zur 8. EWA 1963 in Mailand wurden erstmals NC-Maschinen erwähnt, die mit Masings NC-Punktsteuerungen ausgerüstet waren.⁷⁹⁷ Allerdings waren die NC-Steuerungen ursprünglich nicht nur für Werkzeugmaschinensteuerungen ausgelegt, sondern auch für die Steuerung von Kränen, Waagen usw. geeignet. Die Masing-Numeric-Steuerung war lt. Prospekt eine Positioniersteuerung für Produktionsmaschinen und war in Transistortechnik ausgeführt.⁷⁹⁸ Erst etwa ein halbes Jahr später wurde eine Variante speziell für Werkzeugmaschinen angeboten.⁷⁹⁹ Ab diesem Zeitpunkt war Masing mit seinen Positioniersteuerungen relativ er-

⁷⁹⁵ Vgl. Stich (2013), S. 17–18.

⁷⁹⁶ Bildquelle: Privatarhiv Hans B. Kief, Bildersammlung Masing Numeric; Dr. Masing & Co. KG (o. J.).

⁷⁹⁷ Es handelte sich um einen Revolverdrehautomat der Gebr. Heinemann und ein Bohr- und Fräswerk der UMA-Werke. Vgl. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH Aachen (1963), S. 2202 und 2206.

⁷⁹⁸ Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Dr. Masing & Co. KG (15.09.1964), gez. S. 2–3.

⁷⁹⁹ Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Dr. Masing & Co. KG (Mai 1965). Der Hauptumsatzträger waren aber Schweißsteuerungen. Vgl. Kief (15.12.2012), S. 8.

folgreich im Markt, wie zahlreiche Werbeblätter von Werkzeugmaschinen zeigen, die mit NC-Steuerungen von Masing ausgerüstet waren.⁸⁰⁰ Abbildung 34 zeigt den Hübo-mat von Hüller mit einer Masing-Steuerung; das Bild stammt aus einem der Werbeblätter.

Maßgeblichen Anteil am Erfolg von Masing hatte der ehemalige BBC-Mitarbeiter Kief, der 1964 von BBC-Mannheim zu Masing wechselte und Kontakte zu Werkzeugmaschinenherstellern mitbrachte.⁸⁰¹ Kief war sich jedoch bewusst, dass der Markterfolg von Masing nur vorübergehend war. Er sah den Trend zur Bahnsteuerung voraus und wusste, dass Masing nicht in der Lage war, eine Bahnsteuerung zu entwickeln. Eine Möglichkeit, zu einer Bahnsteuerung zu kommen, sahen Kief und Walter Masing aber in einem Lizenzvertrag mit einem amerikanischen NC-Hersteller. Masing reiste deshalb in die USA und kam mit der Erkenntnis zurück, dass nur Bendix als Partner in Frage kam.⁸⁰² Dies war insofern interessant als Bendix um 1953 im Rahmen einer Kooperation mit dem MIT die erste kommerzielle NC-Steuerung gebaut hatte (vgl. Kapitel 3.2) und Ende der 1960er Jahre schon über eine langjährige Erfahrung auf diesem Gebiet verfügte.⁸⁰³

Zufällig führte etwa zur gleichen Zeit die Robert Bosch GmbH (im Folgenden Bosch genannt) für Kraftfahrzeug-Antiblockiersysteme mit Bendix Lizenzverhandlungen und vereinbarte einen Lizenzaustausch mit Bendix. Im Lizenzpaket von Bendix für Bosch waren auch Lizenzen für die Bendix-NC-Steuerungen enthalten, mit denen Bosch mangels eigenen Know-hows aber erst einmal nichts anfangen konnte.⁸⁰⁴ Auf der Suche nach einem Partner für die Nutzung der Bendix-Steuerungen kam es zu Verhandlungen mit Masing. Dort war man auf Grund der eigenen Recherchen an einer Zusammenarbeit interessiert. Das Verhandlungsergebnis war, dass Bosch von den Brüdern Masing und der Firma Vorwerk in Wuppertal (einem Gesellschafter von Masing) Ende 1968 zwei Drittel des Gesellschaftskapitals übernahm. Ein Drittel behielten die Brüder Masing, die Geschäftsführer blieben.⁸⁰⁵

Durch die mehrheitliche Zugehörigkeit zu Bosch konnte Masing ab Ende 1968 die Bendix-NC-Lizenzen in Europa verwerten. Masing war damit quasi über Nacht im Besitz einer bewährten NC-Bahnsteuerung und konnte in den Folgejahren seine NC-

⁸⁰⁰ Privataarchiv Hans B. Kief, Werbeblätter Masing Numeric im Einsatz; Dr. Masing & Co. KG (1964-1968?).

⁸⁰¹ Vgl. o. V. (2010a), S. 7.

⁸⁰² Vgl. Kief (15.12.2012), S. 9.

⁸⁰³ 1953 entwickelten das MIT, die Glenn Martin Company, Bendix und Kearney & Trecker gemeinsam die erste kommerzielle NC-Steuerung. Vgl. Spur (1991), S. 516. Reintjes berichtet Ähnliches, legt sich zeitlich aber nicht so genau fest. Vgl. Reintjes (1991), S. 158. Die Zeitschrift *American Machinist* berichtete 1955 über die Bendix-Maschine und schrieb, dass Bendix die kommerziellen Rechte der MIT-Maschine gekauft hat. Vgl. o. V. (1955), S. 173.

⁸⁰⁴ Vgl. Kief (15.12.2012), S. 9.

⁸⁰⁵ Vgl. Robert Bosch GmbH, Unternehmensarchiv, 681202; Robert Bosch GmbH (05.12.1968).

Umsätze deutlich erhöhen. Die ersten Bendix-Steuerungen, die „100er-Serie“, wurden in zwei Varianten vertrieben, und zwar in der US-Originalversion und als europäisierter Nachbau.⁸⁰⁶ Dadurch konnte Masing/Bosch nach und nach eigenes Know-how für Bahnsteuerungen aufbauen.

Ende 1972 übernahm Bosch die Firma Masing vollständig und bildete aus dem Bosch-Geschäftsbereich Industrieausrüstung, den Tochtergesellschaften Dr. Masing und Co KG, Erbach, und der A. Rieber GmbH, Reutlingen, die neue Robert Bosch Industrieausrüstung GmbH. Die Brüder Masing wurden in den Aufsichtsrat der neuen GmbH berufen.⁸⁰⁷ Heute ist das ehemalige Masing-Werk in Erbach ein wichtiger Standort des Bosch-Konzerns und gehört nach weiteren Umstrukturierungen und Zukäufen zur Bosch Rexroth AG, einer hundertprozentigen Tochtergesellschaft von Bosch.⁸⁰⁸

Bis etwa Mitte der 1980er Jahre wurden von Bosch nur NC-Steuerungen vertrieben, deren technische Basis auf Bendix zurückging und von Bosch auf die europäischen Verhältnisse angepasst und weiterentwickelt worden waren.

Trotz der Erfolge mit den Bendix-Steuerungen entschied Bosch 1982, eine eigene Steuerungsfamilie – die CC-Familie – zu entwickeln. Bosch befürchtete, dass sich Bendix aus dem Geschäft mit NC-Steuerungen wegen mangelnder Rentabilität mittelfristig zurückziehen könnte.⁸⁰⁹ Die erste Steuerung CC300 kam 1985 auf den Markt.⁸¹⁰

Heute bietet Bosch über seine Tochter Bosch Rexroth AG⁸¹¹ immer noch NC-Steuerungen an. In der Bosch Rexroth AG wurde die Steuerungstechnik der Bosch Industrieausrüstung und des Antriebsherstellers Indramat (vgl. Kapitel 7.4.2), eine ehemalige Rexroth-Tochter, gebündelt. Die Bosch Rexroth AG hat heute bei den NC-Steuerungen nur noch einen kleinen Marktanteil.

Zusammengefasst bot in den 1960er Jahren Masing ähnlich wie Grundig NC-Streckensteuerungen für einfache Fräsmaschinen an. Beide Firmen hatten also die gleiche Zielgruppe. Masing erkannte, dass die Streckensteuerungen mittelfristig durch Bahnsteuerungen abgelöst werden mussten und war auf der Suche nach einem Partner, da die Entwicklung einer Bahnsteuerung alleine nicht zu finanzieren war. Durch Zufall kam Masing über Bosch an die Lizenzen des etablierten amerikanischen NC-Herstellers Bendix und wurde in zwei Schritten von Bosch übernommen. Bis in die 1980er Jahre stellte Bosch seine Steuerungen auf Basis von Bendix-Lizenzen her. Ab Mitte der 1980er Jahre, etwa zeitgleich mit der Einstellung der NC-Fertigung bei Ben-

⁸⁰⁶ Vgl. Stich (2013), S. 33.

⁸⁰⁷ Vgl. Robert Bosch GmbH, Unternehmensarchiv, 721103; Robert Bosch GmbH (Ende 1972).

⁸⁰⁸ Vgl. Robert Bosch GmbH (2020).

⁸⁰⁹ Vgl. Kief (15.12.2012), S. 9.

⁸¹⁰ Vgl. Stich (2013), S. 55–57.

⁸¹¹ 2001 wurden die Mannesmann Rexroth AG und die Bosch Automationstechnik zur Bosch Rexroth AG zusammengeführt. Vgl. Bosch Rexroth AG (2022).

dix, stand eine eigene NC-Steuerung zur Verfügung. Im Jahr 2001 fusionierte die Bosch Industrieausrüstung mit der Mannesmann Rexroth AG zur Bosch Rexroth AG, in der auch die Steuerungstechnik zusammengefasst wurde.

4.11.6 Standard Elektrik Lorenz AG (SEL)

Die SEL in Stuttgart war Ende der 1950er Jahren einer der großen westdeutschen Elektrokonzerne. Sie hatte ihren Unternehmensschwerpunkt in der Fernsprechtechnik und in der Unterhaltungselektronik und war 1958 aus der Verschmelzung der beiden ITT-Unternehmen⁸¹² C. Lorenz AG und der Standard Elektrik entstanden.⁸¹³ Nach langjähriger Zugehörigkeit zu ITT fusionierte SEL 1986 mit der französischen Compagnie Générale d'Électricité.⁸¹⁴

Wie fast alle Elektrokonzerne baute auch die SEL in den 1950er Jahren eine Sparte für Computertechnik und Industrieelektronik auf. Das größte Projekt war die Entwicklung des Rechners ER 56, der 1959 vorgestellt wurde.⁸¹⁵ Einer der Entwickler war Wilfried de Beauclair, der schon bei der Entwicklung des Zuse Rechners Z3 Kontakt mit Zuse hatte.⁸¹⁶ Im Rahmen der ER-56-Entwicklung hatte Beauclair wahrscheinlich auch Berührungspunkte mit der SEL NC-Steuerung, denn er veröffentlichte 1960 und 1961 zahlreiche Fachaufsätze zur NC-Technik,⁸¹⁷ obwohl er 1960 nach Schließung des Informatikwerks bei der SEL ausgeschieden war und sich bei der Deutschen Post in Darmstadt mit anderen Themen befasste.⁸¹⁸ Allerdings handelte es sich bei der ER-56-Entwicklung und der NC-Entwicklung um unterschiedliche Technologiepfade: Der ER 56 war in Transistortechnik aufgebaut,⁸¹⁹ die NC-Steuerung überwiegend in Relais-technik.⁸²⁰

Eine der ersten NC-Steuerungen von SEL war an einer Bohle-Fräsmaschine mit einer dreiachsigen, lochstreifengesteuerten NC-Positioniersteuerung auf der Werkzeugma-

⁸¹² International Telephone & Telegraph Corporation.

⁸¹³ Vgl. Standard Elektrik Lorenz AG (1979), S. 10.

⁸¹⁴ Vgl. o. V. (1986a). Von 1986 bis heute gab es mehrere Eigentümer- und Namenswechsel. Deshalb gibt es auch kein SEL-Archiv. Für die Recherche der „NC-Geschichte“ der SEL wurden deshalb Veröffentlichungen, Zufallsfunde in Archiven und Interviews herangezogen.

⁸¹⁵ Vgl. Beauclair (2005), S. 180.

⁸¹⁶ Vgl. Schühly (2018).

⁸¹⁷ Z. B. Beauclair (1961a). Im Schrifttum verwies Beauclair auf sechs weitere Fachaufsätze von sich.

⁸¹⁸ Bei der Deutschen Bundespost verantwortete Beauclair die Umstellung der Postscheck- und Sparkassendienste auf EDV. Vgl. Schühly (2018). Beauclair beschäftigte sich aber weiter mit der Automatisierungstechnik, denn in einem Protokoll des ADB-Ausschusses Automatisierung in der Fertigung vom 19.10.1962 ist er als Mitglied aufgeführt. Vgl. Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Ordner: VDI-Steuerungsausschuss; VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (19.10.1962), S. 2.

⁸¹⁹ Vgl. Beauclair (2005), S. 180.

⁸²⁰ Vgl. o. V. (1960a), S. 6.

schinenausstellung in Hannover (1960) zu sehen.⁸²¹ Etwa eineinhalb Jahre später wurde die NC-Steuerung der SEL ausführlich in den SEL Nachrichten beschrieben. Danach entsprach sie technisch in etwa den Steuerungen der Mitbewerber.⁸²²

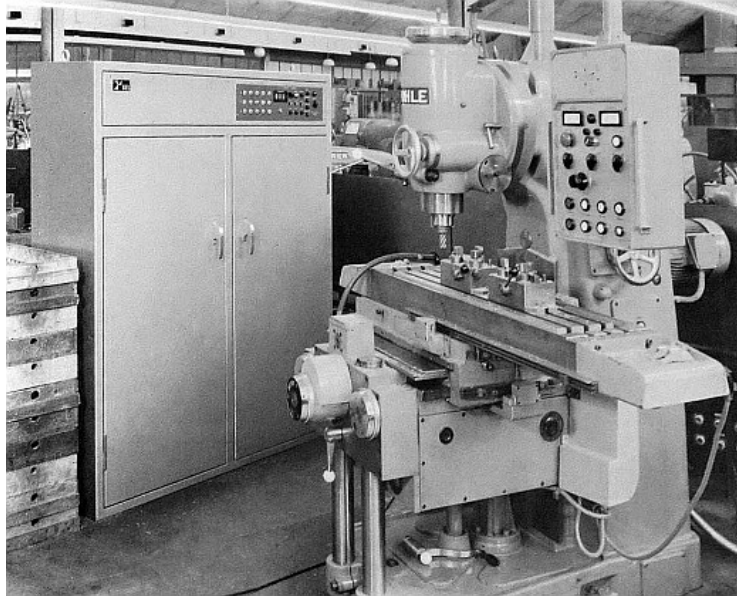


Abbildung 35: Bohle Fräsmaschine mit SEL-Steuerung⁸²³

In einem Prospekt von 1964 oder 1965 waren SEL NC-Steuerungen an Werkzeugmaschinen von Heid (Drehen), Fritz-Werner, Bohle (Fräsen, Abbildung 35) und Hüller (Bohren) abgebildet.⁸²⁴ Den Bildern nach war die SEL-Steuerung kompakt aufgebaut, die damit gesteuerten Maschinen waren jedoch relativ klein und einfach. Abschätzungen über die gelieferten Stückzahlen bzw. Marktanteile lassen sich daraus nicht ableiten, aber dass sich auch die SEL auf Fräsmaschinen konzentrierte, wird daraus ersichtlich. Nach Roßkopf, einem der ersten Mitarbeiter der NC-Entwicklung des Ludwigsburger Werkzeugmaschinenherstellers Hüller, waren die ersten Hüller-Bohrautomaten (Hübomaten) mit SEL-Steuerungen ausgerüstet. Hüller stellte jedoch später auf Siemens und Bosch um, da SEL den Umstieg von der Relais- auf die Transistortechnik nicht bewältigte.⁸²⁵ Dies deckt sich mit der Erinnerung von Miller (Heidenhain), dass

⁸²¹ Vgl. o. V. (1960a), S. 6.

⁸²² Winhold (1962). In der Veröffentlichung waren die Lorenz Werke in Pforzheim angegeben. Daher ist davon auszugehen, dass die NC-Steuerungen der SEL im Lorenz Werk Pforzheim gefertigt wurden.

⁸²³ Bildquelle: Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Standard Elektrik Lorenz AG (1964 oder 1965), S. 33.

⁸²⁴ Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Standard Elektrik Lorenz AG (1964 oder 1965), S. 32–35.

⁸²⁵ Vgl. Roßkopf (29.10.2014), S. 5 und 10. In dem erwähnten Prospekt befindet sich auch eine Innenaufnahme der Steuerung mit großen Teilen in Relais-technik. Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Standard Elektrik Lorenz AG (1964 oder 1965), S. 17.

die gesamte NC-Entwicklungsmannschaft bei SEL kündigte, weil die Weiterentwicklung der NC-Steuerungen wegen zu hoher Kosten eingestellt wurde.⁸²⁶

Dem Prospekt nach waren die SEL-Steuerungen für Heidenhain-Messsysteme ausgelegt; es bestanden also enge Geschäftsbeziehungen zu Heidenhain.⁸²⁷ Indirekt bestätigt wird die Erinnerung Millers dadurch, dass Horst Winhold, nach Roßkopf der Leiter der NC-Entwicklung bei SEL,⁸²⁸ spätestens 1967 bei BBC-Mannheim in der NC-Entwicklung oder Applikation arbeitete.⁸²⁹

Zusammengefasst stellte die SEL, einer der westdeutschen NC-Pioniere, zwischen 1965 und 1967 die NC-Weiterentwicklung ein, da die Kosten für die notwendigen Weiterentwicklungen im Verhältnis zum Umsatz wirtschaftlich nicht tragbar waren.⁸³⁰ Die Mitarbeiter wechselten zu anderen Firmen, darunter auch BBC Mannheim. Dort war zwar die Entwicklung aus ähnlichen Beweggründen schon 1964 eingestellt worden, es wurden aber noch die Steuerungen der Schweizer Konzernmutter vertrieben (vgl. Kapitel 4.11.2), wofür fachkundiges Personal benötigt wurde.

4.11.7 Siemens AG

Die heutige Siemens AG (im Folgenden Siemens genannt),⁸³¹ heute der größte deutsche Elektrokonzern, hat ihre Wurzeln in der 1847 von Werner von Siemens und Johann Georg Halske gegründeten Telegraphen Bau-Anstalt Siemens & Halske (S&H) in Berlin. Anlass der Unternehmensgründung war der von Werner von Siemens verbesserte Zeigertelegraf, dessen Bau und weitere Verfeinerung er Halske überließ.⁸³² Aus der kleinen Werkstatt entwickelte sich in den letzten 170 Jahren die heutige Siemens AG. Entscheidend für die Entwicklung zum Großkonzern war 1866 die Entdeckung

⁸²⁶ Vgl. Miller (08.07.2013 und 05.04.2016), S. 10.

⁸²⁷ Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Standard Elektrik Lorenz AG (1964 oder 1965), S. 26–29.

⁸²⁸ Vgl. Roßkopf (29.10.2014), S. 5.

⁸²⁹ Im Jahr 1967 veröffentlichte Winhold in den BBC-Nachrichten erstmals einen Fachaufsatz. Winhold (1967).

⁸³⁰ In dem schon erwähnten Prospekt ist auch der technische Aufbau der Steuerung beschrieben. Danach waren große Teile noch in Relais-Technik realisiert, nur die Zähler zur Auswertung der Messsysteme waren elektronisch aufgebaut und vielleicht auch Lieferanteil von Heidenhain. Auf jeden Fall stand über kurz oder lang eine Umstellung auf Transistortechnik oder integrierte Schaltkreise an. Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Steuerungen 1; Standard Elektrik Lorenz AG (1964 oder 1965), S. 19.

⁸³¹ Im Folgenden wird auf die Unternehmensstruktur bis zur Konsolidierung aller Teilunternehmen in der SIEMENS AG im Jahr 1967 kurz eingegangen. Zur Vereinfachung wird in diesem Unterkapitel meistens von „Siemens“ gesprochen. Nur wenn es zum Verständnis wichtig ist, werden die Namen der ursprünglichen Unternehmensteile wie z. B. Siemens-Schuckertwerke (SSW) oder Siemens & Halske (S&H) verwendet.

⁸³² Vgl. Feldenkirchen/Bartels (1997), S. 6–7.

des dynamoelektrischen Prinzips durch Werner von Siemens.⁸³³ Diese Erfindung und ihre großtechnische Umsetzung war eine wesentliche Voraussetzung für die Verbreitung der Elektrizität in der Industrie und in den Haushalten.

Kurz nach der Jahrhundertwende, 1903, übernahm Siemens & Halske die Nürnberger Elektrizitäts-AG (vormals Schuckert & Co). Die übernommene Gesellschaft fusionierte mit dem eigenen Bereich Starkstromtechnik zur Siemens-Schuckertwerke GmbH (SSW).⁸³⁴ Ab diesem Zeitpunkt bestand „Siemens“ neben weiteren kleineren Firmen quasi aus zwei Teilen, die relativ selbstständig agierten, nämlich aus Siemens & Halske mit dem Schwerpunkt Nachrichtentechnik und den Siemens-Schuckertwerken mit dem Haupttätigkeitsfeld Starkstromtechnik.

1966 wurden im Rahmen einer weiteren großen Umorganisation Siemens & Halske, die Siemens-Schuckertwerke und die Siemens-Reiniger-Werke⁸³⁵ zur Siemens AG verschmolzen. Die Arbeitsgebiete wurden auf sechs Unternehmensbereiche aufgeteilt.⁸³⁶ Die numerischen Steuerungen wurden dem Unternehmensbereich Energietechnik zugeordnet. Ein wesentlicher Grund für die Umorganisation war, dass es durch das Wachstum der Automatisierungstechnik zunehmend Schnittstellen und Kompetenzstreitigkeiten zwischen Siemens & Halske und den Siemens-Schuckertwerken gab.⁸³⁷

Die ersten Entwicklungsarbeiten zu numerischen Streckensteuerungen für Werkzeugmaschinen begannen 1957 im ZW-Labor für Fertigungstechnik⁸³⁸ in Erlangen unter der Leitung von Werner Feist.⁸³⁹ Ausgelöst wurden sie durch Berichte über numerische Steuerungen in den USA und die daraus resultierende Fragestellung, ob mit NC-Maschinen die Fertigung in den Siemens-Werken rationalisiert werden könnte. Zusätzlich gab es Kontakte zu Dr. Volk vom Vertrieb mit der Frage, ob numerische Steuerungen an Werkzeugmaschinenhersteller verkauft werden könnten. Am 6.1.1958 wurde dem für die Werke zuständigen Vorstand Knott als erstes Entwicklungsergebnis eine

⁸³³ Vgl. Feldenkirchen/Bartels (1997), S. 12–13.

⁸³⁴ Vgl. Feldenkirchen/Bartels (1997), S. 31.

⁸³⁵ Die Siemens-Reiniger-Werke wurden erst 1932 gegründet und waren in der Medizintechnik tätig. Vgl. Feldenkirchen/Bartels (1997), S. 56.

⁸³⁶ Vgl. Feldenkirchen/Bartels (1997), S. 74.

⁸³⁷ Kremper erinnerte sich, dass es Anfang der 1960er Jahre bei Siemens interne Konflikte über die Zuständigkeit für die numerischen Steuerungen gab, weil Vertrieb und Fertigung bei den Siemens-Schuckertwerken waren, die Steuerungen aber zum größten Teil aus Bauteilen von Siemens & Halske bestanden. Vgl. Kremper (11.06.2012 und 18.03.2016), S. 9.

⁸³⁸ Das ZW-Labor für Fertigungstechnik wurde 1956/57 eingerichtet. Vgl. Eidenmüller (2002), S. 110. ZW steht für den Zentralbereich Werke der Siemens-Schuckertwerke, der u. a. übergeordnete Entwicklungen durchführte, die noch keinem Werk zugeordnet waren.

⁸³⁹ Auch bei Siemens lassen sich wegen fehlender Unterlagen im Siemens Archiv die ersten Entwicklungsaktivitäten zu numerischen Steuerungen nicht eindeutig datieren. Das erste offizielle Dokument ist eine Veröffentlichung von Feist in der Siemens Zeitschrift (Feist (1961)). Langjährige Mitarbeiter aus dem Vertrieb der Sinumerik-Steuerungen stellten 1982 eine tabellarische Übersicht über die Geschichte der Sinumerik von 1957 bis 1981 zusammen, die dann noch bis 1988 handschriftlich ergänzt wurde. Privatarchiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982). Viele der folgenden Aussagen beziehen sich auf diese Zusammenstellung.

einachsige relaisbasierte Streckensteuerung mit einem analogen Messkreis und einem fünfspurigen Lochstreifenleser vorgestellt; Feist wurde die Weiterentwicklung erlaubt.⁸⁴⁰ Intensiv diskutiert wurde, ob digitale oder analoge Messkreise für die Erfassung der Achspositionen verwendet werden sollten. Wegen der höheren Betriebssicherheit fiel die Wahl auf den analogen Messkreis mit Inductosyn oder Drehmelder.⁸⁴¹

1959 wurde mit vergleichbarer Technologie eine zweiachsige Steuerung entwickelt; eine einachsige Ausführung wurde auf der 6. Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung (EWA) in Paris auf dem Stand der Zahnradfabrik Friedrichshafen⁸⁴² (ZF) gezeigt, da die Elektroindustrie damals auf der EWA noch nicht ausstellen durfte.⁸⁴³

Auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover waren drei Maschinen mit einer numerischen Steuerung von Siemens vertreten. Die Werkzeugmaschinenhersteller waren Pittler mit einer Revolverdrehmaschine, Froriep mit einer Karusselldrehmaschine und Collet & Engelhardt mit einer Bohr- und Fräsmaschine. Auch auf dieser Ausstellung hatte Siemens noch keinen eigenen Stand. Gefertigt wurden die ersten Steuerungen – oder besser gesagt Prototypen – im ZW-Labor in Erlangen.⁸⁴⁴

Nach den Messen zogen die Stückzahlen so an, dass das ZW-Labor für die Fertigung zu klein wurde. 1961 wurde deshalb die Fertigung der NC-Steuerungen ins Schuckert-Apparatewerk München (AM) verlegt.⁸⁴⁵ Um die Fertigung zu standardisieren, wurde die Steuerung in Funktionsbaugruppen aufgeteilt; so konnten die Steuerungen schneller an kundenspezifische Anforderungen angepasst und einfacher geprüft werden.⁸⁴⁶ Die Umstellung dauerte etwa bis zur 8. EWA 1963 in Mailand, auf der Siemens erst-

⁸⁴⁰ Die VDI-Z von 1958 veröffentlichte den Aufsatz „Ein Beitrag zur Systematik der Elemente der Steuer- und Regelungstechnik von Werkzeugmaschinen“ von Feist, in dem er auch über numerische Steuerungen schrieb, also indirekt Forschungsergebnisse aus seinem Labor veröffentlichte. Feist gab sich aber nicht als Siemens-Mitarbeiter zu erkennen, sondern nur als VDI-Mitglied. Es war also nur für Insider zu erkennen, dass Siemens schon an der Entwicklung von numerischen Steuerungen für Werkzeugmaschinen arbeitete. Vgl. Feist (1958), S. 1564.

⁸⁴¹ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 4 bis 6.

⁸⁴² Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 7. Zwischen Siemens und ZF gab es eine langjährige Kooperation bei der Ausrüstung von Werkzeugmaschinen. Siemens vertrieb für ZF Kupplungen und Getriebe für Werkzeugmaschinenantriebe.

⁸⁴³ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 7.

⁸⁴⁴ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 8. Die auf S. 8 genannten Werkzeugmaschinenhersteller mit Siemens-Steuerungen stehen teilweise im Widerspruch zu den Erinnerungen ehemaliger Mitarbeiter, die insbesondere die ersten Ausstellungen von Maschinen mit numerischen Steuerungen von Siemens zeitlich und bezüglich der ausgestellten Maschinen anders verorten. Spur nennt in seinem Buch (vgl. Spur (1991), S. 530–531) nochmals andere mit Siemens-Steuerungen ausgerüstete Maschinen für die Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover. Welche Maschinen 1960 mit welcher Steuerung tatsächlich ausgestellt waren, lässt sich leider nicht eindeutig feststellen, da die Messeberichte der Fachzeitschriften Werkstattstechnik, Werkstatt & Betrieb etc. meistens nur die Eigenschaften der Maschine beleuchteten, den Steuerungshersteller aber oft nicht nannten.

⁸⁴⁵ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 9.

⁸⁴⁶ Vgl. Brömer u. a. (25.05.2015), S. 18.

mals auf einem eigenen Stand eine zweiachsige NC-Streckensteuerung in Relais-technik ausstellte; eine Bahnsteuerung war noch nicht im Programm.⁸⁴⁷ Auf der nächsten Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover (September 1964) wurde für die Siemens NC-Steuerungen die Bezeichnung Sinumerik eingeführt und die Hardware war von Relais- auf Transistortechnik mit Simatic N Baugruppen umgestellt worden.⁸⁴⁸

Die ersten Bahnsteuerungen Sinumerik BG und BO zeigte Siemens auf der 9. EWA im September 1965 in Brüssel.⁸⁴⁹ Ihre Besonderheit waren zwei Antriebsschnittstellen. Die Sinumerik BG hatte einen geschlossenen Lageregelkreis für Servoantriebe, die Sinumerik BO einen offenen Lageregelkreis für Schrittmotoren ohne Geber. Die Steuerungen waren mit Baugruppen der Siemens-Systeme Simatic und Transidyn aufgebaut.⁸⁵⁰ Durch einen im Herbst 1965 abgeschlossenen Lizenzvertrag⁸⁵¹ mit Fujitsu⁸⁵² konnte Siemens für die Sinumerik BO auch das kostengünstige elektrohydraulische Antriebssystem von Fanuc⁸⁵³ herstellen und vertreiben; durch die Kombination eines elektrischen Schrittmotors mit Hydraulik ergaben sich gegenüber geregelten elektrischen Vorschubantrieben beträchtliche Kosteneinsparungen. Zusätzlich konnte das teure Messsystem entfallen⁸⁵⁴ (vgl. auch Kapitel 7.4.2).

Im Jahr der 10. EWA, 1967, gab es weitere Meilensteine bei der Sinumerik und in ihrem Umfeld. Am Jahresanfang war Siemens eines der Gründungsmitglieder des EXAPT-Vereins, der die maschinelle Programmierung von numerischen Steuerungen vereinfachen wollte (vgl. Kapitel 7.6); Siegfried Waller von Siemens wurde in den Vorstand gewählt.⁸⁵⁵ Noch vor der EWA wurde ein Vertrag zwischen Siemens und Fujitsu geschlossen, mit dem Siemens die Vertriebsrechte für Fanuc-NC-Steuerungen in Westeuropa bekam. Auf der 10. EWA vom 17. bis zum 26. 9. 1967 in Hannover

⁸⁴⁷ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 11. Genannt werden vier ausgestellte Steuerungen auf den Ständen Pittler, Froriep und Collet & Engelhardt.

⁸⁴⁸ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 1 und 13.

⁸⁴⁹ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 14-15. B stand für Bahnsteuerung, G für geschlossenen Lageregelkreis, O für offenen Lageregelkreis. Zusätzlich wurden die Punkt- und Streckensteuerungen innoviert und als Sinumerik S vorgestellt.

⁸⁵⁰ Vgl. Geyer/Waller (1966), S. 60.

⁸⁵¹ Vgl. Siemens Historical Institute, SAA 22542.2; Fujitsu Limited/Siemens AG (22.02.1972), S. 1.

⁸⁵² Furukawa Electric Co., Ltd. und Siemens hatten 1923 die japanische Fuji Electric Co., Ltd. zur Fertigung von Generatoren und Elektromotoren gegründet. 1935 wurde aus dem Unternehmen der Kommunikationsbereich als Fuji Tsushinki Manufacturing Co., Ltd. (heute Fujitsu Limited) abgespalten. Im Jahr 1952 wurde dann zwischen Fujitsu und Siemens vertraglich erneut eine technische Zusammenarbeit vereinbart. Vgl. Fujitsu Limited (2019). Die Geschäftsverbindung zwischen Siemens und Fujitsu hatte also eine langjährige Tradition.

⁸⁵³ Die numerischen Steuerungen und Antriebslösungen von Fujitsu wurden ab 1959 unter dem Produktnamen Fanuc angeboten. Vgl. Schröder (1995), S. 200. 1972 wurde der Geschäftsbereich unter dem Namen Fujitsu Fanuc Limited selbstständig. Am 1.7. 1982 wurde das Unternehmen in Fanuc Limited umbenannt. Vgl. Fanuc Corporation (2021).

⁸⁵⁴ Eine ausführliche Beschreibung des Systems gibt es von Klinge/Waibel (1966), S. 70–72.

⁸⁵⁵ Vgl. Archiv EXAPT-Verein, Zusammenstellung Vorstände und Beirat EXAPT-Verein 1967 bis 1980; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (1967 bis 1980), S. 18.

konnte deshalb die Steuerung Fanuc 260 zusammen mit den neuen Sinumerik-Systemen der 200er- und 300er-Steuerungsreihe auf dem Siemens-Stand gezeigt werden. Die Sinumerik 200er-Reihe (Abbildung 36) waren Punkt- und Streckensteuerungen, die 300er-Reihe Bahnsteuerungen. Sie wurden wie jetzt alle Sinumerik-Steuerungen ab 1967 in der Werkstatt der Zweigniederlassung Nürnberg gefertigt.⁸⁵⁶



Abbildung 36: Titelbild Prospekt der Sinumerik 230⁸⁵⁷

Zwei Jahre später, auf der EWA 1969, wurde die Drehmaschinensteuerung Sinumerik 520⁸⁵⁸ als erste Ausführung der neu entwickelten Sinumerik 500er-Reihe, vorgestellt.⁸⁵⁹ Der wesentliche Unterschied zur Vorgängerreihe war, dass die Hardware erstmals mit integrierten Schaltkreisen in TTL-Technik⁸⁶⁰ realisiert war.

Viele Neuheiten zeigte Siemens 1970 auf der Internationalen Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover (IHA). Es wurden mehrere Steuerungsvarianten der 500er-Reihe ausgestellt und als besonderes Highlight die DNC-Kopplung von 13 auf den Messeständen der Werkzeugmaschinenhersteller verteilten Werkzeugmaschinen an einen Fertigungsleitreechner, der sich auf einem separaten Stand befand (vgl. Kapitel 7.7.1).

⁸⁵⁶ Vgl. Privataarchiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), S. 17–18. Hierzu ist anzumerken, dass im Historischen Archiv von Siemens nur ein erweiterter Vertrag vom 22.2.1972 zwischen Fujitsu und Siemens gefunden wurde, der Siemens das Vertriebsrecht für Fanuc-NC-Steuerungen in Westeuropa einräumt und nur einen Querverweis auf den Vertrag von 1965 enthält. Siemens Historical Institute, SAA 22542.2; Fujitsu Limited/Siemens AG (22.02.1972). Insofern ist die genannte Vereinbarung von 1967 etwas unklar. Andererseits tauchen in diversen Siemens-Prospekten vor 1972 Fanuc-NC-Steuerungen als von Siemens lieferbar auf. Insofern muss es schon vor 1972 einen Vertrag gegeben haben.

⁸⁵⁷ Bildquelle: Privataarchiv Thomas Wissert, Siemens 3; Siemens AG (1967).

⁸⁵⁸ Eine erste ausführliche Beschreibung der Steuerung findet sich in Hoffmann/Kulka (1969).

⁸⁵⁹ Vgl. Privataarchiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 20.

⁸⁶⁰ Transistor-Transistor-Logik.

Demonstriert wurde auch das damalige „Modethema“ Adaptive Control (AC) durch die Vorführung der Regelung auf konstante Schnittgeschwindigkeit an Drehmaschinen.⁸⁶¹ Abgerundet wurde der Messeauftritt durch ein Beiheft der Siemens-Zeitschrift, in dem die aktuellen Sinumerik-Steuerungen einschließlich Randthemen wie z. B. „Nahtstellenprobleme beim direkten Führen numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen mit einem Prozeßrechner“⁸⁶² vorgestellt und diskutiert wurden.

Der Messeauftritt auf der IHA 1970 machte deutlich, dass für Siemens die NC-Technik wichtig war. Trotz aller Anstrengungen war Siemens aber technologisch noch etwas rückständig, denn im Gegensatz zur AEG zeigte Siemens noch keine CNC-Steuerung mit einem integrierten Prozessrechner für die Interpolation.⁸⁶³

1971 stand die Weiterentwicklung der Sinumerik 500er-Reihe zu einem vollständigen Steuerungsprogramm für Drehen und Fräsen im Fokus, wie die Exponatliste zur 12. EWA in Mailand Anfang Oktober zeigte.⁸⁶⁴

Etwa zur gleichen Zeit wurde auch entschieden, die Fertigung der Sinumerik-Steuerungen zu professionalisieren und den wachsenden Stückzahlen anzupassen, da bis Ende des Geschäftsjahrs 1970/71 schon 966 Steuerungen ausgeliefert worden waren. Es wurde beschlossen, neue Steuerungen nicht mehr in der Werkstatt Fürth zu fertigen, die organisatorisch zur Zweigniederlassung Nürnberg gehörte, sondern im neuen Gerätewerk Erlangen (GWE). Die erste im GWE gefertigte NC-Steuerung war 1972 die Sinumerik 520.⁸⁶⁵ Im gleichen Jahr wurde der zwischen Siemens und Fujitsu bestehende Lizenz- und Vertriebsvertrag über Fanuc-Produkte auf die ausgegliederte Fujitsu Fanuc Limited übertragen.⁸⁶⁶

Auf der internationalen Werkzeugmaschinenausstellung vom 18. bis zum 27.9.1973 zeigte Siemens viele Neuheiten, die wieder in einem Beiheft der Siemens-Zeitschrift ausführlich beschrieben wurden.⁸⁶⁷ Wichtig waren die Sinumerik 520K und die Sinumerik 580. Die Sinumerik 520K war eine deutlich verbesserte Drehmaschinensteuerung mit der Besonderheit, dass die Schnittstelle zur Anpasssteuerung schon die neue VDI-Richtlinie 3422 erfüllte.⁸⁶⁸ Kremper, einer der Entwickler der Steuerung, war der Meinung, dass wegen der schnellen Umsetzung der VDI-Richtlinie 3422 in der Sinumerik 520K mehrere Drehmaschinenhersteller von General-Electric-Steuerungen zur

⁸⁶¹ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 22-23. Um eine konstante Schnittgeschwindigkeit am Werkstück zu erzielen, die für eine gute Oberfläche und einen geringen Werkzeugverschleiß wichtig ist, muss beim Drehen mit abnehmendem Durchmesser des Werkstücks die Spindeldrehzahl erhöht werden.

⁸⁶² Studer/Waibel (1970).

⁸⁶³ Vgl. Stute/Victor (1970), S. 689.

⁸⁶⁴ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 24.

⁸⁶⁵ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 24–25.

⁸⁶⁶ Siemens Historical Institute, SAA 22542.2; Fujitsu Limited/Siemens AG (01.07.1972).

⁸⁶⁷ Siemens AG (1973).

⁸⁶⁸ Vgl. Hoffmann/Richter (1973), S. 8.

Sinumerik wechselten.⁸⁶⁹ Dies sprach sich in der Branche herum und stärkte die Marktposition von Siemens.

Das zweite Highlight war die Sinumerik 580, die erste CNC-Steuerung von Siemens, fünf Jahre nach der AEG-Numeric 331 (vgl. Kapitel 4.11.1). Als Rechenkern war in der Sinumerik 580 der mit einer speziellen Software ausgerüstete Siemens-Prozessrechner 320 eingebaut. Gehrels und Waibel sahen den Einsatz von CNC-Steuerungen bei Anwendungen, die ergänzend zur NC-Funktionalität zusätzliche Rechenleistung benötigten, oder für Anwendungen, für die die Entwicklung einer speziellen Hardware zu aufwendig war. Dazu zählten sie die Bearbeitungstechnologien Brennschneiden und Schleifen sowie Anforderungen beim Betrieb mit einem Fertigungsleitrechner, aber auch die teilweise Integration der besonders bei Bearbeitungszentren umfangreichen Anpasssteuerung in die NC-Steuerung.⁸⁷⁰

Der nächste Schritt in Richtung CNC-Technik erfolgte zwei Jahre später zur 1. EMO 1975 in Paris mit der Sinumerik 550C, die durch Verwendung des kostengünstigeren Siemens Prozessrechners 310 im mittleren Preissegment positioniert werden konnte.⁸⁷¹ Außerdem stellte Siemens permanentmagneterregte Vorschubantriebe der IHU-Reihe vor. Diese ermöglichten deutlich kostengünstigere Antriebe für NC-Maschinen und führten damit zu Absatzsteigerungen (vgl. Kapitel 7.4.2). Bis zum 30.9.1975 hatte Siemens insgesamt 1979 NC-Steuerungen ausgeliefert, was eine Verdopplung gegenüber 1971 bedeutete.⁸⁷²

Auf der 1. EMO in Paris wurde auch bekannt gegeben, dass Siemens und Fanuc zukünftig bei der Steuerungsentwicklung zusammenarbeiten.⁸⁷³ Grundlage war ein am 11.7.1975 zwischen Siemens und Fanuc abgeschlossener neuer Vertrag, der den Vertrag von 1972 ersetzte. Darin wurden eine enge Zusammenarbeit bei der Entwicklung neuer NC-Steuerungen und ein technischer Austausch bei allen zukünftigen Steuerungsentwicklungen vereinbart. Der Vertrag galt aber nicht für die Antriebstechnik, sodass Siemens den Vertrieb der elektrohydraulischen Schrittmotoren von Fanuc einstellen musste. Auch die Vertriebsgebiete für numerische Steuerungen wurden neu abgestimmt. Fanuc erhielt die Vertriebsrechte für Sinumerik in Asien, Siemens die Vertriebsrechte für Fanuc in Europa.⁸⁷⁴ Für den Vertrieb von Steuerungen und Antrieben in den USA wurde die gemeinsame Firma General Numeric bei Chicago gegründet.⁸⁷⁵

⁸⁶⁹ Vgl. Brömer u. a. (25.05.2015), S. 8.

⁸⁷⁰ Vgl. Gehrels/Waibel (1973), S. 63–64. Im Nachhinein betrachtet hatten die beiden Autoren mit ihrer Einschätzung recht. Sie konnten aber nicht wissen, dass sich durch die Mikroprozessoren diese Technologie wesentlich schneller als erwartet durchsetzte.

⁸⁷¹ Vgl. Basilowski/Hoffmann (1975), S. 346.

⁸⁷² Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 24 und 28.

⁸⁷³ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 28.

⁸⁷⁴ Vgl. Siemens Historical Institute, SAA 22542.2; Siemens AG/Fujitsu Fanuc Limited (11.06.1975).

⁸⁷⁵ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 30.

Das erste Ergebnis des neuen Vertrags war die gemeinsame Entwicklung einer mikroprozessorbasierten CNC-Steuerung, die schon ein Jahr später (1976) als Sinumerik System 7 von Siemens vorgestellt wurde.⁸⁷⁶ Auf der EMO in Hannover im September 1977 folgte die „Sprint“-Variante mit Konturkurzprogrammierung für Drehmaschinen und einem kleinen Plasma-Bildschirm.⁸⁷⁷

Zwei Jahre später, 1979 auf der EMO in Mailand, wurden wieder zwei neue Steuerungen vorgestellt: die kompakte Streckensteuerung Sinumerik Primo S und das Sinumerik System 8. Letzteres war eine der ersten NC-Steuerungen mit einer integrierten, busgekoppelten Simatic PLC-Steuerung (vgl. Kapitel 7.4.1) als Anpassteuerung zur Maschine.⁸⁷⁸ Dadurch wurde die Kommunikation zwischen Steuerung und Maschine (Anpassteil) deutlich beschleunigt, was zu produktiveren Maschinen führte. Die Buskopplung ermöglichte es auch, zwischen der Anpassteuerung und der NC-Steuerung im Vergleich zur Standardschnittstelle nach VDI 3422 zusätzliche Daten auszutauschen. Die Werkzeugmaschinenhersteller konnten dadurch neue Maschinen- und Bedienungskonzepte realisieren, da die Anpassteuerung auch Zugriff auf das Display der NC-Steuerung hatte; sie konnten sich dadurch von ihren Mitbewerbern mit selbst entwickelten Applikationen und einer modifizierten Bedienoberfläche differenzieren.⁸⁷⁹ Es dauerte allerdings ein paar Jahre, das Gesamtpotenzial dieser Steuerungsarchitektur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Siemens und den Werkzeugmaschinenherstellern zu erschließen. Im Endergebnis führte die Integration der Simatic als Anpassteuerung in die Sinumerik und die damit erweiterte Funktionalität zu einer Festigung des Marktanteils von Siemens bei den größeren Maschinen.

Obwohl am Ende des Untersuchungszeitraums Siemens mit den Systemen 7 und 8 ein modernes, mikroprozessorbasiertes Steuerungsprogramm für größere Dreh- und Fräsmaschinen bzw. Bearbeitungszentren hatte, waren darunter keine NC-Steuerungen für den großen Markt der kompakten Fräsmaschinen, wie sie z. B. von Deckel und Maho benötigt wurden. Die westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller kauften die Steue-

⁸⁷⁶ Vgl. o. V. (2010b), S. 3.

⁸⁷⁷ Vgl. o. V. (1977a). Mit der Konturkurzprogrammierung konnten mit zusätzlichen Befehlen übliche Werkstückzeichnungen einfacher programmiert werden. Die Steuerung berechnete die notwendigen Zwischenpunkte für die korrekte Abarbeitung des Programms. Die Konturkurzprogrammierung war eine der ersten Ausprägungen der Werkstattprogrammierung.

⁸⁷⁸ Vgl. Basilowski u. a. (1979).

⁸⁷⁹ Der Verfasser erinnert sich noch sehr gut an diese Entwicklung, da er teilweise daran beteiligt war. Korrekterweise muss angemerkt werden, dass Siemens anfangs selbst nicht überblickte, welche neuen Möglichkeiten sich durch die „breite“ Schnittstelle zwischen der NC- und der Anpassteuerung in Simatic S5-Technik für die Werkzeugmaschinenhersteller ergaben. Mangels Erfahrung konnten die Entwickler die Leistungsfähigkeit und Möglichkeiten der als Anpassteuerung eingesetzten neuen Simatic S5-150 Steuerung nicht richtig einschätzen. Vor der Markteinführung der Simatic S5 war Siemens ein PLC-Hersteller unter vielen mit einem relativ geringen Marktanteil. Durch das Konzept der Simatic S5 wurde Siemens Weltmarktführer bei den PLC-Steuerungen. Vgl. Pigan/Metter (2008), S. 14.

rungen für diese Maschinen bei Anbietern wie Grundig und Heidenhain, die sich dann in den 1980er Jahren zu einer ernst zu nehmenden Konkurrenz entwickelten.

Die Zusammenarbeit mit Fanuc und den Vertrieb der Fanuc-Steuerungen musste Siemens in den 1980er Jahren aufgeben. Im Sommer 1982 teilte Siemens mit, dass die EG-Kommission um „Auskunft über die mit Fanuc bestehenden Verträge über den Vertrieb von numerischen (NC-) Steuerungen für Werkzeugmaschinen gebeten hat“⁸⁸⁰. Das EG-Verfahren führte Anfang 1986 zu einem Bußgeld für Siemens und Fanuc wegen Marktabstimmung von der Konkurrenz⁸⁸¹ und 1987 zur Beendigung der langjährigen Zusammenarbeit.⁸⁸² Siemens und Fanuc sind seit dem Ende der Zusammenarbeit scharfe Wettbewerber auf dem Weltmarkt.

Wie die AEG arbeitete Siemens im produktionstechnischen Innovationssystem mit. Das zeigte sich an der Mitgliedschaft im EXAPT-Verein, der Mitarbeit in Ausschüssen der ADB und an Forschungs- und Entwicklungsaufträgen, die vor allem ab Ende der 1970er Jahre an die Hochschulinstitute in Berlin und Stuttgart vergeben wurden.⁸⁸³

Nach dem Untersuchungszeitraum entwickelte Siemens seine Steuerungen kontinuierlich weiter (vgl. Kapitel 12). Darunter waren aber keine neuen Basisfunktionen mehr. Die Fortschritte der Mikroelektronik bewirkten eine kontinuierliche Verbilligung der Steuerungshardware bei gleichzeitiger Leistungs- und Geschwindigkeitssteigerung. Die höhere Wirtschaftlichkeit der mit den weiterentwickelten CNC-Steuerungen ausgerüsteten Maschinen überzeugte Maschinenhersteller und Endanwender. Nach dem Untersuchungszeitraum stiegen deshalb die Stückzahlen der verkauften NC-Steuerungen bei allen Anbietern stark an. Dabei kam es immer wieder zu Marktanteilsverschiebungen, je nachdem, welcher Hersteller aus Kundensicht seine Steuerungen mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis anbot.

4.11.8 Eigenbau von NC-Steuerungen durch Werkzeugmaschinenhersteller

Als sich abzeichnete, dass die NC-Technik eine Basistechnologie für Werkzeugmaschinen werden würde, entschieden sich einige Werkzeugmaschinenhersteller und sogar Endanwender⁸⁸⁴ dafür, NC-Steuerungen selbst zu entwickeln oder entwickeln zu lassen und vereinzelt sogar selbst zu fertigen. Ihre Gründe kommunizierten die Firmen

⁸⁸⁰ Siemens Historical Institute, SAA 22542.1; Siemens AG (06.08.1982).

⁸⁸¹ Anfang 1986 wurden Siemens und Fanuc von der EG-Kommission zu einer Geldstrafe von 2,2 Mio. DM verurteilt, weil sie den Markt von der Konkurrenz abgeschottet hatten. Vgl. o. V. (1986b).

⁸⁸² Im Juni 1987 lösten Siemens und Fanuc den 1975 geschlossenen Vertrag auf. Vgl. o. V. (1987a).

⁸⁸³ Der Autor erinnert sich, dass das IPA in Berlin (Prof. Spur) für Siemens z. B. eine NC-Schleif-Software entwickelte, das ISW in Stuttgart (Prof. Stute) den Entwurf der Zyklensprache CL 800 für das System Sinumerik 800.

⁸⁸⁴ Z. B. Heidelberger Druck (vgl. Kapitel 6.1).

nicht offen, doch dürften die folgenden Überlegungen mit unterschiedlichen Gewichtungen eine Rolle gespielt haben:

- **Kosten:** Wegen der hohen Preise käuflicher NC-Steuerungen hofften die Werkzeugmaschinenhersteller, für ihre Maschinen optimierte NC-Steuerungen kostengünstiger herstellen zu können.
- **Know-how-Schutz:** Die Werkzeugmaschinenhersteller wollten den Abfluss ihres technologischen Know-hows über die Steuerungshersteller zu ihren Mitbewerbern vermeiden, um sich deutlicher von diesen differenzieren zu können.
- **Nischentechnologie:** Die Anpassung der Standardsteuerungen an Nischentechnologien mit kleinen Stückzahlen wie z. B. Honen oder Schleifen von Werkzeugen war für die Steuerungshersteller unwirtschaftlich. In diesen Fällen blieb nur der Eigenbau, wenn NC-Steuerungen benötigt wurden.
- **Schnelligkeit:** Neue Kundenanforderungen konnten wegen der kürzeren Entscheidungswege in Eigenbausteuerungen schneller integriert werden.

Die Liste ist sicher nicht ganz vollständig. Die genannten Punkte waren aber die Kernargumente, die Eigenbauer immer wieder nannten.⁸⁸⁵

Der Eigenbauanteil war bei den Maschinenherstellern unterschiedlich. Eine Variante war der komplette Eigenbau der Steuerung, d. h. die Hardware und später auch die Software wurden vom Werkzeugmaschinenhersteller in Eigenregie entwickelt und manchmal auch gefertigt. Die andere war, dass Zulieferer und Werkzeugmaschinenhersteller die Steuerung gemeinsam entwickelten, die Fertigung aber ein Zulieferer übernahm.

Ein Drehmaschinenhersteller mit einem hohen Eigenbauanteil war die Firma Max Müller Brinker Maschinenfabrik in Hannover (abgekürzt Max Müller),⁸⁸⁶ ein Beispiel für einen Fräsmaschinenhersteller war die Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH in Nürtingen, im Folgenden Heller genannt; auf die NC-Entwicklungen dieser beiden Werkzeugmaschinenhersteller wird später ausführlich eingegangen.

⁸⁸⁵ Bis zum Ende des Untersuchungszeitraums trafen die Argumente ohne Einschränkungen zu. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Mikroprozessoren bekamen die NC-Steuerungen der großen Anbieter immer leistungsfähigere Anwenderschnittstellen. Mit diesen konnten die Werkzeugmaschinenhersteller ihr Know-how und ihre Bedienphilosophie auch in Maschinen mit Standardsteuerungen integrieren. Der Marktanteil der Eigenbausteuerungen ging deshalb kontinuierlich zurück, sie sind aber bis heute nicht vom Markt verschwunden. Ein Beispiel sind die NC-Maschinen zum Schärfen von Sägeblättern der Vollmer Werke in Biberbach. Vgl. Vollmer Werke Maschinenfabrik GmbH (2020).

⁸⁸⁶ Die ersten eigenen Steuerungen baute Max Müller schon 1950 als Regeleinrichtung für Gleichstrommotoren für konstante Schnittgeschwindigkeit beim Plandreihen. Vgl. Linn (2005), S. 139.

Die häufigste Ausprägung war jedoch die Zusammenarbeit mit einem externen Anbieter, der NC-Steuerungen exklusiv für einen Werkzeugmaschinenhersteller (oder Endanwender) entwickelte und meistens vertraglich verpflichtet wurde, das gewonnene Know-how auf keinen Fall einem Mitbewerber anzubieten.⁸⁸⁷

Ein Beispiel für die zweite Ausprägung war die Friedrich Deckel AG, im Folgenden Deckel genannt. Deckel ließ sich zuerst von Weinlich (vgl. Kapitel 4.11.9) und dann von Grundig (vgl. Kapitel 4.11.3) eine Streckensteuerung für seine Fräsmaschinen entwickeln. Noch vor der Vergabe an Grundig hatte Deckel auch noch einen Entwicklungsauftrag an das Stuttgarter Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) für eine Bahnsteuerung seiner Fräsmaschinen vergeben.⁸⁸⁸ Zeitweise hatte Deckel in den 1970er Jahren so drei Eigenbausteuerungen im Programm.

In weiteren Entwicklungsschritten wurde die Grundig-Steuerung zur Bahnsteuerung weiterentwickelt und ersetzte nach und nach die ISW-Steuerung. Nach weiteren Funktionserweiterungen wurden dann immer häufiger die von Bosch oder Siemens gelieferten Steuerungen für die technologisch anspruchsvolleren Bearbeitungszentren durch die Grundig-Steuerung abgelöst.⁸⁸⁹ Die Grundig-Steuerungen für Deckel wurden an keinen anderen Werkzeugmaschinenhersteller verkauft.

Als Beispiel für Eigenbausteuerungen bei Drehmaschinen wurde der Drehmaschinenhersteller Max Müller in Hannover genannt, der schon 1957 die über einen Kreuzschienenverteiler programmierbare Steuerung Eltropilot entwickelt hatte. Sie wurde bis 1967 gebaut.⁸⁹⁰

Nach der Übernahme von Max Müller durch Gildemeister (1971)⁸⁹¹ konnte der Entwicklungsleiter Junike Gildemeister von den Vorteilen einer eigenen NC-Steuerung

⁸⁸⁷ Bis kurz vor Ende des Untersuchungszeitraums handelte es sich meistens um Hardwaresteuerungen, d. h. die gesamte Intelligenz der Steuerung war in der Hardware. Mit dem Aufkommen der CNC-Steuerungen gegen Ende des Untersuchungszeitraums wanderte das Know-how dann weitgehend in die Software. Oft entwickelte sich daraus eine Arbeitsteilung zwischen dem Maschinenhersteller und dem Steuerungshersteller. Der Steuerungshersteller entwickelte und lieferte die Hardware und die hardwarenahe Software, der Werkzeugmaschinenhersteller die technologiespezifische Software und die Bedienoberfläche. Die Arbeitsteilung zwischen Hardware- und Softwarelieferant (Werkzeugmaschinenhersteller) war fließend.

⁸⁸⁸ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 23 zur ISW-Steuerung für Deckel. Die Steuerungen von Grundig, Weinlich und dem ISW wurden in der von Deckel bestellten Ausführung nur an Deckel geliefert. Das ISW und Weinlich hatten damals noch keine anderen Kunden für ihre NC-Steuerungen.

⁸⁸⁹ Der Hauptgrund für die „Eigenentwicklungen“ von Deckel waren die viel zu hohen Kosten der am Markt angebotenen Steuerungen. Diese waren für deutlich größere Maschinen ausgelegt und hatten keine Programmierunterstützung für die speziellen Anforderungen bei kompakten Fräsmaschinen. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 23.

⁸⁹⁰ Vgl. Klingebiel (2007), S. 89.

⁸⁹¹ Vgl. Mlynec u. a. (2009), S. 84.

überzeugen.⁸⁹² Zusammen mit seinem Team entwickelte er zeitnah eine CNC-Steuerung, die auf dem Prozessrechner Interdata 16/2 basierte und für die Interpolation durch eine eigene Hardware ergänzt wurde. Die Eltropilot C genannte Steuerung wurde 1975 auf der EMO in Paris vorgestellt. Schon kurz nach der Vorstellung dieser Steuerung waren die Entwickler aber überzeugt, dass die vom ISW in Stuttgart konzipierte MPST-Steuerung (vgl. Kapitel 4.9.4) eine bessere Steuerungsbasis war. Schon drei Jahre später wurde 1978 die Steuerung Eltropilot M vorgestellt, die auf dem MPST-Steuerungskonzept basierte und die Werkstattprogrammierung unterstützte.

Um die Steuerungsentwicklung auf eine breitere Basis zu stellen und die Steuerungen im gesamten Gildemeister-Konzern einsetzen zu können, wurde 1982 die Steuerungsentwicklung in die Gildemeister Automation ausgegliedert. Eines der ersten neuen Produkte war die aus der Eltropilot M (EPM) abgeleitete Low-Cost-Steuerung Eltropilot L (EPL). Diese wurden dann in den 1980er Jahren zur EPM 2 bzw. EPL 2-Steuerung mit deutlich leistungsfähigerer Hardware weiterentwickelt.

1993 übernahm Grundig 51 % der Gildemeister Automation (neuer Name Grundig-Gildemeister Automation), 1995 die restlichen 49 %. Grundig ließ die Firma in der Grundig Numeric aufgehen. Schon ein Jahr später (1996) wurde die Grundig Numeric an Heidenhain weiterverkauft. Bis heute unterhält Heidenhain in Hannover eine Entwicklungsaußenstelle, die Hardwarefertigung in Hannover wurde aber schon bald nach der Übernahme eingestellt.⁸⁹³

Zusammengefasst war bei Gildemeister/Max Müller die Motivation für die Eigenentwicklung ähnlich gelagert wie bei Deckel. Nach Linn ging es vor allem darum, eine für die Gildemeister-Maschinen optimierte Bedienoberfläche für die Drehmaschinen anzubieten, die die Programmierung in der Werkstatt vereinfachte.

Eine weitere Drehmaschinensteuerung, die Heinemann-Memory Mikroprozessorsteuerung,⁸⁹⁴ entwickelte die Gebr. Heinemann AG (Heinemann) in St. Georgen im Schwarzwald. Sie wurde erstmals auf der EMO 1977 in Hannover an der Drehmaschine RA63 M⁸⁹⁵ gezeigt.⁸⁹⁶ Da Heinemann 1980 Insolvenz anmelden musste, wurde die Steuerung nicht mehr fertig entwickelt und nur mit einer Maschine ausgeliefert.

⁸⁹² Vgl. Linn (2005), S. 143. Die Argumente, mit denen Junike zwanzig Gutachter, die ursprünglich eine andere Meinung hatten, überzeugen konnte, nennt Linn nicht. Er berichtet nur, dass Junike 14 Tage nach der Besprechung die Entwicklungsfreigabe bekam.

⁸⁹³ Der geschilderte Entwicklungsablauf der Gildemeister-Steuerung orientiert sich an Linn (Kapitel 7.4 bis 7.10). Vgl. Linn (2005), S. 143–158.

⁸⁹⁴ Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Drehmaschinen HE-HY; Gebr. Heinemann AG (09/1977b). Laut Prospekt hat die Steuerung ihre Hauptstärke in der praxisnahen Programmierung von Drehmaschinen.

⁸⁹⁵ Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner NC-Drehmaschinen HE-HY; Gebr. Heinemann AG (09/1977a).

⁸⁹⁶ Vgl. Eberhard (09.11.2017), S. 3–5. Eberhard war zur Zeit der EMO 1977 in Hannover im Service tätig und für die Inbetriebnahme der Messemaschine zuständig. Nach der Insolvenz übernahm er in der Nachfolgesellschaft Aufgaben im Vertrieb.

Die hohen Entwicklungskosten für die Steuerung waren ein Grund für die Insolvenz. Die NC-Steuerung wurde entwickelt, weil Heinemann die konventionelle Revolverdrehbank RA 63 unbedingt mit einer NC-Steuerung anbieten wollte.⁸⁹⁷ Dafür wurde eine zweikanalige Drehmaschinensteuerung mit drei Achsen benötigt, die kein Steuerungshersteller anbot. Siemens und Bosch lehnten wegen der kleinen Stückzahlen die Entwicklung einer „Sondersteuerung“ ab; beide Hersteller sahen keine weiteren Kunden für eine solche Steuerungsvariante. Da Heinemann Bedarf und Entwicklungskosten anders als die Steuerungshersteller einschätzte, entwickelte Heinemann eine eigene Steuerung, um sich mit seiner NC-Revolverdrehbank von den Mitbewerbern zu differenzieren, scheiterte jedoch letztlich an der Entwicklung und Umsetzung.⁸⁹⁸

Auch die Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH (Heller) in Nürtingen war ein langjähriger Eigenbauer von (NC-)Steuerungen.

Heller zeigte schon 1959 auf der 6. EWA mit der SBR 32 die erste westdeutsche numerisch gesteuerte Bohrmaschine. Sie war mit einer selbst entwickelten numerischen Streckensteuerung⁸⁹⁹ ausgerüstet. Warum Heller diese Maschine mit einer eigenen NC-Steuerung ausrüstete, konnte nicht zweifelsfrei nachvollzogen werden, da hierzu keine Quellen zur Verfügung standen. Naheliegender ist aber, dass Heller damals die Steuerungsentwicklung als logische Weiterentwicklung seiner elektrohydraulischen Steuerung betrachtete (vgl. hierzu auch Kapitel 5.3), zumal es 1959 noch keinen deutschen NC-Hersteller gab. Dies war auch die Meinung von Opferkuch.⁹⁰⁰

Heller bot die Steuerung einige Jahre für seine Maschinen an und verkaufte sie vereinzelt auch an andere Hersteller. Dokumentiert ist der Verkauf einer Steuerung 1963 an die Gebr. Boehringer in Göppingen für die Ausrüstung einer Drehmaschine⁹⁰¹ und einer Lochband-Programmierreinrichtung (eine Zubehörkomponente) 1961 an die Firma Schwartzkopff⁹⁰² in Berlin. Allerdings kamen beide Anwendungen über das Prototyp-Stadium nicht hinaus, sodass sich Heller auf die Anwendung bei eigenen Maschinen konzentrierte. Die eigene Steuerung war aber nicht für alle Maschinen geeignet. Komplexere NC-Maschinen wie z. B. Hellers Bearbeitungszentrum BRH 65/6,⁹⁰³ und Ma-

⁸⁹⁷ Die Maschine hatte einen Werkzeugträger, der vollkommen in den Schlitten integriert war und sich an den konventionellen Revolverdrehbänken orientierte. Vgl. Eberhard (09.11.2017), S. 4–5.

⁸⁹⁸ Vgl. Eberhard (09.11.2017), S. 4–5 und dem zugehörigen E-Mail-Schriftwechsel S. 8–10.

⁸⁹⁹ Vgl. Simon (1959), S. 798.

⁹⁰⁰ Vgl. Opferkuch (23.09.2012), S. 10. Opferkuch kam 1960 zu Heller, nachdem er fünf Jahre bei Kearney & Trecker in den USA gearbeitet hatte, dem ersten Hersteller von Bearbeitungszentren. Vgl. Opferkuch (23.09.2012), S. 4–5.

⁹⁰¹ Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 5.

⁹⁰² Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Ordner: NC 001 KBF 2 ELS-Komm 0670; Gebr. Heller Maschinenfabrik (9.8.61).

⁹⁰³ Von der BRH 65 gab es mehrere Varianten. Die BRH 65 I W wurde mit der Heller-Steuerung verkauft. Vgl. Schulz/Eibeck (1964), S. 895. Das Bearbeitungszentrum BRH 65/6 wurde mit einer Siemens-Steuerung ausgerüstet. Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: 100 Jahre Heller; Gunsser (03.07.1984), S. 19.

schinen, die eine Bahnsteuerung benötigten, wurden nicht mit der Heller-Steuerung, sondern z. B. mit einer Siemens-Steuerung ausgerüstet. Das führte Anfang 1963 bei der Entwicklung der BRH 65/6 auch zu einem Vergleich der beiden Steuerungskonzepte, der für die Siemens-Steuerung vorteilhaft war.⁹⁰⁴ Spätestens ab 1967 wurde auch die SBR 32 mit anderen Steuerungen, wie z. B. der Sinumerik 261, angeboten,⁹⁰⁵ da die eigene Steuerung immer weniger wettbewerbsfähig war bzw. nicht mehr ausreichend weiterentwickelt wurde.⁹⁰⁶

Heller hatte aber immer noch den Wunsch nach einer eigenen NC-Steuerung. Die Mikroprozessortechnik erleichterte Heller den Neubeginn. Ein erster Schritt erfolgte 1973 mit der Steuerung Quick-Pro. Es handelte sich um eine mit integrierten Schaltkreisen aufgebaute NC-Schrittsteuerung, bei der die einzelnen Programmschritte oder Sätze nicht über Lochstreifen, sondern über codierte Stecker auf einem Steckerfeld programmiert wurden. Mit einer Kunststoffmatrize konnte das erstellte Programm „abgezogen“ und archiviert werden. Die Steuerung wurde einige Jahre lang für Bettfräsmaschinen angeboten.⁹⁰⁷

Der große Schritt zu einer „Heller CNC-Steuerung“ erfolgte mit der Vorstellung der uni-Pro 80 (Abbildung 37) auf der EMO im Oktober 1979 in Mailand. Diese Steuerung war eine Mehrprozessor-Mikroprozessor-Streckensteuerung für drei Achsen mit einem Bildschirm. Sie war speziell auf Fräsmaschinen abgestimmt. In der Werbung wurde besonders hervorgehoben, dass die Steuerung durch Bedienerführung, Bildschirm und Teach-In für das Programmieren an der Maschine geeignet sei: An der Maschine von Hand ausgeführte Bewegungen konnten direkt in das NC-Programm übernommen werden.⁹⁰⁸ Funktional bestand eine gewisse Ähnlichkeit mit der 1978 von Grundig für Deckel entwickelten Steuerung, zumal sie auch einen Bildschirm hatte (vgl. Kapitel 4.11.3). Wie die Grundig-Steuerung wurde sie konsequent weiterentwi-

⁹⁰⁴ Nach Opferkuch war die BRH65/6 mit einer Siemens-Steuerung ausgerüstet, die sehr zuverlässig arbeitete. Vgl. Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Ordner: Eigene Beschreibung über Schwachstromsteuerungen und numerische Steuerungen; Prospekt; Opferkuch (11.01.1963).

⁹⁰⁵ Im Heller-Archiv war ein Werbeblatt der SBR 32 mit einer Sinumerik 261, die 1967 auf den Markt kam. Ob es früher schon SBR 32 mit anderen Steuerungen gegeben hat, ist daraus nicht ersichtlich. Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner Steuerungen 1963 bis 1999; Siemens AG (vermutlich 1967a).

⁹⁰⁶ Vermutlich kam es wegen der Steuerungs politik (zu wenig Geld oder Unterstützung für Weiterentwicklungen?) zu Differenzen bei Heller. Der Leiter der Steuerungsentwicklung Dautel verließ Anfang 1968 Heller und übernahm am 1. März 1968 die Geschäftsführung der Firma Remesta. Vgl. Amtsgericht Göppingen (01.03.1968). Dautel hatte die Remesta GmbH schon am 14.6.1965 mit Ernst Weichel gegründet. Vgl. Remesta 1; Gera (17.02.2020).

⁹⁰⁷ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1973).

⁹⁰⁸ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1979).

ckelt. Ende 1980 konnte die Steuerung schon drei Achsen gleichzeitig verfahren und es gab Ausbaustufen als Bahnsteuerung mit Geraden- und Kreisinterpolation.⁹⁰⁹

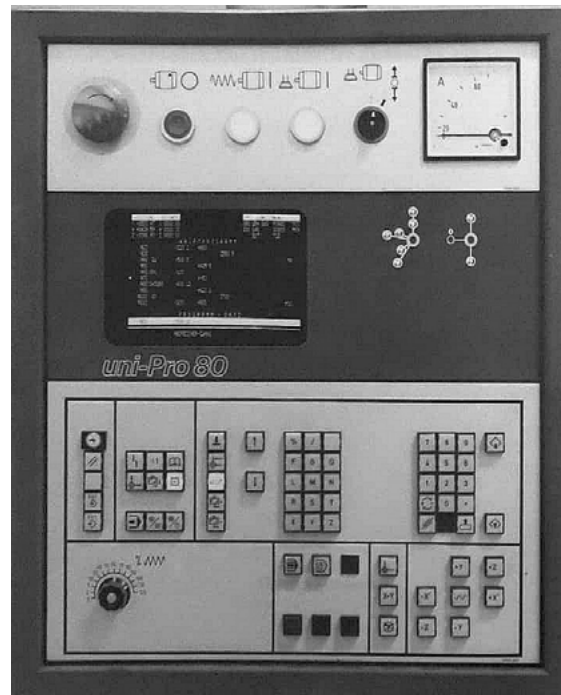


Abbildung 37: Heller uni-Pro 80 NC-Steuerung⁹¹⁰

Heller verstand es, seine Steuerung bei den Endkunden durchzusetzen. Nur in wenigen Ausnahmefällen und bei ausdrücklichem Kundenwunsch baute Heller Standardsteuerungen an seine Maschinen an. Lieber verzichtete Heller auf Aufträge, als andere Steuerungen einzusetzen. Heller konnte sich diese konsequente Haltung leisten, da die uni-Pro-Steuerung kontinuierlich weiterentwickelt wurde und qualitativ und funktional mit den Standardsteuerungen mindestens vergleichbar war. Durch ihre optimale Anpassung an Heller-Maschinen hatte sie für viele Kunden sogar Vorteile.⁹¹¹ Anfang der 1990er Jahre ging Heller sogar noch einen Schritt weiter und ergänzte seine Steuerungen mit eigenen Umrichtern für die Antriebe.⁹¹²

Die Randbedingungen für die uni-Pro-Steuerungen änderten sich etwa ab der zweiten Hälfte der 1990er Jahre. Heller lieferte einen immer größeren Anteil seiner Maschinen an Großabnehmer in der Automobilindustrie, oft auch als Teillieferant für neue Ferti-

⁹⁰⁹ Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1980).

⁹¹⁰ Bildquelle: Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1980), gez. S. 2.

⁹¹¹ Der damalige Entwicklungsleiter der Heller-Steuerungen betonte immer wieder, die zentralen Motive für den Eigenbau seien die flexiblere Reaktion auf Kundenwünsche und neue Anforderungen der Maschinenkonstrukteure gewesen. Eine vergleichbar schnelle Reaktion sei von keinem Steuerungshersteller zu bekommen.

⁹¹² Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (04/92).

gungslinien von Powertrain-Komponenten.⁹¹³ Bei diesen Großprojekten legten sich die Großkunden zur Vereinfachung von Wartung, Service und Ersatzteilhaltung vor dem Projektstart auf einen Hersteller von Antrieben und Steuerungen fest. Anbieter, die die Vorgaben nicht berücksichtigten, erhielten keine Aufträge. Heller entschied deshalb Ende 1999, seine Maschinen mit Standardsteuerungen, vorzugsweise mit der Siemens Sinumerik, anzubieten. Berndt Heller begründete diese Änderung der Firmenphilosophie in einem Interview mit der Zeitschrift MAV:

Wir haben uns auf Druck der verschiedenen Märkte geöffnet. Seit Ende 1999 liefern wir unsere Maschinen standardmäßig mit der Siemens-CNC-Steuerung 840D aus und sind insbesondere in den Übersee-Märkten bereit, auch andere CNC-Steuerungen auf Grund von Liefervorschriften einzusetzen.⁹¹⁴

Erleichtert wurde Heller die Entscheidung dadurch, dass die am Markt verfügbaren NC-Steuerungen den Heller-Entwicklern mittlerweile genug Möglichkeiten boten, ihr Know-how für eine optimale Adaption an die Heller-Maschinen weiter einzusetzen. Zu ergänzen ist noch, dass Heller seine Eigenbausteuerungen einschließlich Bestückung der Leiterplatten selbst fertigte.⁹¹⁵ Damit war Heller einer der wenigen deutschen Werkzeugmaschinenhersteller, die ihre Steuerungen komplett selbst herstellten. Nach der Umstellung auf „Siemens“ lief die Fertigung langsam aus.

Zusammengefasst gab es schon in der Anfangsphase der NC-Steuerungen in Westdeutschland Werkzeugmaschinenhersteller wie Heller, die eigene NC-Steuerungen entwickelten und sogar herstellten. Mit dem Aufkommen der Mikroprozessortechnologie Anfang der 1970er Jahre kamen weitere Werkzeugmaschinenhersteller dazu (wie z. B. die Gebr. Heinemann und etwas später Deckel); die Werkzeugmaschinenhersteller waren überzeugt, dass eigene Steuerungen auf Mikroprozessorbasis für ihre Maschinen kostengünstiger als Standardsteuerungen waren und funktionale Vorteile hatten. Die Steuerungen wurden entweder selbst oder von kleinen und größeren Anbietern von Industrieelektronik entwickelt und gefertigt.⁹¹⁶ Durch die technische Weiterentwicklung und geänderte Marktbedingungen gingen vor allem ab den 1990er Jahren die Marktanteile der Eigenbau-Steuerungen zurück. Die steigenden Stückzahlen der Standardsteuerungen und die sinkenden Preise reduzierten die Kostenvorteile der Eigenbausteuerungen. Außerdem konnte die von den Maschinenherstellern gewünschte Differenzierung über Softwareapplikationen der Standardsteuerungen kostengünstiger

⁹¹³ Unter dem Begriff Powertrain werden in der Automobilindustrie alle Komponenten des Antriebsstranges verstanden, also Getriebe, Motor, Achsen etc.

⁹¹⁴ MAV (2000).

⁹¹⁵ Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1988), S. 15.

⁹¹⁶ Es gab sehr unterschiedliche Varianten der Arbeitsteilung. Häufig wurde nur die Fertigung und Entwicklung der Hardware ausgelagert. Die Softwareentwicklung erfolgte oft nur durch den Werkzeugmaschinenhersteller, manchmal aber auch gemeinsam mit dem Dienstleister.

erzielt werden. Es gibt aber auch heute in Nischen immer noch Werkzeugmaschinenhersteller, die ihre Maschinen mit eigenen Steuerungen ausrüsten, weil für ihre Maschinen keine passenden Standardsteuerungen verfügbar sind.

4.11.9 Kleine NC-Steuerungshersteller am Beispiel der Firma Weinlich

Eigenbau-Steuerungen wurden von kleinen Steuerungsherstellern meistens exklusiv für einen Kunden gefertigt. Für eine nähere Betrachtung wurde die noch heute existierende Weinlich GmbH & Co. KG (Weinlich) in Reilingen ausgewählt, denn sie machte eine interessante Entwicklung durch. Gegründet wurde Weinlich, um NC-Steuerungen für Sondermaschinen des Druckmaschinenherstellers Heidelberger Druck⁹¹⁷ (Heidelberger) zu entwickeln und herzustellen. Ungewöhnlich daran war, dass Heidelberger kein Werkzeugmaschinenhersteller war, sondern ein Endanwender von Werkzeugmaschinen (vgl. auch Kapitel 6.1).

Heidelberger war ein guter Kunde der Maschinenfabrik Fritz-Werner in Berlin und hatte dort Anfang der 1960er Jahre eine NC-Maschine bestellt. Ausgerüstet war diese Maschine mit einer NC-Steuerung von BBC-Mannheim. An der Steuerung gab es immer wieder Störungen – hauptsächlich wegen Relaisproblemen. Wegen der Störungen gab es enge Kontakte zwischen BBC-Mannheim und Heidelberger. Kollegen von Leopold Weinlich, der damals bei BBC-Mannheim arbeitete, erfuhren bei ihren Serviceeinsätzen, dass Heidelberger für die Automatisierung seiner Sondermaschinen spezielle steuerungstechnische Lösungen suchte. Sie gaben ihm den Tipp, sich mit dem technischen Direktor Kuhnert von Heidelberger in Verbindung zu setzen.⁹¹⁸ Dieser suchte eine einfache NC-Steuerung für 20 unterschiedliche Werkstücke, deren Programme einfach ausgewählt werden konnten.⁹¹⁹ Weinlich konnte Kuhnert zeitnah eine Lösung aufzeigen, schloss einen Vertrag mit Heidelberger,⁹²⁰ kündigte 1963 bei BBC-

⁹¹⁷ Zum Gründungszeitpunkt von Weinlich hieß die Heidelberger Druckmaschinen AG noch „Schnellpresse Heidelberg“. Die Namensänderung erfolgte 1967. Vgl. Moormann (2000), S. 69. Zur Vereinfachung werden „Schnellpresse Heidelberg“ und „Heidelberger Druckmaschinen“ mit „Heidelberger“ abgekürzt.

⁹¹⁸ Vgl. Weinlich (16.02.2016), S. 7–8.

⁹¹⁹ In einer Notiz an den Vorstandsvorsitzenden Sternberg schrieb Kuhnert sinngemäß, dass für viele Anwendungen eine NC-Steuerung trotz kurzer Umrüstzeiten zu teuer sei. Nockensteuerungen seien zwar deutlich billiger, hätten jedoch einen höheren Zeitaufwand bei Umrüstungen. Weinlich habe eine einfache NC-Steuerung vorgeschlagen, bei der die Programme durch einen Wahlschalter ausgewählt werden könnten. Die Kosten lägen in der Größenordnung einer Nockensteuerung. Er empfehle deshalb, Herrn Weinlich einen Entwicklungsauftrag zu geben. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.4.1988; Kuhnert (02.02.1963).

⁹²⁰ Der Vertrag zwischen Weinlich und Heidelberger wurde am 13.2.1963 geschlossen. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3.

Mannheim und machte sich selbstständig.⁹²¹ Die erste NC-Steuerung seiner am 1. April 1963 gegründeten Firma lieferte Weinlich im Dezember 1963 aus. Da Heidelberger mit den Steuerungen zufrieden war bekam Weinlich weitere Aufträge. Er musste seine Fertigung erweitern und nahm dafür 1968 eine neue Produktionshalle in Betrieb.⁹²² Details zu den bei Heidelberger mit den Weinlich-Steuerungen ausgerüsteten Maschinen finden sich in Kapitel 6.2.

Eine neue Situation für Weinlich ergab sich, als Kuhnert 1973 Vorstandsvorsitzender beim Fräsmaschinenhersteller Deckel in München wurde. Da Kuhnert mit den Weinlich-Steuerungen gute Erfahrungen gemacht hatte und Deckel noch keine NC-Maschinen im Programm hatte, beauftragte er Weinlich, eine kostengünstige und möglichst einfach zu programmierende Steuerung für die Deckel-Fräsmaschinen zu entwickeln. Die von Weinlich entwickelte „E-Steuerung“ wurde schon 1973 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover vorgestellt und war innovativ, da Weinlich für den Vorschubantrieb einen Transistorsteller verwendete. Bis 1977 wurden über 200 Deckel-Maschinen mit den E-Steuerungen von Weinlich verkauft.⁹²³

Mit Kuhnerts plötzlichem Tod Ende 1975⁹²⁴ änderten sich die Randbedingungen für Weinlich bei Deckel, da der Vorstand neu strukturiert wurde. Auf der 2. EMO 1977 in Hannover wurde zwar noch eine Maschine mit einer weiterentwickelten E-Steuerung mit Geraden- und Kreisinterpolation⁹²⁵ gezeigt, es war jedoch schon entschieden, die Steuerungen zukünftig mit anderen Partnern zu entwickeln. Deckel hatte zu diesem Zeitpunkt schon mit dem ISW in Stuttgart⁹²⁶ (vgl. Kapitel 4.9.4) und mit Grundig (vgl. Kapitel 4.11.3) Verträge für die Entwicklung von „Deckel-Steuerungen“ geschlossen. Die Weinlich E-Steuerung bei Deckel war also mehr oder weniger ein Auslaufmodell.

Weinlich kannte die Entscheidung. Auf der 2. EMO 1977 stellte er deshalb seine Steuerung auch unter eigenem Namen aus, um neue Kunden zu gewinnen. In einem Messebericht wurde die Steuerung als besonders geeignet für Kleinbetriebe beschrieben.⁹²⁷ Dies änderte allerdings nichts daran, dass Weinlich das Auslaufen des Geschäfts mit Deckel hart traf und die Verkäufe einzelner E-Steuerungen an andere Kunden den

⁹²¹ Die Schilderung ist eine Zusammenfassung aus dem Interview mit Herrn Weinlich. Vgl. Weinlich (16.02.2016), S. 6–10.

⁹²² Vgl. Leopold Weinlich (2013), gez. S. 2–10.

⁹²³ Vgl. Leopold Weinlich (2013), gez. S. 13–15 und vgl. Dilling u. a. (1973), S. 945–946. In der Veröffentlichung von 1973 wird nicht erwähnt, dass die Steuerung von Weinlich ist, dies ist aber aus dem Bild auf S. 946 ersichtlich. Die Steuerung konnte nach der Beschreibung an der Maschine programmiert werden.

⁹²⁴ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 24.

⁹²⁵ O. V. (1977b).

⁹²⁶ Nach Geiger hatte noch Kuhnert, eventuell im Umfeld seiner Ehrenpromotion, zum ISW bezüglich einer „Deckel-Steuerung“ Kontakte geknüpft. Er (Geiger) habe dann 1976 in seiner neuen Funktion die Verträge geschlossen. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 25.

⁹²⁷ Vgl. Becker, H., et al. (1977), S. 805–806.

Wegfall von Deckel nicht kompensieren konnten. Weinlich konnte keinen vergleichbaren Kunden gewinnen. So wurden die schon 1975 begonnenen Aktivitäten mit Prüfständen im Automobilbereich neben der Steuerungstechnik immer wichtiger für Weinlich und sicherten das Überleben der Firma bis heute.⁹²⁸

Weinlich ist ein Beispiel dafür, wie ein kleiner, mittelständischer Betrieb durch enge Zusammenarbeit mit einer größeren Firma entstand und es zu einer gewissen Größe brachte. Dies funktionierte, solange eine enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit der handelnden Personen – in diesem Fall Weinlich und Kuhnert – bestand. Weinlich ist aber auch ein Beispiel dafür, dass mit dem Wegfall dieser Geschäftsgrundlage (dem Tod von Kuhnert) sich die geschäftliche Beziehung sehr schnell änderte und Weinlich die schwierige Lage nur durch Geschick und ein rechtzeitig erschlossenes neues Geschäftsfeld überwinden konnte. Die Firma Weinlich gibt es noch heute, wenn auch mit einer sehr viel kleineren Mannschaft und mit einer anderen Ausrichtung.

4.11.10 Zusammenfassung

Die Entwicklung bei den westdeutschen NC-Herstellern kann für den Untersuchungszeitraum grob in fünf technologische Abschnitte eingeteilt werden, die sich teilweise überlappten:

- Im ersten Abschnitt ab Ende der 1950er Jahre entwickelten die großen westdeutschen Elektrokonzerne numerische Steuerungen, die den Charakter von Prototypen hatten. Die NC-Steuerungen wurden an Maschinen erstmals 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover der breiten Öffentlichkeit gezeigt, darunter auch eine Eigenbausteuerung des Werkzeugmaschinenherstellers Heller und eine Steuerung des WZL-Aachen. Technologisch waren es überwiegend Punkt- und Streckensteuerungen, die in Relais-technik aufgebaut waren. Nur die AEG hatte eine Bahnsteuerung in Transistortechnik entwickelt.
- Der zweite Abschnitt begann um 1964. Sein Kennzeichen war, dass die Steuerungen überwiegend aus Flachbaugruppen in Transistortechnik aufgebaut wurden und neue, kleinere Anbieter wie Grundig und Dr. Masing in den Markt eintraten. Es gab aber auch Firmen wie SEL und BBC-Mannheim, die sich aus dem Markt zurückzogen, weil ihnen die Umstellung der Steuerungen auf Transistortechnik zu teuer war. Größeren Anbietern ermöglichte die Umstellung auf die Transistortechnik, ihr Portfolio sukzessive um Bahnsteuerungen zu erweitern.
- Der dritte Abschnitt war dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Transistoren in integrierten Schaltkreisen zusammengefasst wurden. Das senkte Kosten und Platzbedarf und erhöhte durch die einfachere Verdrahtung die Zuverlässigkeit der Steuerungen.

⁹²⁸ Vgl. Leopold Weinlich (2013), gez. S. 20–46.

rungen. NC-Steuerungen mit der Technologie des dritten Abschnitts wurden etwa bis zum Ende des Untersuchungszeitraums angeboten.

- CNC-Bahnsteuerungen, die für die Berechnung der Interpolation einen Prozessrechner hatten, waren das Merkmal des vierten Abschnitts, der sich mit dem dritten überlappte. Den Anfang machte die 1967 vorgestellte AEG Numeric 331, die ihrer Zeit technologisch voraus war. Andere Anbieter wie Siemens zogen erst deutlich später nach. Wegen der hohen Kosten konnte die erste Generation der CNC-Steuerungen die NC-Steuerungen des dritten Abschnitts nicht ablösen.
- Dies geschah erst mit dem fünften Abschnitt, der etwa Mitte der 1970er Jahre kurz nach der Erfindung des Mikroprozessors begann. Die Mikroprozessortechnologie ermöglichte es, CNC-Bahnsteuerungen trotz ihrer höheren Leistungsfähigkeit bald günstiger als NC-Steuerungen anzubieten. Dies sorgte für einen kräftigen Schub der NC-Technik. Der gleichzeitig sinkende Entwicklungsaufwand erleichterte den Markteintritt von neuen Mitbewerbern wie Heidenhain und weiteren Eigenbauern.

Eine interessante Frage ist noch, wie stark die technische Entwicklung der NC-Steuerungen durch das produktionstechnische Innovationssystem beeinflusst wurde. Da die Entwicklung der Rechnertechnik die ersten vier Abschnitte bestimmte, war der Einfluss durch das Innovationssystem bis zum dritten Abschnitt relativ gering; es konzentrierte sich hauptsächlich darauf, die Randbedingungen für die NC-Technik zu verbessern. Dazu gehörte z. B. die Normung und Programmierung der NC-Steuerungen, die in den nächsten Unterkapiteln behandelt werden, aber auch die flexiblen Fertigungssysteme (vgl. Kapitel 7.7.2). Wurden neue Normen bzw. Richtlinien beschlossen, mussten die Steuerungshersteller die Schnittstellen ihrer Steuerung anpassen.

Erst mit den prozessrechnergesteuerten CNC-Steuerungen des vierten Abschnitts, vor allem aber mit den mikroprozessorgesteuerten CNC-Steuerungen des fünften Abschnitts, änderte sich die Lage grundsätzlich, denn die Eigenschaften der NC-Steuerungen wurden zunehmend durch die Software bestimmt. Hier nutzten die Hochschulinstitute die staatliche Forschungsförderung, um sich in die Steuerungsentwicklung einzubringen. Ein Beispiel war die Werkstattprogrammierung durch eine intelligente Bedienoberfläche (vgl. Kapitel 4.13), ein anderes war das auch mit Unterstützung des VDW⁹²⁹ vom Stuttgarter ISW entworfene MPST-Steuerungskonzept (vgl. Kapitel 4.9.4). Es wurde 1976 als PDV-Projekt mit dem Ziel begonnen;⁹³⁰ eine herstellerübergreifende Hardware- und Softwareplattform für CNC-Steuerungen zu entwickeln, die alle Hersteller nutzen sollten. Obwohl anfangs sogar die großen Steuerungshersteller beim MPST-Projekt mitarbeiteten, boten sie am Ende keine MPST-

⁹²⁹ Archiv Gebr. Boehringer (in Auflösung), Ordner VDW, Techn. Ausschuss, Schriftwechsel; Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (08.08.1975).

⁹³⁰ Vgl. o. V. (1976c), S. 70. Das Projekt wurde z. B. in den Jahren 1976–1978 mit 670.000 DM gefördert.

Steuerungen an. Dies blieb einigen Werkzeugmaschinenherstellern vorbehalten, die MPST-Steuerungen als Eigenbausteuerung einsetzten.⁹³¹

Das letztlich auf wenige Anwender beschränkte MPST-Projekt löste auch eine immer wieder aufflammende Diskussion über die Vor- und Nachteile einer Standardisierung von Schnittstellen aus. In kleinem Rahmen erfolgreich war aber nur die Entwicklung der digitalen Antriebsschnittstelle Sercos nach dem Untersuchungszeitraum (vgl. Kapitel 12.1).

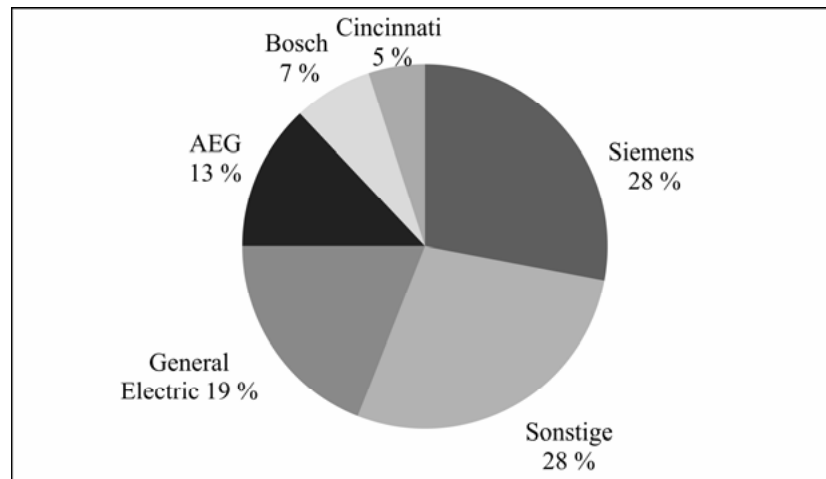


Abbildung 38: Marktanteile der NC-Steuerungshersteller zwischen 1970 und 1974 in der BRD⁹³²

Interessant sind noch die Marktanteile der Steuerungshersteller (Abbildung 38) in der BRD. Um 1974 zeichnete sich eine Konzentration auf wenige Hersteller ab: Fünf Steuerungshersteller (darunter General Electric und Cincinnati aus den USA) deckten etwa ca. 72 % des Marktes ab. Der Rest verteilte sich auf eine Vielzahl von kleinen Herstellern, die Marktanteile von 3 % und weniger hatten. Darunter waren auch Maschinenhersteller mit ihren Eigenbausteuerungen wie z. B. Heller, Gildemeister, Fritz-Werner und Scharmann.

Die eingesetzte Steuerungsart hing stark von der Bearbeitungstechnologie ab. Beim Bohren und Fräsen (dazu gehörten auch die Bearbeitungszentren) lag der Anteil der Bahnsteuerungen nur bei 17 %, beim Drehen dagegen bei 85 % und bei den sonstigen NC-Maschinen immerhin bei noch 47 %.⁹³³ Erklärt werden können die Unterschiede damit, dass Bahnsteuerungen für mehr als zwei Achsen noch sehr teuer waren und für

⁹³¹ Hauptanwender von MPST-Steuerungen waren die Werkzeugmaschinenhersteller Gildemeister und Liebherr ab den 1980er Jahren. Vgl. Vitr/Weck (2006), S. 324.

⁹³² Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Clausnitzer (1974), obere Tabelle links, S. 17. Die Angaben sind Durchschnittswerte der Jahre 1970 bis 1974. Der hohe Marktanteil von General Electric resultiert aus dem Marktanteil von 42 % bei den NC-Drehmaschinensteuerungen. Die Zahlen von Bosch beinhalten die Vorläufersteuerungen von Masing und die Bendix-Steuerungen. Die Zahlen von Siemens beinhalten auch die Fanuc-Steuerungen. Vgl. hierzu auch Clausnitzer (1974), S. 17–20.

⁹³³ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 14.

die einfacheren Fräs- und Bohrbearbeitungen NC-Streckensteuerungen ausreichen. Für die Drehbearbeitung hingegen war eine Bahnsteuerung fast unumgänglich. Da ab Mitte der 1960er nur General Electric mit der GE 100S dafür eine NC-Steuerung mit einem sehr guten Preis- Leistungsverhältnis anbot (vgl. auch Kapitel 5.1), wurde sie von vielen Drehmaschinenherstellern eingesetzt. Das erklärt den hohen Marktanteil von General Electric in Abbildung 38.

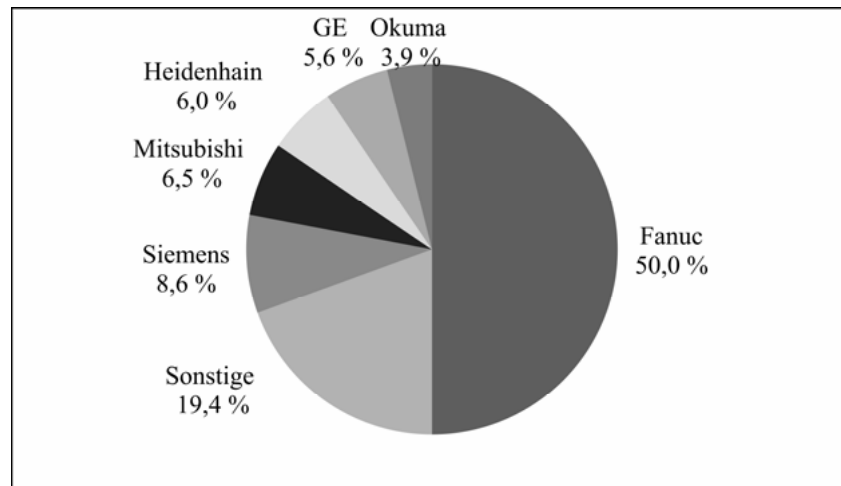


Abbildung 39: Weltmarktanteile der NC-Steuerungshersteller 1985⁹³⁴

Elf Jahre später hatte sich die Struktur der Steuerungshersteller stark verändert, wie die Weltmarktanteile der NC-Steuerungshersteller verdeutlichen (Zahlen nur aus der Bundesrepublik Deutschland lagen leider nicht vor). Ohne Berücksichtigung der „Sonstigen Hersteller“ kamen 1985 etwa 60 % aller NC-Steuerungen von den japanischen Herstellern Fanuc, Mitsubishi und Okuma. Die westdeutschen Hersteller Siemens und Heidenhain waren mit knapp 15 % vertreten und die USA waren mit nur noch 5,6 % der NC-Steuerungen von General Electric schon weit abgeschlagen. Besonders interessant an den Zahlen ist, dass der „Späteinsteiger“ Heidenhain mit seinen werkstattorientierten Steuerungen für kleine Fräsmaschinen die AEG und Bosch zurückgedrängt hatte (deren Zahlen sind in „Sonstige“ enthalten) und schon nah an Siemens herangekommen war.

4.12 Normung der NC-Technik

Schon während des Ersten Weltkriegs war es wichtig, Rüstungsgüter möglichst rationell herzustellen und die Varianten durch Normen zu reduzieren. Trotz des kriegsbedingten Drucks dauerte es bis zum Sommer 1917, bis erstmals der „Normalienausschuss für den deutschen Maschinenbau“ im Berliner VDI-Haus tagte.⁹³⁵ Dann ging es

⁹³⁴ Bildquelle: Spur u. a. (1994), Bild 2.2, S. 639.

⁹³⁵ Vgl. Luxbacher (2017), S. 48–61.

schnell. Schon auf der nächsten Sitzung am 22. Dezember 1917 wurde der „Normenausschuss der Deutschen Industrie“ (NADI) gegründet, der 1926 in „Deutscher Normenausschuss“ (DNA) umbenannt wurde.⁹³⁶ Arbeitsergebnisse des DNA⁹³⁷ waren und sind die Deutsche-Industrie-Normen (DIN).⁹³⁸

Die Entwicklung von Normen ist komplex und kann Jahre dauern, da umfangreiche Vorarbeiten erforderlich sind und viele Interessen und technische Parameter gegeneinander abgewogen werden müssen. Bei neuen Technologien ist es oft sinnvoll, vor der Normung mit Richtlinien Erfahrungen zu sammeln. Eine Ausprägung sind die VDI-Richtlinien. Sie werden von Ausschüssen des VDI erarbeitet und oft zu DIN-Normen weiterentwickelt.⁹³⁹ Bei der Erarbeitung der Normen und Richtlinien für NC-Steuerungen hatte die „Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure“ (ADB) im VDI eine wichtige Rolle gespielt. Auf ihre Entstehung wird daher kurz eingegangen.

Der Erste Weltkrieg gab den Anstoß, übergeordnet wichtige betriebsorganisatorische und fertigungstechnische Aufgaben und Fragestellungen anzugehen. Keimzelle war 1918 der Berliner Bezirksverein des VDI, der einen Ausschuss für Betriebsorganisation ins Leben rief und zur Kommunikation die Zeitschrift „Der Betrieb“ herausgab. Die anderen Bezirksvereine wurden aufgefordert, vergleichbare Ausschüsse zu bilden, was nach und nach erfolgte. Um die Arbeit effektiver zu gestalten, schlossen sich die neu gegründeten Ausschüsse am 5. März 1920 zur ADB zusammen, die ihrerseits wieder Ausschüsse hatte. In diesen beschäftigte sich die ADB mit den unterschiedlichsten Fragestellungen in den Betrieben, wozu auch die Normung gehörte.⁹⁴⁰

Die ADB wurde nach dem Zweiten Weltkrieg weitergeführt und öffnete sich für neue Themen. Eines war die Automatisierung, die im „Wirtschaftswunder“ einen immer größeren Stellenwert bekam. Um die Fragestellungen der Automatisierung in der ADB effektiver behandeln zu können, wurde 1956 der Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ mit dem Obmann Professor Dolezalek von der TH Stuttgart gegründet, einem Verfechter der Automatisierung.⁹⁴¹ Zehn Jahre später – zu seiner Verabschiedung als Obmann des Ausschusses – schrieb Dolezalek in einer Notiz, das Ziel bei der Gründung des Ausschusses sei gewesen, „Richtlinien zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Vereinfachung der Automatisierung in der Fertigung auszuarbeiten“⁹⁴².

⁹³⁶ Vgl. Luxbacher (2017), S. 70.

⁹³⁷ 1975 erfolgte eine erneute Umbenennung in „DIN Deutsches Institut für Normung e. V.“. Vgl. Luxbacher (2017), S. 61.

⁹³⁸ Einen geschichtlichen Überblick über die Entwicklung des DIN zwischen 1917 und 2017 veröffentlichte Luxbacher. Luxbacher (2017).

⁹³⁹ Die VDI-Richtlinienarbeit ist in der VDI-Richtlinie 1000 definiert. VDI-Richtlinie 1000:2017-02.

⁹⁴⁰ Vgl. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (1970), S. 5–6. Auf die weitere Entwicklung der ADB wird hier nicht eingegangen. Einen guten Überblick gibt die zitierte Schrift zu ihrem fünfzigjährigen Jubiläum.

⁹⁴¹ Vgl. Mitthof (1961), S. 114.

⁹⁴² Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 203a; Dolezalek (08.12.1966), S. 1.

Um diese Ziele zu erreichen, hatte der Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ mehrere Unterausschüsse, von denen sich einige mit Werkzeugmaschinenthemen beschäftigten.⁹⁴³ 1959 kam der Unterausschuss „Informationsverarbeitung“ dazu, der sich mit steuerungstechnischen Fragen der Automatisierung beschäftigen sollte. Obmann wurde Wilhelm Simon von der TH Darmstadt,⁹⁴⁴ damals sicher einer der besten Experten für diese Aufgabe.⁹⁴⁵ Nach den ersten Tätigkeitsberichten beschäftigte sich der Unterausschuss hauptsächlich mit der Erarbeitung erster Richtlinien zur NC-Technik. Obwohl es Ende der 1950er Jahre dafür nur wenige Fachleute gab, lagen schon bald erste Ergebnisse vor. Das erste war 1961 der Richtlinienentwurf (Gründruck) der VDI-Richtlinie 3259⁹⁴⁶. Diese definierte den Fünfspur-Fernschreiblochstreifen und den Achtspur-Lochstreifen als zugelassene Datenträger für NC-Steuerungen und legte fest, dass alle Daten für eine Informationsgruppe (z. B. Weginformationen, Schaltinformationen) in eine Zeile geschrieben werden müssen. In einem begleitenden Artikel schilderte Simon die Überlegungen, die zur Richtlinie führten.⁹⁴⁷ Interessant war, dass aus wirtschaftlichen Überlegungen neben dem technisch optimalen Achtspur-Lochstreifen auch der Fünfspur-Lochstreifen zugelassen wurde:

Wenn wir in Deutschland verhältnismäßig kurzfristig lochstreifengesteuerte Maschinen anwenden wollen, um einen gewissen Nachholbedarf zu befriedigen, so ist es zweckmäßig, nicht zu warten, bis auch hier entsprechende Geräte vorhanden sind, mit denen man einfach und billig Achtspurstreifen erstellen kann. Zur Zeit ist die Lage leider so, daß lochstreifengesteuerte Schreibmaschinen in Deutschland noch nicht reihenmäßig und preiswert hergestellt werden. In vielen Fällen müssen wir die Achtspurmaschinen aus den USA einführen. Das Preisverhältnis zwischen brauchbaren Codiereinrichtungen für Fünf- und Achtspurstreifen ist ungefähr 1:3, das heißt, ein Fernschreiber kostet rund 7000,- DM und die Flexowritereinrichtung ungefähr 20000,- DM. Das sind immerhin Kosten, die nicht zu übersehen sind.⁹⁴⁸

Eine Übersicht über die bis zum Sommer 1966 vom Unterausschuss Informationsverarbeitung erarbeiteten VDI-Richtlinien gibt Tabelle 7.

⁹⁴³ 1970 hatte der Ausschuss „Automatisierung in der Fertigungstechnik“ folgende Unterausschüsse mit Bezug zu Werkzeugmaschinen: Werkzeugmaschinen, Gemeinschaftsausschuss VDI/FNA „Werkzeugmaschinen“, Werkzeughalterung, Werkstückhandhabung, Informationsverarbeitung, Elektrische Steuerungen, Hydraulische Steuerungen, Pneumatische Steuerungen, Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Vgl. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (1970), S. 18.

⁹⁴⁴ Vgl. Zentrum Berlin für Zukunftsforschung (1968), S. 25.

⁹⁴⁵ In seinem Festvortrag zum 25-jährigen Jubiläum der Hochschulgruppe Fertigungstechnik äußert sich Prof. Kienzle über Simon: „Ferner erwähne ich die Zusammenarbeit mit unseren Kollegen für Regelungstechnik, wovon die letztere am stärksten in Darmstadt durch SIMON vertreten ist.“ Archiv Otto Kienzle bei Prof. Tönshoff, 25 Jahre Hochschulgruppe Fertigungstechnik 1937–1962; Kienzle (17.04.1962), S. 9.

⁹⁴⁶ O. V. (1961a).

⁹⁴⁷ Simon (1961).

⁹⁴⁸ Simon (1961), S. 125.

Die meisten VDI-Richtlinien befassten sich mit der Programmierung. Das war wichtig, weil nur durch eine möglichst einheitliche Programmierung die NC-Programme unter den Maschinen ohne größere Anpassungen ausgetauscht werden konnten. Ein weiterer Vorteil war, dass die NC-Programmierer die NC-Programme für Maschinen und Steuerungen unterschiedlicher Hersteller mit einem überschaubaren zusätzlichen Schulungsaufwand erstellen konnten und sich die Schulung insgesamt vereinfachte.

VDI-Richtlinie	Bezeichnung
3250	Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen – Zusatzinformationen
3252	Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen – Verschlüsselung von Zahlenwerten
3254 Bl. 1	Genauigkeitsangaben bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen
3255	Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, Festlegung der Koordinatenachsen und Zuordnung der Bewegungsrichtungen
3256	Syntaxvorschläge für das manuelle Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen
3257	Viersprachiges Fachwörterverzeichnis für die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen
3258	Kostenrechnung mit Maschinenstundensätzen
3259	Programmieren numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen; Lochstreifen als Informationsträger

Tabelle 7: VDI-Richtlinien des Unterausschusses Informationsverarbeitung, Stand 1.7.1966⁹⁴⁹

Die Weiterentwicklung bzw. Anpassung der VDI-Richtlinien an internationale Normen war sehr komplex, da unterschiedliche Institutionen in mehreren Ländern daran beteiligt waren und die Abstimmung zeitaufwendig war. Ein Meilenstein war 1961 die Gründung des Technical Committee (TC) 97 „Computers and Information Processing“ durch die ISO. Das TC 97 wurde 1963 um das Sub-Committee (SC) acht „Numerical Controls of Machines“ erweitert. Die Gründung des TC 97 war der Grund, dass in Westdeutschland 1961 vom DNA der Fachnormenausschuss Informationsverarbeitung (FNI) ins Leben gerufen wurde. Obmann des Arbeitskreises B „Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen“ wurde Boese. Der Arbeitskreis hatte u. a. die Aufgabe, die westdeutschen und internationalen Normungsbemühungen abzustimmen.⁹⁵⁰

Besonders komplex und langwierig war die internationale Normung der NC-Programmierung. Als sich abzeichnete, dass die nationalen VDI-Richtlinien geändert

⁹⁴⁹ Eigene Tabelle nach Simon/Boese (1967), S. 375 und 378. Boese war Mitarbeiter in der NC-Entwicklung der AEG.

⁹⁵⁰ Vgl. Simon/Boese (1967), S. 375.

werden mussten, wurde entschieden, die VDI-Richtlinien bis Ende 1967 an die zu erwartenden ISO-Normen anzupassen. Besonders betroffen waren die VDI 3259 und VDI 3256, da z. B. die Adressbuchstaben für die Maschinenfunktionen bei VDI und ISO unterschiedlich waren (z. B. war der Adressbuchstabe für die Spindeldrehzahl nach VDI 3259 „a“, nach ISO aber „S“). Aber auch die VDI 3255 (Festlegung der Koordinatenachsen) und die VDI 3250 (Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen – Zusatzinformationen) mussten angepasst werden.⁹⁵¹

Die weiteren Normungsarbeiten zur Programmierung von NC-Werkzeugmaschinen führten 1968 zum Entwurf der Blätter 1 und 2 der DIN 66025, die sich an den ISO-Entwurf ISO/DR 1318 anlehnten.⁹⁵² Die erste Version der DIN 66025⁹⁵³ wurde 1972⁹⁵⁴ veröffentlicht und ist im Kern trotz Änderungen bis heute (auch als ISO 6983⁹⁵⁵) weltweit gültig. Sie ist die Basis für die Programmierung fast aller NC-Maschinen. Obwohl durch die technische Weiterentwicklung die DIN 66025 aus heutiger Sicht viele Schwächen hat, konnte sich bis heute keine andere, höher entwickelte und weltweit genormte Programmiersprache durchsetzen.⁹⁵⁶ Auch die leistungsfähigsten Programmiersysteme erzeugen das NC-Programm heute noch nach der DIN 66025.

Die DIN 66025 war die wichtigste Norm bei der Entwicklung der NC-Technik und trug wesentlich zur Verbreitung der NC-Technologie bei. Sie war leicht erlernbar und ging schonend mit den anfangs knappen Ressourcen der ersten NC-Steuerungen um.⁹⁵⁷ Alle Versuche, die Norm nennenswert zu erweitern oder eine neue Norm durchzusetzen, hatten bis heute keinen Erfolg.

4.13 NC-Programmierung

Die NC-Programmierung war seit der Vorstellung der ersten numerischen Steuerung 1952 am MIT ein zentrales Thema der NC-Technologie. Im Kapitel 3.4 wurde beschrieben, wie in den 1950er Jahren am MIT mit viel Aufwand und Fehlschlägen die Programmiersprache APT entwickelt wurde. Von Anfang an wollten die Entwickler am MIT eine möglichst einfache Methode finden, um aus einer Werkstückzeichnung ein ablauffähiges NC-Programm zu erstellen. Im Folgenden werden einige der damaligen

⁹⁵¹ Vgl. Simon/Boese (1967), S. 376–378.

⁹⁵² O. V. (1968c).

⁹⁵³ DIN 66025-1:1972-02.

⁹⁵⁴ Vgl. o. V. (1981a).

⁹⁵⁵ Aktuelle Version: ISO 6983-1:2009-12.

⁹⁵⁶ Seit Mitte der 1990er Jahre arbeitete z. B. das WZL an der Entwicklung von STEP-NC mit, einer Alternative zur DIN 66025. Vgl. Vitr/Weck (2006), S. 320–323. STEP-NC konnte sich aber bis heute in der Praxis nicht durchsetzen.

⁹⁵⁷ Gemeint ist, dass der G-Code leicht erlernbar war und auf dem Lochstreifen wenig Platz belegte. Durch die geschickte Kombination von Buchstaben und Zahlen war er von den damaligen Hardwaresteuerungen mit überschaubarem Aufwand zu dekodieren.

Herausforderungen beschrieben, denn ausgehend von einem höheren Niveau stehen die Entwickler auch heute noch vor ähnlichen Schwierigkeiten.

Ein relativ einfaches Problem war, dass jede Werkstückzeichnung einen Koordinatenursprung hat, auf den sich alle Maße beziehen. Dieser Koordinatenursprung ist aber nicht identisch mit dem Koordinatenursprung bzw. dem Nullpunkt der Maschine und auch nicht mit dem Nullpunkt des aufgespannten Werkstücks.⁹⁵⁸ Da in der Maschine alle Maßeingaben auf ihren Nullpunkt bezogen sind, müssen also alle Maße um die Differenz der beiden Nullpunkte korrigiert werden. Gab es bei der Umrechnung der Maße einen (Flüchtigkeits-)Fehler, kam es im schlimmsten Fall zu einer Kollision. Die Lösung war, in den Steuerungen „Nullpunktverschiebungen“ zu hinterlegen, die die Differenz der Koordinatensysteme beinhalteten und mit allen programmierten Positionen verrechnet wurden. Als die Steuerungen Nullpunktverschiebungen verrechnen konnten, war es möglich, bei der Programmierung die Zeichnungsmaße der Achsen direkt zu verwenden, für die keine weiteren Maßverschiebungen durch das Werkzeug nötig waren. Bei Bohrmaschinen war das z. B. in der X-Y-Ebene der Fall, wenn in Z-Richtung gebohrt wurde. Der Programmierer musste allerdings zusätzlich die richtigen Nullpunktverschiebungen aktivieren und den Maschineneinrichter anweisen, diese in die Steuerung einzugeben.⁹⁵⁹

Die Programmierung der Bohrmaschinen mit Positioniersteuerungen war auf den ersten Blick einfach, da bei diesen Maschinen z. B. in der X-Y-Ebene nur die Positionen der zu bohrenden Löcher programmiert werden mussten und beim Anfahren der Bohrpositionen keine Bearbeitung erfolgt; es war keine Achsinterpolation erforderlich. Die Positionen in der X-Y-Ebene konnten mit den Achsen X und Y entweder hintereinander oder simultan angefahren werden; es war unwichtig, welche Achse die Zielposition zuerst erreichte. Anschließend wurde dann mit der Z-Achse die Bohrbearbeitung durchgeführt, bei der die Z-Achse nur um die Bohrtiefe und den Sicherheitsabstand zwischen Werkzeug und Werkstück zugestellt werden musste. Im Programm musste aber vorher als weitere „Nullpunktverschiebung“ die Länge des Bohrers berücksichtigt werden, damit beim Positionieren Werkstück und Werkzeug nicht kollidierten. Der Programmierer musste also die Werkzeuglänge kennen und der Einrichter oder Werkzeugvoreinsteller musste das Werkzeug exakt auf diese Länge bei der Vorbereitung der Maschinen einstellen. Darauf konnte erst verzichtet werden, als die Steuerungen separate Speicher für die Werkzeuglänge hatten, die wie die Nullpunktverschiebungen mit

⁹⁵⁸ Ein weiteres Problem war, dass es bei einer Serienfertigung beim Aufspannen der Werkstücke zusätzlich zu geringen Abweichungen der Werkstückposition kam. Dies verkomplizierte die Lage bei hohen Genauigkeitsanforderungen. Ein Lösungsansatz war, vor dem Start des NC-Programms mit dem ersten Werkzeug von Hand möglichst genau an den Werkstücknullpunkt heranzufahren. Die Position, an der das Werkzeug an das Werkstück „ankratzte“, wurde dann als Nullpunktverschiebung übernommen.

⁹⁵⁹ Vgl. hierzu auch Kohring (1966), S. 59.

den Achspositionen verrechnet wurden. Der Programmierer konnte dann bei der Programmerstellung im Extremfall mit der fiktiven Werkzeuglänge „0“ arbeiten, musste aber die richtigen Werkzeugkorrekturspeicher anwählen und der Einrichter musste die Werkzeugmaße in die richtigen Korrekturspeicher eintragen.⁹⁶⁰

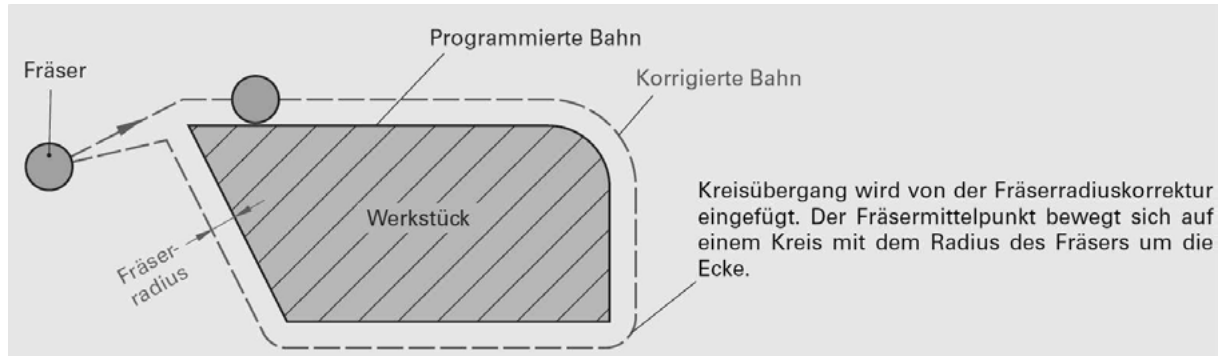


Abbildung 40: Prinzip der Fräserradiuskorrektur⁹⁶¹

Deutlich schwieriger war die Berücksichtigung der Werkzeuggeometrie, wenn auf einer Fräsmaschine mit einer Bahnsteuerung aus einem Rohteil eine Kontur herausgefräst werden musste. Dies zeigt schon das einfache Beispiel in Abbildung 40. Die Berücksichtigung des Fräserradius führt dazu, dass die von der Steuerung abzufahrende korrigierte Bahn von der Werkstückkontur abweicht und an Ecken sogar Kreisbögen eingefügt werden müssen, um die Ecke nicht zu verletzen.⁹⁶² Ohne Fräserradiuskorrektur in der Steuerung musste der Programmierer alle Punkte und Kreisradien der korrigierten Bahn berechnen. Eine erste Version der Fräserradiuskorrektur wurde z. B. 1964 von Siemens vorgestellt.⁹⁶³

Eine weitere Komplikation bei Frästeilen war, dass das Aufmaß des Rohteils gegenüber dem Fertigteil komplett zerspannt werden musste. War das Rohteil z. B. ein gegossener Quader, mussten vor der eigentlichen Bearbeitung alle zu bearbeitenden Flächen auf das Fertigmaß abgefräst werden. Da die zu bearbeitende Fläche viel größer als die Fläche des Werkzeugs war, konnte mit einer Fräsoption das Aufmaß nicht abgetragen werden. Die Fläche musste z. B. mäanderförmig abgefräst werden, d. h. jede Fräsbahn musste n-fach abgefahren werden, jeweils versetzt um etwas weniger als den

⁹⁶⁰ In der Anfangsphase konnten in die Werkzeugkorrekturspeicher nur kleine Abweichungen von der programmierten Werkzeuglänge, nämlich der Werkzeugverschleiß, eingetragen werden. Vgl. Geyer/Waller (1964), S. 667. Dass auch mit dem Wert „0“ gearbeitet werden kann beschreibt 1969 Basilowski für die Sinumerik 270 und 271. Vgl. Basilowski (1969), S. 497.

⁹⁶¹ Bildquelle: Wissert (2017b), S. 450, Bild 1.

⁹⁶² Eine alternative Strategie bei rechtwinkligen Ecken ist, die Bahn um den Fräserdurchmesser zu verlängern und dann die Fahrtrichtung um 90 Grad zu ändern. Das starke Bremsen und Beschleunigen der Achsen verlängert aber die Bearbeitungszeit und führt zu einer schlechteren Oberfläche.

⁹⁶³ Vgl. Geyer/Waller (1964), S. 666. Mathematisch ist die Fräserradiuskorrektur sehr anspruchsvoll, da viele Sonder- und Spezialfälle beachtet werden müssen. Einen ersten Überblick von der Komplexität vermittelte Krägeloh. Krägeloh (1965).

Durchmesser des Werkzeugs. Dafür musste der Programmierer aus den Geometriedaten des Rohteils, des Fertigteils und des Werkzeugs alle benötigten Zwischenpunkte berechnen und in das NC-Programm einfließen lassen. Bei einer einfachen Werkstückkontur war die manuelle Programmierung noch machbar, bei komplizierten Konturen konnte sie aber sehr anspruchsvoll werden.

Noch aufwendiger wurde es, wenn Ecken und Kanten zusätzlich abgerundet werden mussten. Da in technischen Zeichnungen dafür meistens nur ein Radius angegeben war, mussten die fehlenden Daten unter Berücksichtigung des Fräserradiuses vom Programmierer zusätzlich berechnet werden.

Bei Drehmaschinen war die Situation ähnlich komplex. Um ein Werkstück mit komplizierter Kontur aus einem Rohling mit einem größeren Aufmaß zur Fertigungskontur abzdrehen, wurde fast immer eine Bahnsteuerung benötigt, um sich der Fertigungskontur in mehreren Zustellschritten anzunähern;⁹⁶⁴ die Zwischenschritte konnten wie beim Fräsen nicht direkt aus der Zeichnung entnommen werden, sondern mussten vom NC-Programmierer sorgfältig erarbeitet werden.

Da die manuelle NC-Programmierung ab einer gewissen Komplexität sehr aufwendig und damit auch fehleranfällig war, wurde für kompliziertere Werkstücke die NC-Programmierung mit Rechnerunterstützung präferiert. Hierzu wurde in den USA schon in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre die Programmiersprache APT entwickelt und anfangs vor allem in der Flugzeugindustrie zur Programmierunterstützung bei Bahnsteuerungen eingesetzt (vgl. Kapitel 3.4). Ein Nachteil von APT war, dass das erzeugte NC-Programm nur die Geometrieinformationen enthielt.⁹⁶⁵ Die technologischen Informationen, wie z. B. Spindeldrehzahlen und Achsvorschübe, mussten nachträglich in das APT-Programm eingefügt werden.⁹⁶⁶ Diese zweistufige Vorgehensweise und die von APT benötigten leistungsstarken Rechner wurden insbesondere in Europa als Mangel empfunden.⁹⁶⁷

Im von Simon geleiteten ADB-Unterausschuss Informationsverarbeitung gab es deshalb 1963/1964 erste Überlegungen und Vorarbeiten, die APT-Programmierung zu verbessern und an die westdeutschen Vorstellungen anzupassen. 1964/1965 gelang es

⁹⁶⁴ Beim Drehen von Konturteilen musste, ausgehend vom Rohteil, die Fertigungskontur versetzt um die maximal zulässige Spandicke mehrfach abgedreht werden. Hierzu ein stark vereinfachtes Beispiel: Bei einem Aufmaß des Rohteils gegenüber dem Fertigmaß von 2 mm und einer zulässigen Spandicke von 0,2 mm muss die Fertigteilkontur mindestens zehnmal abgedreht werden, wobei in X-Richtung jeweils um maximal 0,2 mm zugestellt werden darf.

⁹⁶⁵ Vermutlich berücksichtigte APT die Technologie nicht, weil sich die Entwickler zuerst auf die geometrischen Probleme konzentrieren wollten und die Technologiewerte als maschinenspezifische Werte ansahen.

⁹⁶⁶ Dies geschah bei APT-Programmen im sogenannten Postprozessorlauf, in dem zusätzlich zu den Technologiedaten das NC-Programm auch auf die anfangs noch nicht genormte Befehlssyntax der konkreten NC-Maschine angepasst wurde. Vgl. Herold u. a. (1971), S. 227.

⁹⁶⁷ Vgl. Simon (1971), S. 391–392.

Simon und Opitz, ein gemeinsames Forschungsprojekt in Berlin und Aachen zu diesen Fragestellungen von der DFG finanziert zu bekommen, das 1965/1966 durch Mitarbeit der Institute von Spur (Berlin) und Stute (Stuttgart) wegen des großen Interesses der Industrie an dem Projekt erweitert wurde.⁹⁶⁸ Drei Entwicklungspakete wurden für das EXAPT⁹⁶⁹ genannte Projekt festgelegt:

- EXAPT 1 für Bohr- und einfachste Fräsaufgaben für Maschinen mit Punkt- und einfacher Streckensteuerung (1966 der Öffentlichkeit vorgestellt).
- EXAPT 2 für Drehbearbeitungen auf Drehmaschinen mit Strecken- oder Bahnsteuerungen (1967 anlässlich der EWA in Hannover vorgeführt).
- EXAPT 3 für Bohr- und Fräsbearbeitungen auf Fräsmaschinen mit Strecken- oder Bahnsteuerungen in einer zur Werkzeugachse senkrechten Ebene.⁹⁷⁰

Wegen des starken Interesses der Industrie und den erwarteten hohen Entwicklungskosten wurde am 22.3.1967 der „EXAPT-Förderverein“ gegründet. Bei seiner Gründung hatte der Verein 19 industrielle Mitglieder, darunter so prominente wie AEG, Siemens und die Schnellpressenfabrik Heidelberg (später Heidelberger Druckmaschinen AG (Heidelberger)).⁹⁷¹ Die meisten Mitglieder sahen ihre Mitgliedschaft im EXAPT-Verein nicht als „Pflichtmitgliedschaft“ an, sondern unterstützen den Verein und die Entwicklung durch aktive Nutzung der Software und mit Geld⁹⁷², obwohl die Entwicklung einer praxistauglichen Software länger als geplant dauerte.⁹⁷³ Diesen Rückschluss erlauben auch die Interviews mit ehemaligen Mitarbeitern von Heidelberg (vgl. Kapitel 6.1). Danach hatte Heidelberger großes Interesse an EXAPT. Sie berichteten aber auch, dass die von EXAPT benötigte Rechenleistung anfangs ein großes Problem war. Für EXAPT geeignete Rechner waren anfangs rar, d. h. der Zwang, leistungsfähige Großrechner zu verwenden, bremste die Einführung von EXAPT, wie auch Hirsch-Kreinsen feststellte. Dieser vermutete auch noch, dass EXAPT nicht ausreichend anwendungsgerecht konzipiert war.⁹⁷⁴ Auch eine 1975 veröffentlichte Anwenderbefragung durch die Hochschulinstitute in Stuttgart und Aachen (die EXAPT

⁹⁶⁸ Vgl. Simon (1971), S. 392–393.

⁹⁶⁹ EXAPT Abkürzung für Extended APT.

⁹⁷⁰ Spur (1991), S. 559. Das Vorstellungsdatum ist nicht identisch mit dem Datum der Anwendungsreife. Simon nennt als Fertigstellungsdatum von EXAPT 1 und 2 in der ersten Ausbaustufe 1969. Vgl. Simon (1971), S. 393. EXAPT 3 erschien erst nach Simons Buch. Entgegen den ursprünglichen Planungen kam es nicht als eigenständige Version, sondern 1973 als EXAPT 1.1 auf den Markt. Vgl. Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (2020).

⁹⁷¹ Vgl. Archiv EXAPT-Verein, Ordner EXAPT-Verein: Gründung, Satzung; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (22.03.1967).

⁹⁷² In die EXAPT-Entwicklung wurden von staatlicher Seite 0,5 Mio. DM investiert, von der Industrie ca. 5 Mio. DM. Vgl. Schramm (2008), S. 233.

⁹⁷³ Flankiert wurde die Einführung von EXAPT durch eine Vielzahl von Fachveröffentlichungen. Alleine in der Zeitschrift „Werkstatt & Betrieb“ erschienen von 1967 bis 1971 sieben Fachaufsätze über EXAPT.

⁹⁷⁴ Vgl. Hirsch-Kreinsen (1993), S. 113.

mitentwickelten) stützt diese Sicht. Danach wurde bei 89 % der befragten 168 Industriefirmen noch manuell programmiert,⁹⁷⁵ während 47 % auch maschinell programmierten (davon aber nur 19 % mit Großrechnern).⁹⁷⁶

Das Gründungsmitglied Heidelberger ging noch einen Schritt weiter. Wegen der Rechnerproblematik von EXAPT 2 (Programmierung von Drehmaschinen) wurde in Anlehnung an EXAPT 2 die hauseigene Version MINEX entwickelt, die auch auf schwächeren Rechnern lief.⁹⁷⁷

Langfristig war EXAPT trotz nach und nach größerer Konkurrenz ein gewisser Erfolg beschieden. Der EXAPT-Verein und die EXAPT Systemtechnik GmbH konnten 2017 ihr 50-jähriges Jubiläum feiern, weil es gelang, genügend Anwender bei der Stange zu halten und EXAPT kontinuierlich an neue Anforderungen der Anwender, der NC-Steuerungen und der Rechner anzupassen.⁹⁷⁸

Die Programmierung mit EXAPT war aber nicht die einzige Möglichkeit einer rechnerunterstützten NC-Programmierung. 1975 waren schon über 100 unterschiedliche maschinelle Programmiersysteme auf dem Markt, was die Auswahl für die Anwender erschwerte. Bei einer Anwenderbefragung von 56 Firmen stand deshalb die Forderung bzw. der Wunsch nach einer Standardisierung der Programmiersysteme mit 19 Nennungen an erster Stelle.⁹⁷⁹

Zur Abrundung wird noch kurz auf zwei NC-Programmiersysteme für Drehmaschinen eingegangen, die von der Pittler Maschinenfabrik AG in Langen (Pittler) und den Gebr. Boehringer in Göppingen (Boehringer) entwickelt wurden und etwa zeitgleich mit EXAPT auf den Markt kamen.

Pittler war einer der ersten westdeutschen NC-Drehmaschinenhersteller und stellte 1961 auf der 7. EWA den PIROMAT 23 N vor. N stand für numerisch, denn die Maschine gab es auch mit einer Nockentrommel zur Maschinensteuerung.⁹⁸⁰ Trotz der verhaltenen Nachfrage (den Kunden war die Maschine zu teuer) stellte Pittler 1964

⁹⁷⁵ Vgl. Eversheim u. a. (1975), S. 284.

⁹⁷⁶ Die Autoren erklären die bei über 100 % liegende Summe mit dem gleichzeitigen Einsatz maschineller und manueller Programmierung bei manchen Firmen.

⁹⁷⁷ Nach Bader verwendete Heidelberger MINEX fast drei Jahrzehnte. Vgl. Bader (15.02.2017), S. 17–18.

⁹⁷⁸ Vgl. Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (2020). Für eine wertende Beurteilung fehlen allerdings Vergleichszahlen wie Marktanteile. Andererseits ist ein 50-jähriges Jubiläum in dem schnelllebigen Markt eine nicht zu unterschätzende Leistung.

⁹⁷⁹ Die Angaben basieren auf einer vom ISW und WZL 1974 durchgeführten Umfrage bei 900 Industriefirmen, von denen 294 antworteten. Davon waren allerdings nur 168 NC-Anwender. Vgl. Eversheim u. a. (1975), S. 281. Die Frage zu den Programmiersystemen beantworteten nur 56 Anwender, von denen 19 eine bessere Standardisierung befürworteten. An zweiter Stelle mit elf Nennungen stand die „Vereinfachung der Programmiersysteme unter Einbeziehung der Technologie“, ein Gedanke, der bei EXAPT ganz weit vorne stand. Vgl. Eversheim u. a. (1975), S. 285.

⁹⁸⁰ Vgl. Glunk/Weidemann (1989), S. 109.

zum 75-jährigen Firmenjubiläum auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover die NC-Drehmaschine PINUMAT vor, die großes Interesse fand.⁹⁸¹ Um den Kunden die Programmierung zu erleichtern, wurde parallel zum PINUMAT die Programmiersprache AUTOPIT⁹⁸² entwickelt und angeboten. Diese orientierte sich an APT und lief auf IBM-Rechnern. Die Innovation im Vergleich zu APT war, dass AUTOPIT schon Technologieelemente berücksichtigte und so gesehen ein Vorläufer von EXAPT 2 war.⁹⁸³ Die Weiterentwicklung AUTOPIT 2 von 1967 lehnte sich an EXAPT 2 an, hatte aber ähnlich wie MINEX das Ziel, mit weniger Rechenleistung auszukommen. Für Stöckmann und Richter war deshalb AUTOPIT 2 eine Untermenge von EXAPT 2.⁹⁸⁴

Etwa zeitgleich mit EXAPT 2 stellte Boehringer für seine Drehmaschinen den „Autoprogrammer“ vor. Dieser war von Anfang an für die aufkommenden Kleinrechner konzipiert (vgl. Kapitel 5.1). Mit dem Autoprogrammer konnten aber wegen des kleineren Rechners im Unterschied zu AUTOPIT und EXAPT die NC-Programme nicht automatisch erstellt werden. Der Autoprogrammer sollte hauptsächlich den Programmierer z. B. durch Berechnung der in Zeichnungen fehlenden Geometriedaten unterstützen, um die aufwendigen Berechnungen zu beschleunigen und Programmierfehler durch Rechenfehler zu reduzieren. Boehringer sprach deshalb von einer „Programmierhilfe“ und im Prospekt um das Jahr 1968 vom „halbmaschinellen Programmieren“.⁹⁸⁵ Eine weitere hilfreiche Funktion war die Berechnung der Spindeldrehzahl aus der gewünschten Schnittgeschwindigkeit. Für das Zerspanen größerer Volumina konnte der Autoprogrammer die Anzahl der erforderlichen Zustellschritte berechnen und die benötigten NC-Sätze selbsttätig erzeugen.⁹⁸⁶ Insgesamt konnte mit dem Autoprogrammer die Programmierzeit im Vergleich zur rein manuellen Programmierung deutlich gesenkt werden. In einer der ersten großen Veröffentlichungen über den Autoprogrammer nannte Boehringer eine Reduzierung der Programmierzeit für ein Stirnrad im Vergleich zur manuellen Programmierung auf 29 %, wenn der optionale Simulator verwendet wurde. Ohne Simulator reduzierte sich die Programmierzeit nur auf 56 %.⁹⁸⁷ Die Einsparung an Programmierzeit stellte sich wohl auch in der Praxis ein. Nur so ist erklärbar, dass 1974 um die 17 % aller rechnergestützt programmierten NC-Werkzeugmaschinen mit

⁹⁸¹ Vgl. Glunk/Weidemann (1989), S. 110.

⁹⁸² **AUTO**matisches **P**rogrammieren **I**nclusive **T**echnologie.

⁹⁸³ Vgl. Schulz/Eibeck (1964), S. 889–890.

⁹⁸⁴ Vgl. Stöckmann/Richter (1968), S. 577–578.

⁹⁸⁵ Vgl. Archiv Gebr. Boehringer (in Auflösung), Ordner Boe-(VDF)-Prospekte: NC-Drehmaschinen, Autoprogrammer; Gebr. Boehringer GmbH (1968), S. 15.

⁹⁸⁶ Vgl. Archiv Gebr. Boehringer (in Auflösung), Ordner Boe-(VDF)-Prospekte: NC-Drehmaschinen, Autoprogrammer; Gebr. Boehringer GmbH (1968), S. 15–20. Weitere Funktionen waren die Standzeitermittlung der Werkzeuge, konstante Schnittgeschwindigkeit beim Drehen und die Unterstützung der Kreisinterpolation.

⁹⁸⁷ Vgl. Kasischke (1967), S. 531. Mit dem optionalen Simulator konnte das NC-Programm auf einem 2D-Zeichentisch optisch simuliert werden. Das erleichterte die Kontrolle von Programmierfehlern.

dem Autoprogrammer programmiert wurden.⁹⁸⁸ Dass der Autoprogrammer leistungsfähig war, bestätigte 1976 auch ein Vergleich bei M.A.N. Die Programmierkosten von drei Teilen der Werke in München, Augsburg und Sterkade, die mit EXAPT, Teleapt und dem Autoprogrammer programmiert wurden, bewegten sich in der gleichen Größenordnung. Kips kam zum Ergebnis, dass die drei Programmierverfahren gleichwertig waren.⁹⁸⁹

Der Autoprogrammer konnte sich lange im Markt halten. Noch 1983 wurde er von Boehringer in weiterentwickelter Form angeboten.⁹⁹⁰

Dass die Programmierung der NC-Maschinen für komplexere Werkstücke nur mit Unterstützung von Groß- oder Kleinrechnern möglich war, störte aber viele Anwender. Die wichtigsten Gründe waren:

- Es wurde eine zusätzliche Programmierabteilung mit Schnittstellen zur Arbeitsvorbereitung und zur Datenverarbeitung benötigt. Durch den Abstimmungsaufwand fielen unproduktive Zeiten an.
- Für den Facharbeiter an der Maschine änderten sich die Arbeitsinhalte an der Maschine. Das Know-how der Facharbeiter ging verloren.
- Die Rechnerinfrastruktur erforderte hohe Investitionskosten.

Für einfache Teile wünschten sich deshalb viele Anwender eine möglichst maschinen-nahe NC-Programmierung, die durch die NC-Steuerung unterstützt wurde. Sie versprachen sich davon eine schlankere Organisation und motiviertere Mitarbeiter.

Die mit Mikroprozessoren ausgestatteten CNC-Steuerungen der zweiten Generation intensivierten diese Diskussion. Mit diesen Steuerungen schien die Umsetzung einer maschinennahen Programmierung (Werkstattprogrammierung) mit einem Funktionsumfang vergleichbar zur Basisfunktion des Autoprogrammers (Berechnung fehlender Geometriedaten) umsetzbar zu sein.

⁹⁸⁸ An der rechnergestützten NC-Programmierung hatte um 1974 der Autoprogrammer mit 17 % den größten Anteil (dialogorientierte Kleinrechnersysteme). Andere wichtige Programmierverfahren waren: Heyligenstaedt PROGRAMAT 2 % (stapelorientierte Kleinrechnersysteme), Horn MINI-APT 9 % (geometrieorientierte Großrechnersprache) und EXAPT 1 mit 6 % (technologieorientierte Großrechnersprache). Vgl. Clausnitzer (1974), S. 33.

⁹⁸⁹ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Kips (09.04.1976), S. 16–17. (Hinweis: Hg in der Signatur steht für Hauptgruppe.) An gleicher Stelle verglich Kips auch noch die Programmierkosten im Werk München für ein weiteres Teil. Bei diesem waren die Programmierkosten mit dem Autoprogrammer deutlich höher als mit den anderen Programmierverfahren. Der Grund war, dass für die Programmierung mit dem Autoprogrammer zwei Geräte erforderlich waren, von denen eines schlecht ausgenutzt wurde. Das erhöhte die Fixkosten. Am günstigsten war für dieses Teil die manuelle Programmierung. Die Untersuchung zeigte, dass die Entscheidung für die eine oder andere Methode sehr stark von den jeweiligen Randbedingungen und vom konkreten Werkstück abhing.

⁹⁹⁰ Vgl. Privataarchiv Werner Boehringer, Oerlikon-Boehringer (6/1983).

Erste Ausführungen solcher CNC-Steuerungen wurden ab Mitte der 1970er Jahre von einigen NC-Herstellern für Drehmaschinen angeboten. Ein Anbieter war auch die Firma Fanuc, die den Bielefelder Drehmaschinenhersteller Gildemeister belieferte. Gildemeister warb z.B. ab Ende 1976 in einer Anzeigenserie damit, dass in seiner Gildemeister-Fanuc-N.E.F.-NC-Steuerung ein Taschenrechner integriert sei, mit dem eine Produktivitätssteigerung von mindestens 50 % erreicht werden könne.⁹⁹¹ Auch der Fanuc-Partner Siemens zog nach und stellte auf der EMO 1977, basierend auf dem Sinumerik System 7, die Sprint-Variante vor, bei der „Konturzüge“ beim Drehen direkt programmiert werden konnten. Die „fehlenden“ geometrischen Informationen für das NC-Programm wurden aus den eingegebenen Daten berechnet. Abgerundet wurde die Programmierunterstützung durch eine deutlich verbesserte, parametrierbare Unterprogrammtechnik. Damit konnten für wiederkehrende Funktionen fertig ausgetestete Routinen in der Steuerung hinterlegt werden.⁹⁹²

Parallel gab es auch erste Forschungsprojekte zur Verbesserung der maschinennahen NC-Programmierung. Eines der ersten wurde von Diekmann und Klotz zwischen Mitte 1977 und Mitte 1979 an der Universität Hamburg mit Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) im Rahmen des Programms „Humanisierung des Arbeitslebens“ (HdA)⁹⁹³ durchgeführt. Der industrielle Projektpartner war der baden-württembergische Drehmaschinenhersteller Traub aus Reichenbach/Fils.⁹⁹⁴ Projektziel war es, einen maschinennahen Programmierplatz zu entwickeln, der eine bessere Programmierunterstützung hatte, als die z. B. von Siemens/Fanuc angebotenen Programmierunterstützung in der CNC-Steuerung. Der Abschlussbericht kam zum Ergebnis, dass ein Programmiersystem entwickelt worden war, das von einem Dreher mit Facharbeiterqualifikation leicht erlernt und gehandhabt werden konnte.⁹⁹⁵

Vermutlich förderte die Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg bei Traub Überlegungen, die gewonnenen Erkenntnisse mit Traub-NC-Maschinen zu nutzen, denn Ende 1979 stellte Traub seine Überlegungen und Produkte zur Werkstattprogrammierung

⁹⁹¹ Vgl. o. V. (1976b), S. 101. Die Steuerung wurde unter dem Namen Sinumerik Mate auch von Siemens vertrieben. Unklar blieb, ob Gildemeister die Steuerung direkt von Fanuc oder über Siemens bezog.

⁹⁹² Vgl. o. V. (1977a), S. 584–585. Die Funktionalität wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Esslinger Werkzeugmaschinenhersteller Index entwickelt. Gemeint ist, dass bestimmte, prinzipiell immer wieder benötigte komplexere Routinen in Unterprogrammen mit Variablen programmiert werden konnten. Wurde die Routine benötigt, wurden den Variablen vor Aufruf des Unterprogramms Werte zugewiesen, mit denen dann gearbeitet wurde.

⁹⁹³ Vgl. Müller, Stefan (2019), S. 74–75. Das HdA-Programm lief von 1974–1989 und wurde zeitweise mit 100 Mio. DM im Jahr gefördert. Darunter waren auch einige Projekte mit Bezug zur NC-Technik.

⁹⁹⁴ Vgl. Diekmann/Klotz (1980), S. 7.

⁹⁹⁵ Vgl. Diekmann/Klotz (1980), S. 116–117.

nung vor.⁹⁹⁶ Ausführlich beschrieben wurden die Handeingabesteuerung Traub TX7 mit der Programmierung Traub TGS und die Steuerung Sinumerik Sprint 8T mit dem integrierten Programmiersystem Traub T2000. Letzteres wurde jedoch nie als Produkt in Verbindung mit einer Sinumerik-Steuerung angeboten. Die Veröffentlichung endet mit der These, dass die „technischen Voraussetzungen für die Programmerstellung in der Werkstatt bereits heute erfüllt werden können und in absehbarer Zeit weitere Verbesserungen zu erwarten sind.“⁹⁹⁷

Eine vergleichbare Entwicklung wie bei den Drehmaschinen gab es in auch bei den CNC-Fräsmaschinen. Die Werkstattprogrammierung wurde anfangs hauptsächlich für die einfachen Fräsmaschinen von Deckel und Maho angeboten, die für diese Maschinen spezielle Steuerungen zusammen mit Grundig (vgl. Kapitel 4.11.3) bzw. Heidenhain (vgl. Kapitel 4.11.4) entwickelten.

Es wäre aber zu einfach, die Werkstattprogrammierung als Allheilmittel für alle Programmierprobleme anzusehen. Die Vor- und Nachteile der Werkstattprogrammierung fasste Rose 1990 in seinem Buch „Programmieren in der Werkstatt“ zusammen.⁹⁹⁸ Er betonte, dass die Werkstattprogrammierung kein Selbstläufer ist, der alle Probleme löst – auch die des Selbstverständnisses des Facharbeiters. Hierzu ein Zitat aus dem Beitrag der Mitautoren Nuber und Schultz-Wild:

Langfristig, so muß zusammenfassend festgestellt werden, ist also weder gewährleistet, daß Werkstattprogrammierung unangefochten in recht vielen Betrieben stabilisiert oder gar ausgeweitet wird, noch daß in jedem Fall von ihr ganz selbstverständlich nur positive Impulse auf die Einsatz- und Reproduktionssituation von fachlich qualifizierten Maschinenbedienern ausgehen. Aus diesem Grund, aber auch mit Blick auf die weiten Bereiche der Fertigung, Montage und Hilfsbetriebe, die in absehbarer Zukunft ohne CNC-Maschinen auskommen werden, sollten arbeitspolitische Überlegungen die Bedeutung von Werkstattprogrammierung für die Sicherung von fachlicher und sozialer Qualifikation bei den entsprechenden Arbeitskräftegruppen nicht überbewerten.⁹⁹⁹

Die Autoren berichteten auch von einer vom ISF 1986/87 gemachten Erhebung bei 1096 Betrieben zur „Computergestützten Vernetzung“. Danach verwendeten 72 % der Betriebe die Werkstattprogrammierung, 41 % der Betriebe gaben sogar an, dass der Anteil Werkstattprogrammierung am Programmieraufwand bei mindestens 80 % lag

⁹⁹⁶ Hammer (1979a) und Hammer (1979b).

⁹⁹⁷ Hammer (1979b), S. 1098–1099. Die Lösungen von Traub für die Werkstattprogrammierung fanden nach dem Untersuchungszeitraum eine große Akzeptanz im Markt, vor allem da Traub eine leistungsfähige Hardware des japanischen Steuerungsherstellers Mitsubishi einsetzte. Obwohl Traub erst 1979 seine erste numerisch gesteuerte Drehmaschine anbot, war Traub bald einer der großen westdeutschen Hersteller numerisch gesteuerter Drehmaschinen mit Werkstattprogrammierung. Vgl. Hermann-Traub-Maschinenfabrik (1988), gez. S. 16.

⁹⁹⁸ Rose (1990).

⁹⁹⁹ Nuber/Schultz-Wild (1990), S. 182.

und 12 % programmierten sogar ausschließlich mit der Werkstattprogrammierung.¹⁰⁰⁰ Das sind beeindruckende Werte, vor allem wenn berücksichtigt wird, dass es die ersten werkstattprogrammierbaren Steuerungen erst in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre gab.¹⁰⁰¹

Zusammengefasst wurden bei der NC-Einführung in Westdeutschland Anfang der 1960er Jahre die NC-Steuerungen maschinell oder manuell programmiert. Da die ersten NC-Steuerungen die Werkzeugabmessungen mit den programmierten Werten noch nicht verrechnen konnten, wurden komplizierte Werkstücke für bahngesteuerte NC-Maschinen fast nur maschinell mit APT programmiert. Da APT leistungsstarke Rechner benötigte, war die knappe Rechnerkapazität ein begrenzender Faktor für diese Maschinen. Hinzu kam, dass APT die Technologie nicht berücksichtigte, was die Programmierung zusätzlich erschwerte. Mitte der 1960er Jahre initiierte deshalb der VDI-Unterausschuss Informationsverarbeitung die Entwicklung einer leistungsfähigeren maschinellen NC-Programmierung. Die EXAPT genannte NC-Programmiersprache wurde mit Forschungsgeldern gefördert und fand große Resonanz auch in der Industrie. Ihre Entwicklung erfolgte in mehrjähriger Zusammenarbeit zwischen VDI, Hochschulinstituten und industriellen Endanwendern; aktualisiert wird EXAPT heute noch eingesetzt. Im Rückblick war die EXAPT-Entwicklung das Pilotprojekt des produktionstechnischen Innovationssystems für die NC-Technik, da erstmals mehrere Institutionen (VDW, DFG, Hochschulinstitute, Werkzeugmaschinen- und Steuerungshersteller) eng zusammenarbeiteten.

Wegen der Rechnerproblematik wurden einfache Werkstücke für streckengesteuerte Maschinen anfangs meistens manuell programmiert. Neue NC-Funktionen wie Nullpunktverschiebungen, Werkzeugkorrekturen und Fräserradiuskorrektur brachten nach und nach eine Vereinfachung der Programmierung. In der zweiten Hälfte der 1960er Jahre kamen Programmierhilfen auf Kleinrechnern auf den Markt, die den Programmierer z. B. bei geometrischen Berechnungen unterstützten und die manuelle Programmierung deutlich erleichterten. Ab Mitte der 1970er Jahre gab es durch die Mikroprozessortechnik die Möglichkeit, die Programmierunterstützung der Kleinrechner auf die NC-Steuerungen zu portieren. Erste NC-Steuerungen mit dieser Technologie waren in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre verfügbar. Für die Art der Programmierung setzte sich der Begriff Werkstattprogrammierung durch, für die Art der Steuerung der Begriff Handeingabesteuerung. Begünstigt durch immer leistungsfähigere Mikroprozessoren wurde die Werkstattprogrammierung kontinuierlich verbessert und für immer mehr Werkstücke geeignet. Schon in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre gaben 80 % der Betriebe an, dass sie die Werkstattprogrammierung zumindest teilweise nutzten. Heute ist die Werkstattprogrammierung Stand der Technik und hat sich neben der

¹⁰⁰⁰ Vgl. Nuber/Schultz-Wild (1990), S. 172.

¹⁰⁰¹ Vgl. Nuber/Schultz-Wild (1990), S. 165.

AV-Programmierung mit leistungsstarken Programmiersystemen etabliert. Letztere ist auch heute noch bei sehr komplexen Werkstücken die erste Wahl.

4.14 Zusammenfassung

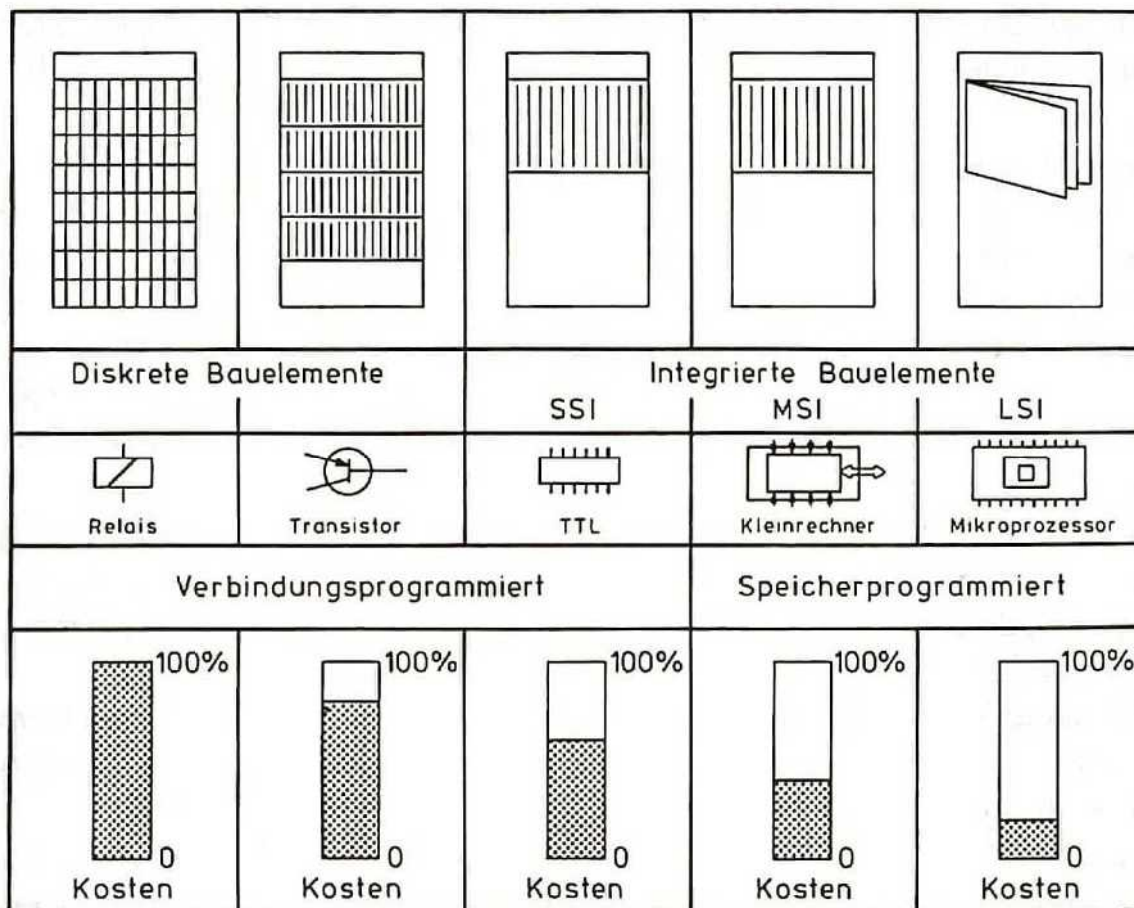
Nach dem Zweiten Weltkrieg fasste die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie erst nach der weitgehenden Aufhebung der alliierten Produktionsbeschränkungen wieder richtig Fuß. Ihre vorerst wichtigste Aufgabe war die Instandsetzung der Fertigungsanlagen und der Ersatz der zerstörten und demontierten Maschinen.

Angeregt durch die NC-Entwicklung in den USA beschäftigten sich ab der zweiten Hälfte der 1950er Jahre die Hochschulinstitute in Aachen und Darmstadt, die großen Elektrokonzerne und erste Werkzeugmaschinenhersteller mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen. Das Ergebnis war, dass 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover die westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller schon elf NC-Maschinen ausstellen konnten. Acht davon hatten eine westdeutsche NC-Steuerung.

Im Unterschied zum VDW war die VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (ADB) schon Ende der 1950er Jahre überzeugt, dass NC-Maschinen zukünftig eine wichtige Rolle in der Fertigungstechnik haben würden. Um möglichst früh die wichtigsten Schnittstellen der NC-Steuerungen über VDI-Richtlinien zu standardisieren (z. B. die Ausführung des Lochstreifenlesers und den Aufbau des NC-Programmcodes) gründete die ADB 1959 den Unterausschuss Informationsverarbeitung.

Die Zeit zwischen 1960 und dem Ende des Untersuchungszeitraums war durch eine stürmische technische Entwicklung, vor allem im Bereich der Halbleitertechnik, geprägt. Diese war der Taktgeber für die Rechnertechnik und damit indirekt auch für die Steuerungstechnik. Ab Ende der 1950er Jahre ersetzten Transistoren die klassischen elektrischen Schalter wie Röhren und Relais für logische Verknüpfungen. Durch neue Fertigungsverfahren wurden diese immer weiter miniaturisiert und integriert. Anfang der 1970er Jahre passte auf einen integrierten Schaltkreis (Chip) schon ein ganzer Rechenkern (Mikroprozessor).¹⁰⁰² Der Miniaturisierung des Transistors“, die grob in vier Stufen eingeteilt werden kann, folgten auch die numerischen Steuerungen. Unter Berücksichtigung der anfänglichen Relaissteuerungen gab es im Untersuchungszeitraum fünf NC-Steuerungsgenerationen (Abbildung 41). Für die mit einem Rechner ausgestatteten speicherprogrammierten NC-Steuerungen bürgerte sich der Begriff CNC-Steuerung ein.

¹⁰⁰² Am Ende des Untersuchungszeitraums (1979) war einer der leistungsfähigsten Mikroprozessoren der Motorola 68000. Er bestand aus 68000 Transistoren. Vgl. Häberlein (2011), S. 19–21.

Abbildung 41: Entwicklung der numerischen Steuerung¹⁰⁰³

Jede der fünf Steuerungsgenerationen war eine komplette Neuentwicklung. Bei den noch kleinen Stückzahlen war das für einige Anbieter, darunter auch die Elektrokonzerne SEL und BBC, nicht wirtschaftlich; sie stellten deshalb die NC-Entwicklung ein. Die Firma Heidenhain hingegen, die erst mit der mikroprozessorbasierten CNC-Steuerung in den Markt eintrat, ist heute der zweitgrößte deutsche NC-Hersteller und sparte sich die Entwicklungskosten der ersten NC-Steuerungsgenerationen. Ausgangspunkt für ihren Erfolg war eine kostengünstige, einfach zu programmierende CNC-Steuerung für kleine Fräsmaschinen, die sie für den Werkzeugmaschinenhersteller Maho entwickelte.

Der untere Teil der Abbildung 41 zeigt zusätzlich die Kostenentwicklung der NC-Steuerungen abhängig von den Steuerungsgenerationen. Danach betrugen die Kosten der zweiten CNC-Generation nur noch ein Fünftel einer Relaissteuerung. Da außerdem die Leistungsfähigkeit der Steuerungen von Generation zu Generation zunahm, verbesserte sich die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen viel stärker als es die Kostenentwicklung vermuten lässt.

¹⁰⁰³ Bildquelle: Spur (1979), S. 252. SSI bedeutet „small scale integration“, MSI bedeutet „medium scale integration“ und LSI bedeutet „large scale integration“.

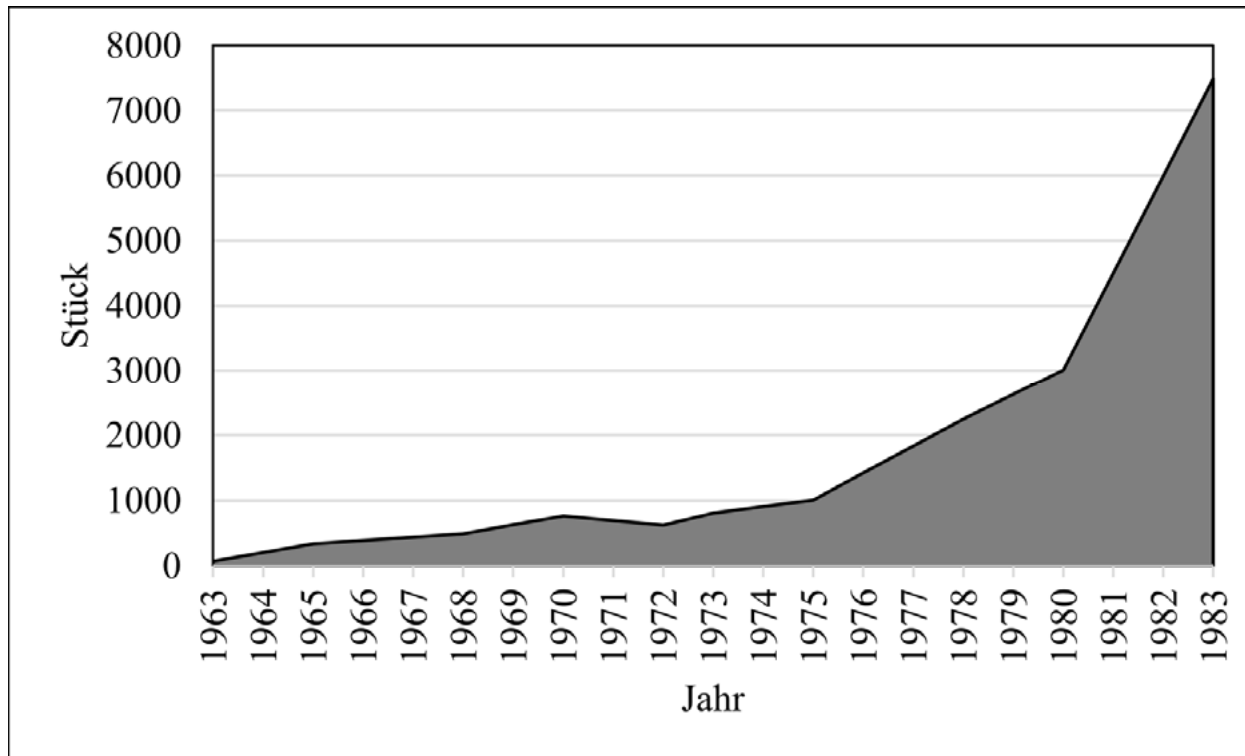


Abbildung 42: Produktionszahlen westdeutscher NC-Werkzeugmaschinen von 1963 bis 1983¹⁰⁰⁴

Eine besonders deutliche Leistungssteigerung brachten die mikroprozessorgesteuerten CNC-Steuerungen, die etwa ab Mitte der 1970er Jahre angeboten wurden. Der damit verbundene Produktivitätsschub und die bald angebotenen ersten Ausprägungen einer Werkstattprogrammierung, führten zu einem steilen Anstieg der NC-Maschinenproduktion. Besonders stark war er etwa ab 1980, als die CNC-Steuerung sich durchgesetzt hatte (Abbildung 42). Deshalb ist 1980 in etwa der Beginn für die breite Anwendung der NC-Technik in Westdeutschland.

Ergänzend zeigt Abbildung 43 den Anteil der auf den Ausstellungen gezeigten Maschinen mit CNC-Steuerungen. Dieser stieg von wenigen Prozent im Jahr 1970 auf ungefähr 75 Prozent im Jahr 1977 an und verdeutlicht das starke Vordringen der CNC-Technik in den 1970er Jahren.¹⁰⁰⁵

Parallel zu den Steuerungen kam es über die Jahre auch bei vielen elektrischen und mechanischen Komponenten der NC-Maschinen zu deutlichen Verbesserungen. Auch durch sie erhöhte sich die Produktivität der NC-Maschinen bei gleichzeitig sinkenden Kosten. Besonders traf dies auf die Antriebstechnik mit ihren neuen Umrichter- und

¹⁰⁰⁴ Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hirsch-Kreinsen (1993), Tabelle 1, S. 60. Hirsch-Kreinsen wies darauf hin, dass es sich um Zahlen des VDW handelt und es keine andere Statistik für diesen Zeitraum gab. Nicht alle Hersteller von CNC-Maschinen waren Mitglied des VDW.

¹⁰⁰⁵ Die ersten CNC-Steuerungen waren auf den Ausstellungen Anfang der 1970er Jahre stärker repräsentiert als bei den tatsächlichen Verkäufen.

Motorenkonzepten zu. Diese Neuerungen (vgl. Kapitel 7.4.2) verbesserten die Dynamik (Schnelligkeit) und Zuverlässigkeit der NC-Maschinen und damit deren Wirtschaftlichkeit fast ähnlich stark wie die CNC-Steuerungen.

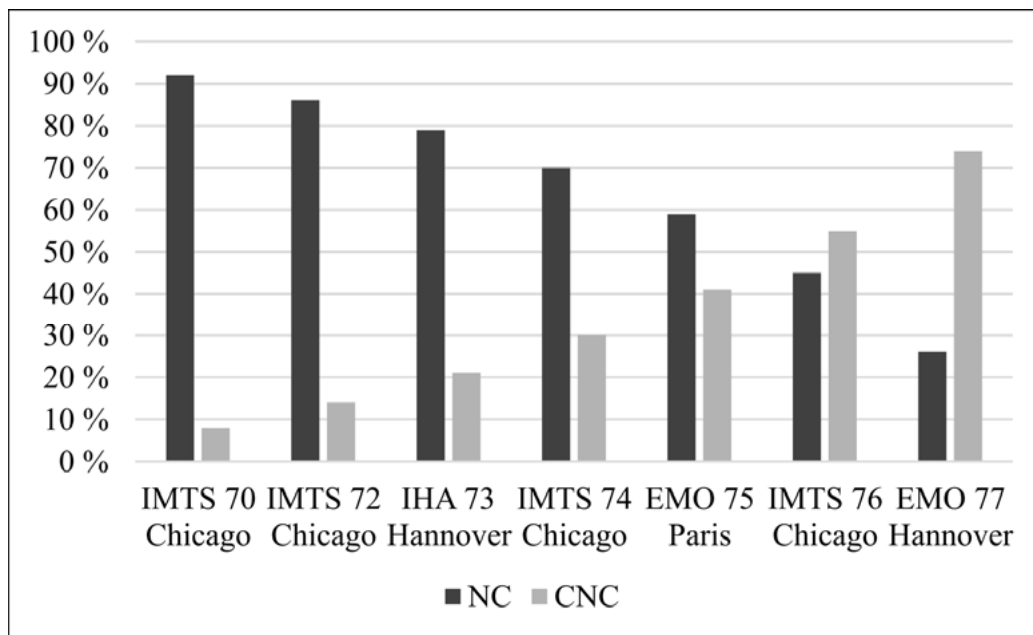


Abbildung 43: Anteil CNC-Maschinen auf Werkzeugmaschinenausstellungen¹⁰⁰⁶

Die Entwicklung der NC-Technik im Untersuchungszeitraum muss auch im Zusammenhang mit dem westdeutschen Innovationssystem und seiner speziellen Ausprägung dem produktionstechnischen Innovationssystem gesehen werden. Anfangs war der Einfluss des Innovationssystems eher gering, nicht zuletzt, weil bis weit in die 1960er Jahre die Mehrheit der im VDW organisierten Werkzeugmaschinenhersteller von der NC-Technik nicht überzeugt war, und der VDW in die NC-Entwicklung deshalb nicht koordinierend eingriff. Die Folge war, dass die ersten NC-Maschinen in enger Zusammenarbeit zwischen Steuerungs- und Werkzeugmaschinenherstellern entwickelt wurden, die Schnittstellen und die Programmierung der NC-Steuerungen aber nicht kompatibel waren. Der VDI versuchte zwar mit dem Unterausschuss „Informationstechnik“ dieses Problem zu verringern und erste „Normen“ für die NC-Technik zu definieren. Dies gelang in der Anfangszeit aber nur bedingt, weil die Unterstützung des VDW fehlte. Erst Mitte der 1960er Jahre setzte beim VDW langsam ein Umdenken ein, was sich zuerst in einer engeren Zusammenarbeit mit den Hochschulen über die HGF zeigte. Unterstützt wurde sie durch den gleichzeitig stattfindenden Ausbau der Hochschulen, zu dem auch Neubesetzungen und Neugründungen von Lehrstühlen mit Bezug zur NC-Technik in Berlin und Stuttgart gehörten. Lehrstuhlinhaber wurden mit den Professoren Simon und Spur in Berlin und Professor Stute in Stuttgart Verfechter der NC-Technik. Wie das Aachener WZL konnten sie umfangreiche staatliche und in-

¹⁰⁰⁶ Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Spur (1979), Bild 159, S. 253.

dustrielle Drittmittel für ihre Forschungen akquirieren. Dabei half ihnen der Ausbau der staatlichen Forschungsförderung in den 1960er Jahren, vor allem aber in den 1970er Jahren. Deren Ziel war, den technologischen Rückstand vor allem gegenüber den USA abzubauen. Die produktionstechnische Grundlagenforschung wurde hauptsächlich über die DFG gefördert, die ab Ende der 1960er Jahre auch Sonderforschungsbereiche zur NC-Technik finanzierte, in denen mehrere Institute zusammenarbeiteten.

Weitere Forschungsgelder erhielten die Institute aus Projekten mit Industriebeteiligung. Die ersten Projekte waren fast ausschließlich bilateral, d. h. zwischen den Instituten und der Industrie bzw. industriefinanzierten Vereinen wie dem VDW. Ab Anfang der 1970er Jahre kamen staatlich geförderte, anwendungsnahe Projekte mit Industriebeteiligung dazu. Eines der ersten war das vom Projektträger des KFK (heute PTKA) getragene PDV-Projekt zur Entwicklung von mit Prozessrechnern gesteuerten industriellen Anwendungen. Aus dem Werkzeugmaschinenumfeld wurden Projekte zu flexiblen Fertigungssystemen, zu Konzepten zur Werkstattprogrammierung und zu einem Mehrprozessorsteuerungssystem (MPST) als Alternative zu den am Markt angebotenen NC-Steuerungen unterstützt. Die Finanzierung der ersten Projekte mit Industriebeteiligung war anfangs meistens rein staatlich; später betrug die Förderung oft nur noch 50%, d. h. die Industrie musste einen großen Eigenanteil tragen. Das sollte den Anreiz erhöhen, die Forschungsergebnisse in Produkte umzusetzen.

Die oben genannten Institute publizierten ihre Forschungsergebnisse über Fachzeitschriften und Kolloquien und transferierten sie über ihre Netzwerke in die Industrie. In ihren Publikationen wiesen sie auch geschickt auf Forschungsdesiderate hin, um Folgeprojekte zu generieren. Diese Strategie war erfolgreich, was sich am starken personellen Ausbau der Institute zeigte. Da die Einstellungsmöglichkeiten innerhalb der Hochschulen beschränkt waren, wurde ein Teil der Arbeiten an mit den Instituten verflochtene Fraunhoferinstitute oder Forschungsgesellschaften ausgelagert.

Der Personalaufbau der Institute erhöhte ab Anfang der 1970er Jahre stark die Zahl der produktionstechnischen Promotionen mit NC-Bezug. Viele Doktoranden wechselten nach ihrem Abschluss zu Werkzeugmaschinenherstellern oder Endanwendern, oft sogar direkt in leitende Positionen. Mit ihrem Wissen und ihren Kontakten trieben sie ihrer neuen Position die Einführung der NC-Technik voran und holten sich bei Problemen oft Unterstützung aus ihren ursprünglichen Instituten. Zwischen Industrie, Hochschulinstituten und Projektträgern entstand so ein Netzwerk, das einen großen Einfluss auf die Weiterentwicklung der NC-Technik hatte. Dieses heute noch existierende Netzwerk war der Kern des produktionstechnischen Innovationssystems, zu dem noch weitere Akteure wie z. B. der VDW, der VDI und die IG Metall gehörten.

Zusammengefasst war die westdeutsche NC-Einführung ein komplexer Prozess mit vielen Beteiligten. In diesem spielte das produktionstechnische Innovationssystem eine wichtige Rolle, denn es unterstützte – auch mit staatlicher Förderung – die Zusammenarbeit der institutionellen und individuellen Akteure. Durch die teilweise enge Verflechtung zwischen staatlichen Forschungseinrichtungen und privaten Unternehmen entstanden Forschungs- und Entwicklungskooperationen, die anwendungsrelevante Entwicklungsergebnisse erzielten. Diese wurden in die industrielle Fertigung übertragen und führten wieder zu weiterführenden Anforderungen an Maschinen und deren Schnittstellen. Durch den Technologietransfer zwischen Werkzeugmaschinenherstellern, Steuerungsherstellern und Forschungseinrichtungen, der engen Zusammenarbeit mit Endanwendern und der Bereitschaft zu Innovationen entstanden so immer fertigungsgerechtere Maschinen- und Lösungskonzepte.¹⁰⁰⁷ Das Ergebnis dieser Zusammenarbeit war, dass bis zum Ende des Untersuchungszeitraums die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie ihren ursprünglichen Rückstand bei der NC-Technik gegenüber ihren Mitbewerbern aus den USA aufholte und ab 1980 wie Japan deutlich höhere Umsätze als ihre US-Mitbewerber auf dem Weltmarkt erzielte.

¹⁰⁰⁷ Thomas P. Hughes prägte 1986 für eine eng verflochtene Zusammenarbeit mehrerer Partner den Begriff des „seamless web“. Vgl. Hughes (1986).

5 Einführung der NC-Technik bei ausgewählten baden-württembergischen Werkzeugmaschinenherstellern

Wie schon erwähnt, zögerten wegen der hohen Entwicklungskosten und den damit verbundenen Risiken viele Werkzeugmaschinenhersteller mit der Entwicklung von NC-Maschinen. Manche hielten die NC-Technik auch für eine Modeerscheinung, die wieder verschwinden würde. Trotzdem setzten nach und nach immer mehr Firmen auf die NC-Technik, mussten aber bei der Einführung mit vielen Schwierigkeiten kämpfen. In diesem Kapitel sollen die damit verbundenen Probleme beispielhaft an fünf Werkzeugmaschinenherstellern aus Baden-Württemberg aufgezeigt werden.

Baden-Württemberg hatte 1960 einen Anteil von ungefähr 38 % an der westdeutschen Werkzeugmaschinenproduktion.¹⁰⁰⁸ Daher gab es in Baden-Württemberg für die Untersuchung prinzipiell genügend Werkzeugmaschinenhersteller, auch wenn in diesem Bundesland die Hersteller von Großmaschinen bis heute nur schwach vertreten sind.¹⁰⁰⁹ Diese sind historisch bedingt vor allem in Regionen mit Schwerindustrie und Bergbau wie dem Ruhrgebiet zu finden.

In der zweiten Hälfte der 1960er Jahre hatte die Bedeutung von NC-Maschinen schon deutlich zugenommen. So wurden bereits 1967 auf der 10. Europäischen Werkzeugmaschinenexposition EWA in Hannover etwa 150 NC-Maschinen ausgestellt. Das waren etwa doppelt so viele wie auf der achten EWA 1963 in Mailand, die eine vergleichbare Größe hatte.¹⁰¹⁰ Von den ausgestellten 150 NC-Maschinen kamen ungefähr 20 von 16 Werkzeugmaschinenherstellern aus Baden-Württemberg.¹⁰¹¹

Aus diesen 16 Werkzeugmaschinenherstellern wurden diejenigen herausgefiltert, die prinzipiell für eine nähere Untersuchung infrage kamen. Für die Auswahl wurden die folgenden zwei Kriterien angewendet:

- Die Werkzeugmaschinenhersteller sollten mit wichtigen technologischen Impulsen zur Weiterentwicklung der NC-Technik beigetragen haben.

¹⁰⁰⁸ Vgl. Schwab (1996), S. 7. Die Mehrzahl der baden-württembergischen Werkzeugmaschinenhersteller war und ist im württembergischen Landesteil angesiedelt.

¹⁰⁰⁹ Gemeint sind hiermit Großmaschinenhersteller wie z. B. Schiess, Dörries, Droop & Rein, die in Nordrhein-Westfalen ihren Sitz hatten.

¹⁰¹⁰ Vgl. Eckstein u. a. (1967), S. 918.

¹⁰¹¹ Vgl. Eckstein u. a. (1967), S. 918–932. Die 20 NC-Maschinen sind geschätzt, da in der Veröffentlichung nicht alle Maschinen genannt wurden und einige Hersteller wie z. B. Heller mehrere Maschinen ausstellten. Als baden-württembergische Aussteller von NC-Maschinen wurden die folgenden Firmen erwähnt: Burkhardt, Pfullingen; Burkhardt & Weber, Reutlingen; Gebr. Boehringer, Göppingen; Fritz Düsseldorf, Freiburg; Gebr. Heinemann, St. Georgen; Gebr. Heller, Nürtingen; Karl Hüller, Ludwigsburg; IWK-Schaerer, Karlsruhe; Ludwigsburger Maschinenbau (Burr), Ludwigsburg; Mauser Werke, Oberndorf; Otto Müller, Plochingen; Ernst Pfau, Leonberg; Eugen Weisser, Heilbronn; J. G. Weisser Söhne, St. Georgen; J. Wörner, Schwenningen; Trumpf, Stuttgart.

- Die Entwicklung der Werkzeugmaschinenhersteller sollte ausreichend durch Veröffentlichungen, Archivmaterial und/oder Oral History nachvollziehbar sein. Dies impliziert, dass die Werkzeugmaschinenhersteller auch nach dem Untersuchungszeitraum noch lange am Markt aktiv waren, da Insolvenzen bzw. Übernahmen fast immer mit großen Verlusten an Archivmaterial einhergingen.

Die Anwendung dieser Kriterien auf die im Messebericht von 1967 genannten Firmen ergab, dass auch bei großzügiger Auslegung der Kriterien überraschend wenige Firmen für eine nähere Untersuchung infrage kamen. Es handelte sich um:

- Burkhardt & Weber, Reutlingen; Hersteller von Bearbeitungszentren
- Gebr. Boehringer, Göppingen; Hersteller von Drehmaschinen und Hobelmaschinen
- Gebr. Heller, Nürtingen; Hersteller von Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren
- J. G. Weisser Söhne, St. Georgen; Hersteller von Drehmaschinen
- Trumpf, Stuttgart; Hersteller von Blechbearbeitungsmaschinen

Weitere Recherchen und Überlegungen ergaben, dass es sinnvoll ist, statt des Drehmaschinenherstellers J. G. Weisser Söhne den Ludwigsburger Maschinenbau (Burr) zu untersuchen, obwohl Burr 1975 Insolvenz anmelden musste. Der Grund lag in der engen Zusammenarbeit von Burr mit dem Endanwender Heidelberger Druckmaschinen (vgl. Kapitel 6.1), aus der bei Burr als zweites Standbein die Herstellung von innovativen Bearbeitungszentren für mittlere Stückzahlen entstand.

Im Folgenden werden die fünf ausgewählten Werkzeugmaschinenhersteller in alphabetischer Reihenfolge kurz vorgestellt und die Auswahl begründet.

Die Gebr. Boehringer GmbH Maschinenfabrik GmbH in Göppingen (im Folgenden Boehringer genannt) wurde 1844 gegründet und war einer der ältesten und traditionsreichsten württembergischen Werkzeugmaschinenhersteller.

Auch heute werden noch Drehmaschinen unter dem Namen VDF Boehringer verkauft. Sie werden aber nicht mehr in Göppingen produziert, sondern von der FFG¹⁰¹² Werke GmbH, die mehrere Produktionsstandorte in der Bundesrepublik Deutschland unterhält, aber nicht veröffentlicht, wo sie ihre Maschinen fertigt.¹⁰¹³

Ausgewählt wurde Boehringer, weil das Unternehmen 1964 die erste baden-württembergische NC-Drehmaschine V800 vorstellte und bei der Entwicklung seiner NC-Maschinen über viele Jahre mit den Hochschulen in Aachen, Berlin und Stuttgart eng zusammenarbeitete (vgl. Kapitel 5.1). Außerdem konnte mit Werner Boehringer, der im Untersuchungszeitraum mehrere Jahre Geschäftsführer war, ein ausführliches Interview geführt werden,¹⁰¹⁴ das die schriftlichen Quellen ergänzte. Werner Boehringer

¹⁰¹² Fair Friend Group.

¹⁰¹³ Woletz (2016).

¹⁰¹⁴ Boehringer/Böhringer (05.02.2015).

ger ermöglichte auch den Zugang zu „grauem Archivmaterial“, das noch im Keller des alten Fabrikgebäudes lagerte, und zu Dokumenten aus seinen eigenen Beständen. Zusätzlich vermittelte Werner Boehringer Kontakte zu ehemaligen Mitarbeitern, mit denen dann teilweise auch noch Interviews geführt wurden.¹⁰¹⁵ Zusammen mit den Fachveröffentlichungen von und über Boehringer stand somit für die Untersuchung ausreichend Quellenmaterial zur Verfügung.

Als zweite Firma wurde die heutige Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH in Reutlingen (im Folgenden BW genannt, vgl. Kapitel 5.2) ausgewählt. Sie geht auf die Burkhardt & Weber KG zurück. Diese wurde 1888 gegründet und fertigte seit 1928 Sondermaschinen. BW kam eher zufällig durch einen Auftrag des amerikanischen Konzerns Hughes-Aircraft zur NC-Technik. 1959 stellte BW mit der MT 3 eines der weltweit ersten Bearbeitungszentren vor und ist heute einer der noch aktiven Pioniere der NC-Technik in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Wahl fiel auf BW, weil sich aus einem US-Auftrag einer der wichtigsten westdeutschen Anbieter von hochgenauen Bearbeitungszentren im Untersuchungszeitraum entwickelte, der heute noch am Markt ist.

Bei BW konnte kein Archivmaterial eingesehen werden. Die Untersuchung erfolgte deshalb anhand publizierter Quellen, die von BW recht zahlreich sind. Zur Hintergrundinformation wurde mit Rainer Goebel ein Interview geführt. Rainer Goebel ist der Sohn von Hellmut Goebel, dem langjährigen Geschäftsführer im Untersuchungszeitraum. Rainer Goebel war im Untersuchungszeitraum zeitweise selbst bei BW tätig.¹⁰¹⁶

Der 1894 gegründete Nürtinger Werkzeugmaschinenhersteller Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH (im Folgenden Heller genannt) hat wie BW eine lange Tradition (vgl. Kapitel 5.3). Im Laufe der Jahre hatte Heller viele unterschiedliche Maschinen entwickelt und stellte 1959 mit der Revolverbohrmaschine SBR 32 eine der ersten westdeutschen NC-Maschinen vor. Die Steuerung war eine Eigenentwicklung. Heller ist heute noch ein sehr erfolgreicher Hersteller von Bearbeitungszentren und Sondermaschinen. Heller wurde für die nähere Untersuchung ausgewählt, da Heller wie BW ein Pionier der westdeutschen NC-Technik war. Außerdem arbeitete Heller von Anfang an bei der Entwicklung der ersten Normen für NC-Steuerungen mit und hatte dadurch einen nennenswerten Einfluss auf die westdeutsche NC-Entwicklung.

Auch bei Heller konnte Archivmaterial eingesehen werden, jedoch nicht so viel wie bei Boehringer. Im Gegensatz zu Boehringer konnte nur mit einem ehemaligen Mitarbeiter ein kurzes Telefoninterview geführt werden. Da die Mitarbeiter von Heller im

¹⁰¹⁵ Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), Felten (30.03.2015) und Meißner (27.04.2015).

¹⁰¹⁶ Goebel (13.02.2016).

Untersuchungszeitraum aber viel in Fachzeitschriften veröffentlichten, waren die Quellen insgesamt ausreichend.

Die Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (Burr) wurde 1949 von ehemaligen Mitarbeitern der Vogtländischen Maschinenbau AG (Vomag) als Sondermaschinenhersteller gegründet, war also eine relativ junge Firma (vgl. Kapitel 5.4).

Aus der Entwicklung von Sondermaschinen für die Heidelberger Druckmaschinen AG (Heidelberger) entstanden NC-Bearbeitungszentren für kubische Teile, die ab 1967 auf dem Markt angeboten wurden. Da die Burr-Bearbeitungszentren technisch innovativ waren, wurde Burr innerhalb kurzer Zeit ein renommierter Anbieter von Bearbeitungszentren und erweiterte sein Programm auch früh auf flexible Fertigungssysteme. Wegen Problemen bei den Sondermaschinen musste Burr 1976 Insolvenz anmelden.

Burr wurde ausgewählt, weil durch die Zusammenarbeit mit seinem großen Endkunden Heidelberg Burr auch ein Anbieter von Bearbeitungszentren wurde. Dabei richtet sich das Interesse besonders darauf, wie aus der Zusammenarbeit mit Heidelberg die Burr-Bearbeitungszentren entstanden.

Wegen der Insolvenz gibt es von Burr nur publizierte Quellen, die wegen der von Heidelberg geforderten Geheimhaltung lange nicht so umfangreich sind wie bei Heller. Sie konnten jedoch durch sehr ausführliche Gespräche mit dem ehemaligen Konstruktionsleiter der NC-Maschinen¹⁰¹⁷ und einem ehemaligen Mitarbeiter¹⁰¹⁸ ergänzt werden. Auch den bei Heidelberg eingesehenen Unterlagen konnten einige Informationen entnommen werden. In Summe stand zu Burr ausreichend Quellenmaterial zur Verfügung.

Die fünfte untersuchte Firma, die heutige Trumpf GmbH + Co. KG (Trumpf) wurde 1923 durch Christian Trumpf gegründet und bot ab 1934 handgeführte Maschinen zur Blechbearbeitung an. 1968 stellt Trumpf mit der TRUMATIC TC20 seine erste Blechbearbeitungsmaschine mit einer NC-Bahnsteuerung vor (vgl. Kapitel 5.5). Die Auswahl fiel auf Trumpf, weil kein anderer westdeutscher Werkzeugmaschinenhersteller so stark durch die NC-Technik geprägt wurde. Im Rückblick war die Vorstellung der TRUMATIC TC20 (1967) Ausgangspunkt einer Entwicklung, die Trumpf zu einem der weltweit größten Werkzeugmaschinenhersteller gemacht hat.¹⁰¹⁹ Dabei war von besonderem Interesse, warum Trumpf von der NC-Technik deutlich stärker profitierte

¹⁰¹⁷ Geiger (24.11.2016).

¹⁰¹⁸ Stolz (19.11.2014).

¹⁰¹⁹ Berthold Leibinger schilderte dies anlässlich der Verleihung des Werner-von-Siemens-Rings am 13. Dezember 2006 wie folgt: „Zwei der wichtigsten Erfindungen der letzten 50 Jahre - richtiger würde man vielleicht sagen: zwei der wichtigsten technischen Realisierungen - die numerische Steuerung und der Laser - passen ideal in unser Arbeitsgebiet. Diese Chancen haben wir genutzt. [...] Als ich bei TRUMPF begann, waren wir in der Rangliste der 400 größten Werkzeugmaschinenunternehmen auf der Welt nicht vertreten. Heute sind wir Nummer zwei auf der Welt, knapp hinter einem Japaner.“ Leibinger (2007), S. 40.

als fast alle anderen Werkzeugmaschinenhersteller, was allerdings erst nach dem Untersuchungszeitraum deutlich sichtbar wurde.

Auch bei der Untersuchung von Trumpf wurde im Wesentlichen auf publizierte Quellen zurückgegriffen, darunter auch Bücher des ehemaligen Firmeninhabers Leibinger, der darin die Entwicklung aus seiner subjektiven Erinnerung schildert.¹⁰²⁰ Dabei musste berücksichtigt werden, dass Autobiografien eine der Oral History vergleichbare Problematik innewohnt, sodass diese Quellen nur mit Bedacht genutzt werden können. Eine weitere wichtige Quelle war die vom Wirtschaftshistoriker Streb Ende 2018 veröffentlichte Unternehmensgeschichte von Trumpf, mit der die eine oder andere Aussage aus der Autobiografie von Leibinger abgeglichen werden konnte.¹⁰²¹ Zu ergänzen ist noch, dass der Verfasser ab Ende 1978 bis Ende 2011, also fast ausschließlich außerhalb des Untersuchungszeitraums, phasenweise intensive berufliche Kontakte zu Trumpf hatte und das Trumpf-Archiv auf Nachfrage Bilder und alte Maschinenprospekte zur Verfügung stellte. Auch für die Untersuchung von Trumpf stand also ausreichend Quellenmaterial zur Verfügung.

5.1 Gebr. Boehringer GmbH in Göppingen

Boehringer wurde 1844 als kleine Reparaturwerkstatt mit zwei Mitarbeitern gegründet. 1850 wurden erste Spinnerei- und Färbereimaschinen, Obstpressen und andere Maschinen hergestellt. Die erste Drehbank baute Boehringer 1876. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatte Boehringer schon 300 Mitarbeiter und spezialisierte sich auf die Fertigung von Werkzeugmaschinen wie Drehbänke und Hobelmaschinen. Wie viele andere Firmen musste Boehringer während des Ersten Weltkriegs seine Produktion anpassen und stellte auch Maschinen für die Munitionsfertigung her.¹⁰²²

1927 war Boehringer eines von vier Gründungsmitgliedern der Vereinigten Drehbank-Fabriken (VDF). Ziel der VDF war es, die Produktvielfalt der von ihnen angebotenen Drehmaschinen durch die Entwicklung einer Einheitsdrehbank auf neun Baugrößen (Spitzenhöhen) zu reduzieren und die Produktion auf die vier Firmen über eine Quotenregelung zu verteilen. Vermarktet wurde die Neuausrichtung der vier Firmen durch

¹⁰²⁰ Leibinger (2010). Außerdem veröffentlichte Leibinger 2014 seine Dissertation, in der er die Entwicklung der Werkzeugmaschinenindustrie in den USA, der Bundesrepublik Deutschland und Japan verglich und dabei auch immer wieder auf seine eigene Firma einging. Leibinger (2014).

¹⁰²¹ Streb (2018). Bei der von Streb verfassten Unternehmensgeschichte von Trumpf soll es sich um eine Auftragsarbeit handeln, bei der dem Autor keine Vorgaben gemacht wurden.

¹⁰²² Der Überblick über die Firmengeschichte ist eine Zusammenfassung aus einem Foliensatz zur Geschichte von Boehringer aus den Jahren 2002/2003, der für Kundenpräsentationen zusammengestellt wurde. Eine Kopie befindet sich im Privatarchiv des Verfassers. Privatarchiv Thomas Wissert, Boehringer 1; Gebr. Boehringer GmbH (2002/2003). Auch Astrid Gehrig hat in ihrer Dissertation „Nationalsozialistische Rüstungspolitik und unternehmerischer Entscheidungsspielraum“ viele Fakten zur Geschichte von Boehringer zusammengestellt. Diese stehen nicht im Widerspruch zum obigen Foliensatz. Vgl. Gehrig (1996), S. 27–33.

gemeinsame Messeauftritte und Werbung.¹⁰²³ Die Markteinführung der VDF-Drehmaschinen erfolgte zügig. Schon auf der Leipziger Frühjahrsmesse von 1929 wurde die VDF-Einheitsdrehbank in verschiedenen Größen vorgestellt. Das Konzept kam gut an; die VDF-Gruppe erhielt auf der Messe zahlreiche Bestellungen.¹⁰²⁴

Vor und während des Zweiten Weltkriegs war Boehringer wie andere deutsche Werkzeugmaschinenfabriken in die Kriegswirtschaft eingebunden; die Maschinen wurden in der Rüstungsindustrie zur Kapazitätserhöhung benötigt.¹⁰²⁵ Die Zahl der Beschäftigten lag von 1942 bis Ende Februar 1945 über 2100.¹⁰²⁶

Am 20. April 1945 musste Boehringer auf Druck der amerikanischen Besatzung den Betrieb schließen, durfte ihn aber schon am 10. Mai mit dann nur noch 310 Mitarbeitern wieder öffnen. Besonders hart war für Boehringer das im November 1945 von der amerikanischen Militärregierung erlassene Verbot, Werkzeugmaschinen herzustellen,¹⁰²⁷ das mit dem ersten Industrieplan zusammenhing (vgl. Kapitel 4.2). Anfangs war sogar geplant, das Werk von Boehringer komplett zu demontieren, was durch das große Engagement von Göppinger Politikern verhindert wurde.¹⁰²⁸ Um trotz des Produktionsverbots für Werkzeugmaschinen möglichst viele Mitarbeiter weiter beschäftigen zu können, produzierte Boehringer andere Produkte. Dazu gehörte ab 1948 die Produktion des geländegängigen Kleinlastwagens Unimog, die aber schon 1950 an Daimler-Benz verkauft wurde.¹⁰²⁹ Ein weiteres neues Produkt waren Cottonmaschinen zur Herstellung von Damenstrümpfen. Die erste Maschine wurde 1948 ausgeliefert.

¹⁰²³ Vgl. Haederle (ca. 1938), S. 4–6. Die Gründungsfirmen waren die Gebr. Boehringer G.m.b.H. in Göppingen, die Franz Braun A.-G. in Zerst, Heidenreich & Harbeck in Hamburg und die H. Wohlenberg Komm.-Ges. in Hannover.

¹⁰²⁴ Vgl. Haederle (ca. 1938), S. 14.

¹⁰²⁵ Vgl. Gehrig (1996), S. 88–97.

¹⁰²⁶ 1933 lag die Mitarbeiterzahl noch bei 350. Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Boehringer 1; Gebr. Boehringer GmbH (2002/2003), gez. Folie 7. Die Einbindung von Boehringer in die Rüstungsindustrie des „Dritten Reiches“ bzw. in die Kriegswirtschaft hat Astrid Gehrig im Vergleich mit drei anderen mittelständischen Unternehmen in Baden-Württemberg untersucht. Gehrig (1996). Gehrig ermittelte allerdings eine geringere Beschäftigtenanzahl. In Tabelle 8 datiert sie den Höchststand der Mitarbeiter auf das Jahr 1943 und nennt 1651 Beschäftigte, einschließlich von 415 „Fremdarbeitern“ (Zwangsarbeitern) und 108 Kriegsgefangenen (vgl. Gehrig (1996), S. 189). Die Abweichung könnte daraus resultieren, dass Gehrig die Beschäftigtenzahl von 1651 einschließlich der Zwangsarbeiter und Kriegsgefangenen interpretierte, Boehringer diese aber zu den 1651 Beschäftigten hinzuzählte. Der höchste Umsatz wurde 1944 mit 26,2 Mio. RM (Reichsmark) erzielt (vgl. Gehrig (1996), S. 51).

¹⁰²⁷ Vgl. Gehrig (1996), S. 317. Gehrig bezog sich auf Archivmaterial des WABW, B10, Bü 23.

¹⁰²⁸ Vgl. Gehrig (1996), S. 318. Boehringer wurde 1948 von der Demontageliste gestrichen. Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Boehringer 1; Gebr. Boehringer GmbH (2002/2003), gez. Folie 9.

¹⁰²⁹ 1947 gab es erste Kontakte zur Übernahme der Unimog-Produktion von Erhard & Söhne in Schwäbisch-Gmünd durch Boehringer. Die ersten Unimogs wurden im Sommer 1948 bei Boehringer produziert. Insgesamt baute Boehringer in Göppingen 600 Unimogs bis zum Frühjahr 1951. Dann übernahm Daimler-Benz die Produktion. Daimler-Benz war schon im September 1950 in das Unimog-Geschäft eingestiegen. Vgl. Vogler (2020), S. 24–25.

Die Cottonmaschinen blieben bis 1959 im Programm, bis sie wegen des Vormarschs der Nylonstrümpfe 1959 unverkäuflich wurden.¹⁰³⁰

Entscheidend für Boehringer war 1949 die Aufhebung des Produktionsverbots für Werkzeugmaschinen. Boehringer konnte wieder an die VDF-Tradition der Einheitsdrehbank anknüpfen und entwickelte sie ab 1955 im VDF weiter.¹⁰³¹ Nach dem Zweiten Weltkrieg hatte der VDF allerdings nur noch drei Mitgliedsfirmen, da die ehemalige Franz Braun AG in der DDR lag. Ende 1950 hatte Boehringer 1840 Mitarbeiter,¹⁰³² mehr als im Zweiten Weltkrieg ohne Berücksichtigung der Zwangsarbeiter, was auf eine sehr gute Auftragslage schließen lässt.

Boehringer blieb bis 1972 in Familienbesitz und wurde dann bis 1978 in drei Tranchen an das Schweizer Rüstungsunternehmen Oerlikon verkauft.¹⁰³³ Trotz des Verkaufs blieb Werner Boehringer aus der Gründerfamilie noch bis Ende 1980 Geschäftsführer.¹⁰³⁴ 1981 wurde der Name in Oerlikon-Boehringer geändert.¹⁰³⁵ 1987 mit der Übernahme durch IWKA änderte sich der Name in Boehringer Werkzeugmaschinen GmbH.¹⁰³⁶ Bis heute gab es noch mehrere Eigentümerwechsel.¹⁰³⁷ Separate Geschäftszahlen gibt es von Boehringer nicht mehr.

1961 wurde Hans-Günther Rohs Assistent des Konstruktionsleiters Schuler. Vor seiner Tätigkeit bei Boehringer war Rohs sieben Jahre lang wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Opitz am WZL in Aachen, wo er sich 1960 habilitierte.¹⁰³⁸ Bevor er seine Stelle bei Boehringer antrat, reiste Rohs noch neun Monate durch die USA. Dabei besuchte er zwanzig Werkzeugmaschinenhersteller und Hochschulinstitute, um sich u. a. über den aktuellen Stand der NC-Technik in den USA zu informieren.¹⁰³⁹

Schon bald nach seinem Wechsel versuchte Rohs, Boehringer auf die NC-Technik vorzubereiten. Als erster Schritt wurde spätestens Anfang 1962 firmenintern die Arbeits-

¹⁰³⁰ Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Boehringer 1; Gebr. Boehringer GmbH (2002/2003), gez. Folie 8 und 10. Gehrig nannte mit Bezug auf Archivbestände des WABW als Ersatzprodukte neben den Cottonmaschinen noch Prothesengelenke und Pressen für Zahngebisse und Schuhe. Vgl. Gehrig (1996), S. 319.

¹⁰³¹ Privataarchiv Thomas Wissert, Boehringer 1; Gebr. Boehringer GmbH (2002/2003), gez. Folie 9 und 10.

¹⁰³² Vgl. Gehrig (1996), S. 319.

¹⁰³³ Der vertraglich vereinbarte Anteil von Oerlikon an Boehringer war: 1972: 24 %; 1974: 49 %; 1978: 100 %. Der Grund für den schrittweisen Verkauf war, dass einige der vierzehn Gesellschafter höhere Ausschüttungen wollte, was mit dem höheren Kapitalbedarf durch die NC-Einführung nicht vereinbar war. Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 12–13.

¹⁰³⁴ Nachfolger von Werner Boehringer als Geschäftsführer der Gebr. Boehringer wurde Anfang 1981 Peter Jürgen Kreher. Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 15.

¹⁰³⁵ „Als ganz wesentliche Änderung ist die Umfirmierung unseres Hauses in Oerlikon-Boehringer GmbH zu nennen.“ Kreher (1981).

¹⁰³⁶ Vgl. Zoller (1987).

¹⁰³⁷ Boehringer gehört mittlerweile zum MAG-Konzern, der ein Teil der taiwanesischen Fair Friend Group (FFG) ist. Vgl. Woletz (2016).

¹⁰³⁸ Rohs (1960).

¹⁰³⁹ Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 3 und 12.

gemeinschaft „Numerische Steuerung“ gegründet. Mit ihr sollten die Mitarbeiter langsam an die „Numerische Steuerung“ und die damit verbundenen Anpassungen der Maschine herangeführt werden. Rohs stellte dafür ein 30-seitiges Informationspapier „Numerische Steuerung“ zusammen, das viel Bildmaterial vom WZL enthielt.¹⁰⁴⁰

Mit der Entwicklung einer NC-Maschine dauerte es noch bis 1963. Die V800 NC wurde auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover 1964 vorgestellt.¹⁰⁴¹ Der Prototyp war mit einer Relais-Streckensteuerung von Heller ausgerüstet, da nach der Erinnerung von Rohs Heller Mitglied der ERFA-Gruppe¹⁰⁴² war und kein westdeutscher Hersteller eine geeignetere Steuerung anbot.¹⁰⁴³ Leider war die Maschine nicht erfolgreich, da die Heller-Streckensteuerung für eine Drehmaschine ungeeignet war. Es blieb beim Prototyp, der später beim Endkunden mit einer Bahnsteuerung nachgerüstet wurde.¹⁰⁴⁴

Zwei Jahre später präsentierten die VDF-Firmen auf der „Ersten Weltausstellung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen“ (Olympia-Messe) im Mai 1966 in London auf einem gemeinsamen Stand ihre ersten NC-Maschinen. Vier NC-Maschinen wurden ausgestellt: Zwei von Boehringer und je eine von Heidenreich & Harbeck und von Wohlenberg.¹⁰⁴⁵

Spätestens um 1966 war die Geschäftsleitung von Boehringer überzeugt, dass der NC-Technik die Zukunft gehört, was aus der Mitarbeiterkommunikation deutlich wird. In der Mitarbeiterzeitschrift „Boehringer Werk“ erschien neben einem ausführlichen Bericht über die Olympia-Messe eine Artikelserie über drei Hefte, die allgemeinverständlich die NC-Technologie erklärte.¹⁰⁴⁶

Ein weiteres Indiz war, dass Boehringer wie der Mitbewerber Pittler¹⁰⁴⁷ erkannte, dass eine vom Endanwender leicht erlernbare, auf die angebotenen NC-Maschinen abge-

¹⁰⁴⁰ Privataarchiv Thomas Wissert, Boehringer 2; Gebr. Boehringer GmbH (1962).

¹⁰⁴¹ Vgl. Matthée (1964), S. 614.

¹⁰⁴² Die ERFA-Gruppe war eine Erfahrungsaustauschgruppe von nicht direkt konkurrierenden Werkzeugmaschinenherstellern. Mitglieder waren in den 1960er Jahren die VDF-Firmen Boehringer, Wohlenberg, Heidenreich & Harbeck. Weitere Firmen waren Heller, Fortuna und Index. Ein Mitglied ist unklar. Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 19. Nach Gehrig wurde die ERFA 1928 von den VDW-Mitgliedsfirmen gegründet. Erste Mitglieder waren Boehringer, die Fortuna-Werke, Collet & Engelhardt, die Maschinenfabrik Weingarten und die Wanderer-Werke AG. Gehrig nannte als Quelle das WABW, B10, Bü 349. Vgl. Gehrig (1996), S. 24.

¹⁰⁴³ Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 4.

¹⁰⁴⁴ Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 18.

¹⁰⁴⁵ Die vier VDF-Maschinen waren mit der Streckensteuerung AEG 152 (M 1000 NC Wohlenberg) und den Bahnsteuerungen AEG 311 (V 800 Boehringer), GE 100S (V 630 NC Heidenreich & Harbeck) und Sinumerik BO (P 500 NC Boehringer) ausgerüstet. Vgl. Schneiberg (1966), S. 10–12.

¹⁰⁴⁶ Die Artikel schrieb Rohs. Der erste Artikel (Rohs (1966a)) befasste sich mit der Grundidee einer NC-Maschine und den Vorteilen für den Endanwender. In den Folgeartikeln (Rohs (1966b) und Rohs (1967)) wurde allgemeinverständlich die Funktionsweise einer NC-Steuerung erklärt.

¹⁰⁴⁷ Vgl. Schulz/Eibeck (1964), S. 889–890.

stimmte Programmierung ein wichtiges Verkaufsargument war. Dies führte zur Entwicklung des VDF-Programmierplatzes Autoprogrammer¹⁰⁴⁸, der 1967 auf der 10. EWA¹⁰⁴⁹ in Hannover vorgestellt wurde und auf großes Interesse stieß.¹⁰⁵⁰ Die Software lief auf einem kostengünstigen Kleinrechner und der Autoprogrammer konnte optional mit einem Simulator zur Programmkontrolle erweitert werden. Im Vergleich zur manuellen Programmierung konnten mit dem Autoprogrammer deutliche Zeiteinsparungen erzielt werden (vgl. auch Kapitel 4.13).¹⁰⁵¹

Ein weiteres Indiz war 1967 die Einrichtung der „VDF-NC-Stelle“. Ihre Aufgabe war es, alle NC-Aktivitäten der VDF-Firmen zu koordinieren, Parallelentwicklungen zu vermeiden und ein gemeinsames Konzept für die Programmier- und Serviceschulungen zu erarbeiten.¹⁰⁵² Zwei Jahre später wurde die VDF-NC-Zentrale¹⁰⁵³ in die VDF-NC-Maschinen GmbH umgewandelt. Die Aufgaben der neuen GmbH wurden wie folgt formuliert:

Im Einvernehmen haben die drei VDF-Geschäftsleitungen der neu gegründeten GmbH die Aufgabe gestellt, stufenweise die technische Entwicklung und das Marketing für das VDF-NC-Drehmaschinenprogramm zu übernehmen. Hierzu gehören die Entwicklung der Maschinen einschließlich Werkzeugsystem und Anpasssteuerungen, Entwicklungen auf dem Gebiet der Programmier-Service und die Aufgabenbereiche Verkaufsförderung, Marktforschung, Werbung und Schulung.¹⁰⁵⁴

Die Aufgaben waren anspruchsvoll, wurden aber zum größten Teil erreicht, wie dem Jahresbericht für 1969 zu entnehmen ist.¹⁰⁵⁵ Trotzdem wurde die Gesellschaft schon nach zwei Jahren liquidiert.¹⁰⁵⁶ Auslöser war 1970 der teilweise Verkauf von Heidenreich & Harbeck an Gildemeister,¹⁰⁵⁷ denn durch den Verkauf war Heidenreich & Harbeck plötzlich ein Konkurrent geworden.¹⁰⁵⁸ Die verbliebenen VDF-Firmen Boeh-

¹⁰⁴⁸ Kasischke (1967); die Weiterentwicklungen des VDF-Programmierplatzes bekamen den Namen VDF-Autoprogrammer.

¹⁰⁴⁹ Europäische Werkzeugmaschinenausstellung.

¹⁰⁵⁰ Vgl. Rohs/Keck (1967), S. 8.

¹⁰⁵¹ In einer seiner ersten Veröffentlichungen verglich Kasischke die Programmierzeiten des 1967 noch „VDF-Programmierplatz“ genannten Autoprogrammers mit der manuellen Programmierung für ein Musterteil. Wird die manuelle Programmierzeit mit 100 % angesetzt, so sinkt sie mit dem VDF-Programmierplatz auf 56 % und mit dem optionalen Simulator sogar auf 29 % ab. Vgl. Kasischke (1967), S. 531.

¹⁰⁵² Aufgabenaufteilung vgl. Privataarchiv Werner Boehringer, VDF (1967–1971), S. 26–27.

¹⁰⁵³ Zwischen 1967 und 1969 wurde die VDF-NC-Stelle in VDF-NC-Zentrale umbenannt. Vgl. Schriftfuß Privataarchiv Werner Boehringer, VDF (1967–1971), S. 16.

¹⁰⁵⁴ Privataarchiv Werner Boehringer, VDF (1967–1971), S. 1.

¹⁰⁵⁵ Vgl. Privataarchiv Werner Boehringer, VDF (1967–1971), S. 6–15.

¹⁰⁵⁶ Vgl. Privataarchiv Werner Boehringer, VDF (1967–1971), S. 5.

¹⁰⁵⁷ 1970 wurde Heidenreich & Harbeck teilweise und 1972 vollständig an Gildemeister verkauft. Hansen (Dezember 1976), S. 2.

¹⁰⁵⁸ Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 11–12.

ringer und Wohlenberg wollten dem Mitbewerber Gildemeister über die VDF-NC-Maschinen-GmbH keinen Einblick in ihre Entwicklungen geben.

Obwohl die VDF-NC-Zentrale und später die VDF-NC-GmbH für das Marketing zuständig war, bremste das nicht die Aktivitäten des Chefkonstruktors Rohs zur Förderung der NC-Technik. Von ihm erschienen in den unterschiedlichsten Organen ab Mitte der 1960er Jahre zahlreiche Veröffentlichungen und Vorträge (teilweise auch mit Co-Autoren) über die NC-Technik. Dabei schrieb er über Maschinenkonstruktion, Steuerungstechnik, Programmierung und Wirtschaftlichkeit, um nur einige Themen zu nennen. Zusätzlich hielt er an der RWTH Aachen ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahre Vorlesungen über „Numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen“¹⁰⁵⁹ und bot ab 1973 an der Technischen Akademie in Esslingen Kurse über „Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen“ an.¹⁰⁶⁰

Boehringer arbeitete auch wissenschaftlich mit den Hochschulen zusammen. Von der gemeinsamen Zeit am WZL kannten sich Rohs und Stute, der Leiter des neugegründeten ISW an der TH Stuttgart (vgl. Kapitel 4.9.4).¹⁰⁶¹ Durch den Kontakt zu Stute wurden 1967 bei Boehringer ausführliche Messungen an den Antrieben der Boehringer-NC-Maschinen durchgeführt, um das Verhalten der Werkzeugmaschinenantriebe im Lageregelkreis besser zu verstehen und Erkenntnisse für ein optimales Vorgehen bei der Einstellung des Lageregelkreises zu gewinnen. Aus Diskussionen zwischen Stutes Assistenten und den Boehringer-Mitarbeitern, die Sinn und Zweck der Messungen anfangs nicht verstanden, entstanden Samstagskurse, um interessierte Mitarbeiter weiterzubilden.¹⁰⁶²

Ein Forschungsprojekt des IWF der TU Berlin im Rahmen des SFB 57 (vgl. Kapitel 4.9.5) beschäftigte sich mit dem damaligen Modethema „Adaptive Control“ (vgl. Kapitel 7.5.)¹⁰⁶³ Teile der dafür notwendigen Maschinenuntersuchungen wurden bei

¹⁰⁵⁹ Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 30; für seine langjährigen Vorlesungen wurde Rohs Ende der 1960er Jahre zum Professor ernannt.

¹⁰⁶⁰ Archiv Technische Akademie Esslingen, Lehrgang Nr. 1972/33.02/4; Rohs/Koschnick (09.04.1973); der Lehrgang wurde über mehrere Jahre angeboten, teilweise auch mit einem anderen Co-Referenten. Kursziel war die Weiterbildung von Entscheidungsträgern.

¹⁰⁶¹ Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 31–32.

¹⁰⁶² Vgl. Schmid (13.05.2016), S. 4–5. Nach Schmid entstand aus dieser Schulung das Lageregelseminar, das noch heute mit modifiziertem Inhalt in unregelmäßigen Abständen angeboten wird. Vgl. ISW und FISW (2020).

¹⁰⁶³ Unter „Adaptive Control“ (oft mit AC abgekürzt) wird bei Werkzeugmaschinen die automatische Anpassung der Werkstückzerspanung (z. B. des Bearbeitungsvorschubs) an sich verändernde Randbedingungen wie härteres Material oder stumpfer werdende Werkzeuge verstanden. Mitte der 1960er Jahre versprachen sich Forscher an den Hochschulen und die Werkzeugmaschinenhersteller sehr viel von diesem Gedanken. Es wurden diverse Forschungsaktivitäten angestoßen, z. B. für die Technologien Bohren, Fräsen und Schleifen durch den VDW. Vgl. Stute (1967), S. 1–10.

Boehringer durchgeführt.¹⁰⁶⁴ Das Ergebnis des Forschungsprojekts wurde auf der 12. EWA in Mailand im Oktober 1971¹⁰⁶⁵ als VDF-AC-Konzept vorgestellt.¹⁰⁶⁶

Erwähnenswert ist noch das erste flexible Fertigungssystem (FFS) für Drehteile, das 1974 vom Schweizer Hersteller von Etikettendruckmaschinen Rüsch bei Boehringer angefragt wurde. Nach Analyse des umfangreichen und komplexen Teilespektrums machte Boehringer – trotz anfänglich starker interner Bedenken – einen Lösungsvorschlag, der im Kern aus drei verketteten NC-Drehmaschinen und Robotern zum Be- und Entladen bestand.¹⁰⁶⁷ Zur Verblüffung von Boehringer erteilte Rüsch den Auftrag. Boehringer stand damit vor einer großen Herausforderung, denn es war noch nie ein vergleichbares Projekt realisiert worden. Trotz seiner Komplexität wickelte Boehringer das Projekt ohne größere Probleme ab¹⁰⁶⁸ und legte damit die Basis für ähnliche Aufträge in den darauffolgenden Jahren.¹⁰⁶⁹ Insofern hat sich das Wagnis mit dem Rüsch-Projekt für Boehringer gelohnt.

Als traditioneller Werkzeugmaschinenhersteller war Boehringer ein aktives Mitglied in vielen Verbänden und Ausschüssen. Rohs war z. B. im VDW und zeitweise im von Simon geleiteten Unterausschuss Informationsverarbeitung der ADB aktiv. Rohs wirkte insbesondere bei der Festlegung des Koordinatensystems und der Achsbezeichnungen für NC-Drehmaschinen mit.¹⁰⁷⁰ Außerdem war Rohs ab 1968 mehrere Jahre im EXAPT-Verein tätig und hatte so Einfluss auf die Weiterentwicklung der maschinellen NC-Programmierung.¹⁰⁷¹

Nach den Problemen mit der Heller-Steuerung setzte Boehringer für neue, weiterentwickelte NC-Maschinen auf Steuerungen der großen Anbieter. Die auf der Olympia-

¹⁰⁶⁴ Die Untersuchungen bei Boehringer erfolgten durch Günter Pritschow vom IWF. Seine Forschungsergebnisse bei Boehringer waren eine Grundlage seiner Dissertation. Pritschow (1972).

¹⁰⁶⁵ Die erste Vorstellung erfolgte schon auf der IHA 1970. Auf der EWA 1971 sollte dann die weiterentwickelte Version professioneller präsentiert werden. Vgl. Privataarchiv Werner Boehringer, Gebr. Boehringer GmbH (23.03.1971), gez. S. 1-4.

¹⁰⁶⁶ Die Realisierung erfolgte über eine zusätzliche Hardwareregulierung, die die über Druckmessringe aufgenommenen Bearbeitungskräfte über einen Vorschubregler zur Vorschubbeeinflussung nutzte. Vgl. Prospekt Privataarchiv Werner Boehringer, Gebr. Boehringer GmbH (9/1971).

¹⁰⁶⁷ Flexible Fertigungssysteme für Drehteile waren damals deutlich schwerer zu realisieren als für Frästeile, da Drehteile immer auf einer Seite eingespannt sind. Damit auch die „Spannseite“ bearbeitet werden kann, müssen die Teile automatisch umgespannt werden, was bei hohen Genauigkeitsanforderungen sehr anspruchsvoll ist.

¹⁰⁶⁸ Felten (30.03.2015), S. 9–11. Der Projektleiter Felten konnte durch die während des Projekts aufgebauten Kontakte und mit Unterstützung von Rohs über das Projekt am WZL promovieren (Felten (1977)). Auch das spricht dafür, dass Endkunde und Boehringer mit dem Ergebnis zufrieden waren.

¹⁰⁶⁹ Vgl. Felten (30.03.2015), S. 29–30.

¹⁰⁷⁰ Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 15–17.

¹⁰⁷¹ Rohs war 1968 und 1969 Beirat im EXAPT-Verein und von 1970–1977 Vorstandsmitglied. Archiv EXAPT-Verein, Zusammenstellung Vorstände und Beirat EXAPT-Verein 1967 bis 1980; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (1967 bis 1980).

Messe 1966 in London ausgestellten Maschinen hatten eine AEG-Steuerung 311 (Boehringer V 800 NC) bzw. die Siemens-Steuerung BO (Boehringer P 500 NC). Beide Steuerungen waren Bahnsteuerungen, wobei die Siemens-Steuerung die Vorschubantriebe über elektrohydraulische Schrittmotoren ansteuerte.¹⁰⁷² Beide Steuerungen wurden jedoch bald stückzahlmäßig von der GE 100S¹⁰⁷³ abgelöst. Diese war Boehringer vom Endkunden Pratt & Whitney 1967/1968 in einem Auftrag vorgeschrieben worden und überzeugte durch ihre Wirtschaftlichkeit.¹⁰⁷⁴

Mit den mikroprozessorbasierten CNC-Steuerungen ab Mitte der 1970er Jahre wurden die NC-Steuerungen deutlich leistungsfähiger. Ein viel diskutiertes Thema war die NC-Programmierung an der Maschine, damit Facharbeiter ihr Erfahrungswissen weiter nutzen konnten.¹⁰⁷⁵ Auch Boehringer konnte sich der Diskussion nicht entziehen und beschäftigte sich mit einer „eigenen NC-Steuerung mit Werkstattprogrammierung“. Nach einem Fehlschlag mit einem englischen Anbieter¹⁰⁷⁶ entschied sich Boehringer dafür, eine eigene NC-Steuerung für die Werkstattprogrammierung für seine Drehmaschinen in Zusammenarbeit mit Philips zu entwickeln. Aus dieser Kooperation entstand die Steuerung B1T. Sie wurde unter großer Resonanz auf der EMO 1979 in Mailand vorgestellt¹⁰⁷⁷ und reduzierte die Marktanteile der anderen Steuerungshersteller bei Boehringer. Außerdem wurde durch die Steuerung B1T und ihrer Weiterentwicklung B2T der Autoprogrammer teilweise ersetzt.¹⁰⁷⁸

Im Rückblick war die Entscheidung von Boehringer richtig, relativ früh NC-Maschinen anzubieten. So wurden z. B. im Jahr 1973 schon 28,8 % des Jahresumsatzes von 101,5 Mio. DM mit NC-Drehmaschinen erwirtschaftet, während die konventi-

¹⁰⁷² Vgl. Schneiberg (1966), S. 10–12.

¹⁰⁷³ Der Mitbewerber Heyligenstaedt setzte die GE 100S in der Bundesrepublik Deutschland nach eigenen Angaben zuerst ein. Sie wurde dann von mehreren Mitbewerbern übernommen. Vgl. Maas (2003), S. 64–65. Erst Anfang der 1970er Jahre konnte Siemens mit der Steuerung Sinumerik 520K mit der „VDI-Schnittstelle“ zur Anpasssteuerung die Vormacht der GE-Steuerungen bei Drehmaschinen brechen. Vgl. Brömer u. a. (25.05.2015), S. 28.

¹⁰⁷⁴ Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 36. Ob der von Böhringer genannte Zeitpunkt 1967/1968 stimmt, ist fraglich. Schon auf der Olympia Messe 1966 in Hannover war die NC-Maschine von Heidenreich & Harbeck mit der GE 100S ausgerüstet und Boehringer war offen, seine NC-Maschinen auch mit GE-Steuerungen zu liefern. Vgl. Schneiberg (1966), S. 10–11.

¹⁰⁷⁵ Siehe hierzu auch Kapitel 4.13. Siemens stellte z. B. auf der EMO 1977 mit der Sprint T eine Steuerungsvariante des Systems 7 für die Programmierung an der Drehmaschine vor. Vgl. o. V. (1977a).

¹⁰⁷⁶ Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 35.

¹⁰⁷⁷ Vgl. Augustesen (1980), S. 4–5. In einem Artikel der Hauszeitung „Boehringer Werk“ wurden die Entwicklungsziele genannt. Zum einen wollte Boehringer durch die „Eigenentwicklung“ mit Philips die Vielzahl der zu applizierenden NC-Steuerungen reduzieren und zum anderen sollte eine „Boehringer CNC-Steuerung“ für die direkte Werkstattprogrammierung entwickelt werden. Die Teileprogramme sollten werkstattgerecht über die Eingabetastatur mit Symbol- und Funktionstasten erstellt werden können.“ Vgl. Gold (1980), S. 6.

¹⁰⁷⁸ Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 41. Durch den Autoprogrammer hatte Boehringer viel Erfahrung beim Programmieren von Drehmaschinen gesammelt, die in die Entwicklung der B1T-Steuerung einfließen.

onellen Drehmaschinen nur noch einen Umsatzanteil von 22,8 % hatten.¹⁰⁷⁹ Nach der Untersuchung von Clausnitzer hatte Boehringer mit seinen NC-Drehmaschinen im Zeitraum von 1970 bis 1974 in Westdeutschland einen Marktanteil von 19 %.¹⁰⁸⁰ Das erklärt, warum der Autoprogrammer mit 17 % bei den dialogorientierten Programmierverfahren mit Kleinrechnern Marktführer war.¹⁰⁸¹

Die Umsatzentwicklung von Boehringer zeigte, dass sich durch das frühe Aufgreifen der NC-Technik das Geschäftsvolumen positiv entwickelte. Unterstützt wurde die Einführung der NC-Technik durch die Beteiligung der Oerlikon-Gruppe, da dadurch zusätzliche Investitionsmittel verfügbar waren. Großen Einfluss auf die Entwicklung hatte sicherlich auch der Konstruktionsleiter Rohs, der durch seine guten Kontakte zum WZL und zum ISW immer über die neuesten Entwicklungen informiert war. Durch die starke Vernetzung und Mitarbeit in zahlreichen Gremien des VDI und VDW beeinflusste Boehringer auch die Normung über VDI-Richtlinien.¹⁰⁸²

Ein Einschnitt war 1971 der Verkauf von Heidenreich & Harbeck an Gildemeister, durch den die bewährte Zusammenarbeit der VDF-Firmen bei der NC-Technik auseinanderbrach und die Synergien, die Boehringer sich von der Gründung der NC-Maschinen GmbH erhofft hatte, nicht mehr voll zum Tragen kamen. Trotz dieses Rückschlags blieb Boehringer technologisch wettbewerbsfähig und hatte ab 1979 mit der B1T-Steuerung auch eine Steuerung mit Werkstattprogrammierung im Angebot. Insgesamt war 1980, am Ende des Untersuchungszeitraums, die Geschäftsleitung mit der Umsatzentwicklung zufrieden.¹⁰⁸³ Boehringer stand solide da, auch wenn ab 1980 Mitbewerber wie Gildemeister und Traub bei der Steuerungstechnik eine etwas schnellere Gangart einschlugen (vgl. Kapitel 4.11.8 und 4.13).

Leider kam es nach dem Untersuchungszeitraum zu mehreren Eigentümerwechseln, die am Ende dazu führten, dass auf dem Fabrikgelände in Göppingen heute keine Boehringer-Werkzeugmaschinen mehr hergestellt werden. Das Werksgelände gehört heute der Stadt Göppingen.¹⁰⁸⁴ Maschinen mit dem Namen VDF Boehringer werden heute von der FFG-Gruppe gefertigt und vertrieben.

¹⁰⁷⁹ Vgl. o. V. (1974), S. 27. Für die Folgejahre standen keine Umsatzzahlen zur Verfügung. Der NC-Anteil ist in den Folgejahren aber vermutlich weiter gestiegen; andernfalls wäre Boehringer das Projekt „B1T-Steuerung“ mit Philips sicher nicht angegangen.

¹⁰⁸⁰ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 11. Auf Platz zwei war Max Müller mit 18 % gefolgt von Heyligenstedt mit 16 % und Gildemeister mit 11 %. Das ehemalige VDF-Mitglied Heidenreich & Harbeck kam auf 5 %, Wohlenberg auf 1 %.

¹⁰⁸¹ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 33.

¹⁰⁸² Rohs arbeitete im ADB-Ausschuss Informationsverarbeitung (Obmann Simon) mit und war an der Definition der Achsbezeichnung für die Bearbeitungsachse der Drehspindel (Z-Achse) beteiligt. Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 17.

¹⁰⁸³ Vgl. o. V. (1980b), S. 8.

¹⁰⁸⁴ Vgl. Woletz (2016).

5.2 Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH in Reutlingen

Der erste deutsche Anbieter eines NC-Bearbeitungszentrums war die heutige Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH in Reutlingen, im Folgenden BW¹⁰⁸⁵ genannt, die auf die Burkhardt & Weber KG zurückgeht.

BW wurde 1888 gegründet. In den Anfangsjahren wurden hauptsächlich Bohrmaschinen, Kaltkreissägen und Fräsmaschinen gebaut. In den 1920er Jahren wurde die Produktpalette um Reihenbohrmaschinen, Starrbohrmaschinen sowie Ständer- und Säulenbohrmaschinen erweitert. Eine Besonderheit war die kombinierte Gelenkspindelbohr- und Gewindebohrmaschine mit einer patentierten Schnellverstellung.¹⁰⁸⁶

Mit Beginn des Zweiten Weltkrieges musste sich BW wie viele andere Unternehmen an die Kriegswirtschaft anpassen und produzierte nur noch Sondermaschinen nach dem Baukastenprinzip, insbesondere für die Motoren- und Getriebefertigung.¹⁰⁸⁷

Am 1. März 1945 wurden beim dritten Luftangriff der US Air Force auf Reutlingen 60 % des Werkes zerstört. Nach der Besetzung von Reutlingen durch die französische Armee am 20. April 1945 wurde die Herstellung von Werkzeugmaschinen zunächst verboten. Alle Maschinen, die jünger als zehn Jahre waren, wurden demontiert. Trotz dieser Einschränkungen gelang der Wiederaufbau und 1951 konnte die erste in Europa gefertigte große Transferstraße ausgeliefert werden.¹⁰⁸⁸ Die Herstellung von großen Transferstraßen vor allem für die Automobilindustrie war etwa bis zum Jahr 2000 ein wesentliches Geschäftsfeld von BW.¹⁰⁸⁹

Ein weiteres wichtiges Geschäftsfeld von BW wurde die Herstellung von Bearbeitungszentren. Der Einstieg in dieses Geschäftsfeld erfolgte ungeplant, wie aus Veröffentlichungen zum 50-jährigen Jubiläum der Vorstellung des ersten BW NC-Bearbeitungszentrums hervorgeht. Danach waren Entwicklung und Fertigung von NC-Maschinen in den USA Ende der 1950er Jahre sehr teuer. Deutsche und schweizerische Maschinenbauunternehmen hatten in den USA einen guten Ruf und durch den damals für die USA günstigen Wechselkurs Dollar zu DM von 1:4,2 waren europäische Maschinen für US-Firmen sehr günstig. Der Wechselkurs veranlasste den US Flugzeugkonzern Hughes Aircraft Company, der seine NC-Steuerung zusammen mit dem MIT entwickelt hatte,¹⁰⁹⁰ 1957 in Europa nach einem geeigneten Maschinenlieferanten für ein spezielles Bearbeitungszentrum zu suchen.

¹⁰⁸⁵ Das Synonym BW wird für alle Firmen verwendet, die sich aus der ehemaligen Burkhardt & Weber KG durch Besitzerwechsel und Insolvenzverfahren ergaben.

¹⁰⁸⁶ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 9–11.

¹⁰⁸⁷ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 13.

¹⁰⁸⁸ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 15 für die Zusammenfassung der Unternehmensgeschichte.

¹⁰⁸⁹ Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 19.

¹⁰⁹⁰ Die NC-Steuerung der Hughes Aircraft Co. war 1959 schon volltransistorisiert. Vgl. o. V. (1960b), S. 106.

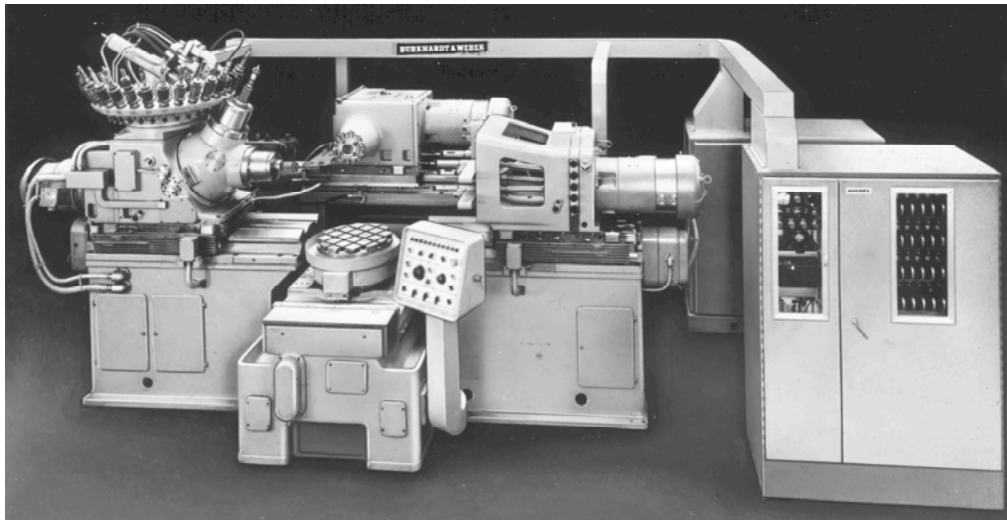


Abbildung 44: NC-Bearbeitungszentrum MT 3 von Burkhardt & Weber (1959)¹⁰⁹¹

Der Schweizer Werkzeugmaschinenhersteller Société d'Instruments de Précision SA wollte oder konnte die Anforderungen der Hughes Aircraft Company nicht erfüllen, empfahl aber, sich an den Reutlinger Werkzeugmaschinenhersteller BW zu wenden. BW und die Hughes Aircraft Company einigten sich 1958. Schon 1959 wurde das nach den Vorgaben der Hughes Aircraft Company entwickelte Bearbeitungszentrum MT 3 auf der 6. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung 1959 in Paris mit der NC-Steuerung von Hughes vorgestellt (Abbildung 44).¹⁰⁹² Etwas ungewöhnlich an dem Vertrag war, dass die Hughes Aircraft Company BW erlaubte, die NC-Maschine auch anderen Kunden anzubieten. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass Hughes hoffte, so mehr NC-Steuerungen zu verkaufen. Dies gelang auch in einem gewissen Maß. Bis Anfang der 1970er Jahre wurden ca. 150 Maschinen in die USA verkauft. In Europa waren die Kunden zögerlicher. Die erste Maschine ging erst 1965 an einen französischen Kunden.¹⁰⁹³

Um 1965 verkaufte der Hughes-Konzern seine Rechte an der BW MT 3 an den japanischen Werkzeugmaschinenhersteller Yamazaki Mazak,¹⁰⁹⁴ der auch heute noch zu den großen Werkzeugmaschinenherstellern zählt. Der Rechteverkauf erlaubte BW, das mit Entwicklung und Produktion der MT 3 gewonnene Know-how für eigene Entwicklungen zu nutzen. Als erste eigenständige Weiterentwicklung kam 1966 die BW MC 4 auf den Markt, von der um 2013 noch einige Maschinen in Betrieb waren. Die Maschine konnte mit einem Kettenmagazin mit bis zu 50 Werkzeugplätzen ausgerüstet werden. Auf die MC 4 folgten noch weitere Maschinen, wie die MC 200 mit einem Universalbearbeitungskopf, die MC 250 für Schwerzerspanung und die MC 1 mit einem große-

¹⁰⁹¹ Bildquelle: Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 28.

¹⁰⁹² Vgl. o. V. (2009), S. 6–9.

¹⁰⁹³ Vgl. o. V. (2009), S. 8.

¹⁰⁹⁴ Vgl. o. V. (2009), S. 9.

ren Arbeitsbereich und einem Kettenmagazin für 80 Werkzeuge. BW hatte so 1968 schon ein beachtliches NC-Maschinenprogramm.¹⁰⁹⁵

Eine weitere Aufwertung erhielt das Maschinenprogramm 1965 durch die Übernahme des Pfullinger Lehrenbohrwerkherstellers¹⁰⁹⁶ Burkhardt, dessen Maschinen von BW nach und nach mit NC-Steuerungen angeboten wurden.¹⁰⁹⁷ Durch die Übernahme der Firma Burkhardt deutete sich an, dass sich BW verstärkt auf große, hochgenaue NC-Maschinen fokussieren wollte.

Die Genauigkeit von Werkzeugmaschinen ist stark temperaturabhängig.¹⁰⁹⁸ Um Kunden bei der Maschinenabnahme die vertraglich zugesicherte Maschinengenauigkeit nachweisen zu können, baute BW schon 1971 eine klimatisierte Montagehalle für die NC-Bearbeitungszentren. Mit der neuen Halle konnten Temperatureinflüsse auf die Maschine bei der Abnahme weitgehend vermieden werden.¹⁰⁹⁹

Auch anderen Innovationen der NC-Technologie wie flexiblen Fertigungssystemen (FFS, vgl. Kapitel 7.7.2) stand BW aufgeschlossen gegenüber. Das erste FFS wurde 1975 ausgeliefert.¹¹⁰⁰

Maßgeblich unterstützt und betrieben wurde die Einführung der NC-Technik bei BW von Hellmut Goebel, der gute Kontakte zu den wichtigen produktionstechnischen Instituten und dem produktionstechnischen Innovationssystem hatte. Nach dem Tod von Louis Weber (1962) war er bis zu seinem Ausscheiden im Jahr 1985 geschäftsführender Gesellschafter.¹¹⁰¹ Nach den Erinnerungen seines Sohnes war er entscheidend daran beteiligt, dass BW von Hughes den Entwicklungsauftrag für die MT 3 bekam.¹¹⁰² Auch andere für die NC-Technik wichtige Entscheidungen wie die Übernahme des Lehrenbohrwerkherstellers Burkhardt und der Bau der klimatisierten Montagehalle fielen in seine Zeit als Geschäftsführer.

Schon vor dem Ausscheiden Goebels hatte 1982 die Schweizer Georg Fischer AG 51 % der Geschäftsanteile von BW übernommen und diese 1987 auf 100 % erhöht. 1995 wurde BW verkauft und mit anderen Werkzeugmaschinenherstellern in eine Holding eingebracht, die aber schon 2001 Insolvenz anmelden musste, was zur Einstel-

¹⁰⁹⁵ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 33.

¹⁰⁹⁶ Lehrenbohrwerk ist ein Synonym für hochgenaue Maschinen zum Fräsen und Bohren.

¹⁰⁹⁷ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 35.

¹⁰⁹⁸ Werkzeugmaschinen haben, bezogen auf eine Länge von 1 m, ungefähr eine Längenausdehnung von 1/100 mm pro Grad Temperaturerhöhung, was bei Genauigkeitsanforderungen im µ-Bereich (1/1000 mm) zu Problemen führt.

¹⁰⁹⁹ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 57. Es ist anzunehmen, dass dies eine der ersten klimatisierten Montagehallen für NC-Maschinen in der Bundesrepublik Deutschland war.

¹¹⁰⁰ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 57.

¹¹⁰¹ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 43.

¹¹⁰² Vgl. Goebel (13.02.2016), S. 3.

lung der Fertigung von Transferstraßen und zur Übernahme durch die „Gruppo Riello Sistemi“ führte. 2012 wurde BW durch die „Indústrias Romi S.A.“ übernommen.¹¹⁰³

Die Geschichte von BW zeigt, dass der Ruf eines Unternehmens einen großen Einfluss auf die Unternehmensentwicklungen haben kann. Ob, bzw. wann BW zur NC-Technik ohne den Besuch der Mitarbeiter der Hughes Aircraft Company gefunden hätte, bleibt der Spekulation überlassen. Sicher ist nur, dass Hughes Wünsche bei BW auf einen fruchtbaren Boden fielen, da BW technischen Neuerungen in den Nachkriegsjahren sehr aufgeschlossen gegenüberstand.¹¹⁰⁴ Nach dem Ausscheiden des geschäftsführenden Geschäftsführers Hellmut Goebel und der vollständigen Übernahme durch die Georg Fischer AG kam BW in Turbulenzen, die zur Einstellung der Fertigung von Transferstraßen und zu mehrfachem Besitzerwechsel führten.

5.3 Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH in Nürtingen

Wie BW ist auch die Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH in Nürtingen, im Folgenden Heller genannt, ein traditionsreicher westdeutscher Werkzeugmaschinenhersteller. Heller wurde am 7. Februar 1894, also sechs Jahre nach BW, durch Hermann Heller sen. gegründet, der sich als Gewerbetreibender in Nürtingen eintragen ließ.¹¹⁰⁵

Eines der ersten Produkte war ein verbesserter Schraubstock.¹¹⁰⁶ 1900 erfolgte der Einstieg in den Werkzeugmaschinenbau mit Kaltkreissägen.¹¹⁰⁷ 1908 kamen Radialbohrmaschinen¹¹⁰⁸ dazu.

Einen hohen Bekanntheitsgrad im Maschinenbau erreichte Heller durch die Entwicklung der Heller-Hydraulik. Sie wurde durch Hermann Heller jun.¹¹⁰⁹ initiiert und war hauptsächlich von seinem Mitarbeiter Alfred Dürr¹¹¹⁰ noch vor dem Zweiten Weltkrieg entwickelt worden. Kern der Heller-Hydraulik waren hydraulische Steuergeräte zur Automatisierung komplizierter Abläufe. Die Technik der Heller-Hydraulik war so gut, dass sie von mehreren Werkzeugmaschinenherstellern eingesetzt wurde.¹¹¹¹

Im Zweiten Weltkrieg blieb Nürtingen von Zerstörungen weitgehend verschont, sodass nach Kriegsende die Wiederaufnahme der Produktion bei Heller nicht durch Kriegs-

¹¹⁰³ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 57–58.

¹¹⁰⁴ Vgl. Goebel (13.02.2016), S. 3–4.

¹¹⁰⁵ Vgl. Mistele (1994), S. 2.

¹¹⁰⁶ Vgl. Mistele (1994), 12.

¹¹⁰⁷ Vgl. o. V. (1944), gez. S. 6.

¹¹⁰⁸ Vgl. o. V. (1944), gez. S. 9.

¹¹⁰⁹ Mit „Hermann Heller“ ist immer Hermann Heller jun. gemeint.

¹¹¹⁰ Alfred Dürr veröffentlichte über Hydrauliksteuerungen zahlreiche Fachaufsätze und Bücher wie z. B. das Buch „Hydraulische Antriebe und Druckmittelsteuerungen an Werkzeugmaschinen“. Dürr (1949).

¹¹¹¹ Vgl. o. V. (1944), gez. S. 20–24.

schäden behindert war.¹¹¹² Heller hatte auch noch das Glück, dass für seine Maschinen kein Produktionsverbot ausgesprochen wurde. Begründet wurde das nach einer Übersicht der „Industriegruppe Metall“ damit, dass es für die Kaltkreissägemaschinen, Sägeblattschärfmaschinen und Bohrmaschinen von Heller weder in der amerikanischen noch in den anderen Zonen eine nennenswerte Produktion gab. Dagegen sei die Nachfrage nach diesen Maschinen ungeheuer groß.¹¹¹³ Der Bedarf zeigte sich auch am Verlauf der Mitarbeiterentwicklung. So hatte 1944 Heller 1413 Mitarbeiter. 1945 ging die Mitarbeiterzahl auf 83 zurück, stieg aber schon 1946 wieder auf 413 an.¹¹¹⁴ 1950 hatte die Belegschaft eine Größe von 790 Mitarbeitern erreicht.¹¹¹⁵

Etwa ab Anfang der 1950er Jahre stiegen die Anforderungen an die Automatisierung der Heller-Maschinen, da Transferstraßen für die Automobilindustrie in das Fertigungsprogramm aufgenommen wurden.¹¹¹⁶ Zu dieser Zeit war es üblich, die Maschinensteuerungen aus einer Kombination von Hydraulik mit Schützen oder Hilfsschützen aufzubauen¹¹¹⁷ (vgl. Kapitel 2.2.1). Durch die zunehmende Komplexität der Steuerung wurden die Schaltschränke immer größer. Auf der Suche nach Lösungen kam der bei Heller beschäftigte frühere Siemens-Mitarbeiter Dautel zusammen mit Hermann Heller Anfang der 1950er Jahre auf die Idee, die Steuerungslogik statt mit Schützen mit Fernmelderelais aufzubauen, um Platz und Kosten zu sparen.¹¹¹⁸ Aus dieser Idee entwickelte Heller bis 1952 seine elektrohydraulische Steuerung.¹¹¹⁹ Das Steuerungs-

¹¹¹² Nürtingen wurde im Zweiten Weltkrieg trotz vieler ausgelagerter Betriebe von den Alliierten nicht angegriffen. Es fielen zwar vereinzelt Bomben, die Abwürfe waren aber nicht gezielt, sondern um z. B. Bomber mit technischen Schwierigkeiten zu „entlasten“. Der schwerste „Bombenangriff“ war am 2. März 1944 im Vendelaugebiet. Vgl. Garski-Hoffmann/Tietzen (2011), S. 338–341.

¹¹¹³ Vgl. Landesarchiv Baden-Württemberg, Abt. Hauptstaatsarchiv Stuttgart, EA 6/006 Bü 416; Industriegruppe Metall (ca. 1946).

¹¹¹⁴ Vgl. Landesarchiv Baden-Württemberg, Abt. Hauptstaatsarchiv Stuttgart, EA 6/003 Bü 3301; Wirtschaftstreuhand G.m.b.H. (Juni 1947), S. 2.

¹¹¹⁵ Privataarchiv Thomas Wissert, Heller 1; Haußmann (18.11.2019). Abweichend zum Wirtschaftsprüfer nannte Haußmann für 1946 nur 160 Mitarbeiter und 430 für 1947. Den starken Anstieg von 1946 auf 1947 führte er auf Kriegsheimkehrer zurück.

¹¹¹⁶ Vgl. Gunsser (1978), S. 1006.

¹¹¹⁷ Die „Logik“ wurde mit Schützen realisiert, die Bewegung hydraulisch. Über die Schütze wurden Hydraulikventile geschaltet.

¹¹¹⁸ Vgl. Opferkuch (23.09.2012), S. 7.

¹¹¹⁹ Der Begriff elektrohydraulische Steuerung drückt aus, dass die Heller-Hydraulik durch elektrische Geräte gesteuert wurde. Anfangs erfolgte dies durch 220V-Schütze. Unter elektrohydraulischer Steuerung wurde später die Kombination der Heller-Hydraulik mit einer Steuerung in 24 V Relais-technik verstanden. Die erste Steuerung mit 24 V Relais-technik (Schwachstromsteuerung) wurde von Heller 1952 gebaut. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1988), S. 3. Ob die Erfindung tatsächlich von Dautel stammte, wie dem Verfasser mehrfach berichtet wurde, kann nicht belegt werden. Dautel war nach 1952 aber Autor mehrerer Veröffentlichungen zu den Heller-Schwachstromsteuerungen.

konzept fand in der Fachwelt so große Beachtung, dass Herrmann Heller schon bald dafür geehrt wurde.¹¹²⁰

Die Steuerung war wegen der Relais in Schwachstromtechnik für eine Betriebsspannung von 24 V ausgelegt. Eine Besonderheit war, dass sie schon komplexe Programmabläufe über ein Gerät mit dem Namen „Vorwähler-Programmsteuerung“ steuern konnte. Drehzahlen, Vorschübe und Bewegungspositionen (über Nockenschalter) konnten in einer programmierbaren Reihenfolge aktiviert werden. Damit alles perfekt zusammenspielte, wurden für die Hydraulik und die Steuerung passende Aktoren, Sensoren und Stecker entwickelt. Dürr stellte die Heller-Entwicklung auf dem AWK 1953 in einem Vortrag vor.¹¹²¹ In der Zusammenfassung seines Vortrags schrieb Dürr:

Die Entwicklungstendenz des Werkzeugmaschinenbaues in Richtung einer Bedienungserleichterung, besserer Steuerung und Automatisierung des Arbeitsablaufes tritt immer stärker in Erscheinung. Die Elektro-Hydraulik zeigt neue Wege, mit denen die produktive Arbeitszeit einer Maschine erhöht, die Neben- und Rüstzeiten erheblich reduziert werden können.¹¹²²

In den 1950er Jahren gab es von den Heller-Mitarbeitern hierzu mehrere Veröffentlichungen.¹¹²³ Sehr detailliert erläuterten Dürr und Dautel¹¹²⁴ 1954 das Prinzip der Schwachstromsteuerungen und ihre Vorteile.¹¹²⁵ Danach war die Steuerung für Maschinen konzipiert, mit denen Teile in hohen Stückzahlen gefertigt wurden. Die Steuerung bestand aus mehreren Komponenten, durch deren Kombination komplexe Ma-

¹¹²⁰ Die Entwicklung der elektrohydraulischen Steuerungen durch Heller wurde schon nach kurzer Zeit durch die Technische Hochschule Stuttgart gewürdigt. Sie berief Hermann Heller am 24. Juli 1954 „in Würdigung seiner Verdienste um die Entwicklung elektrohydraulisch gesteuerter Werkzeugmaschinen und um den Ausbau einer der modernsten deutschen Werkzeugmaschinenfabriken“ zum Senator ehrenhalber. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 127, Nr. 200; Rektor und Senat der Technischen Hochschule Stuttgart (24.07.1954). Auch in der Verleihungsurkunde vom 30.1.1959 für die Ehrenpromotion an Hermann Heller wurden u. a. seine „schöpferischen Ideen für die Konstruktion von Werkzeugmaschinen und die Entwicklung elektrischer und hydraulischer Steuerungen“ ausdrücklich gewürdigt. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 127, Nr. 66; Rektor und Senat der Technischen Hochschule Stuttgart (30.01.1959).

¹¹²¹ Dürr (1953).

¹¹²² Dürr (1953), S. 93.

¹¹²³ Erwähnenswert ist eine Anmerkung im Brief von Rolf Boehringer an Prof. Dolezalek an der TH Stuttgart im Vorfeld der Ehrenpromotion von Hermann Heller. Daraus wird deutlich, dass Hermann Heller, die „Lorbeeren“ seinen Mitarbeitern überließ. Boehringer schrieb: „Dass Hermann Heller mit diesen Arbeiten an der Öffentlichkeit so wenig persönlich bekannt geworden ist, liegt daran, dass er als reiner Autodidakt zwar sein eigener Konstruktionschef, Betriebs- und Verkaufsleiter ist, die Veröffentlichungen über neue Entwicklungen aber dann seinen beiden Mitarbeitern Dürr und Gunsser überließ. Wer die Verhältnisse in der Firma aber kennt, weiß, dass hinter all diesen Entwicklungen die schöpferische Tätigkeit von Hermann Heller persönlich gestanden hat.“ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 127, Nr. 66; Boehringer (07.07.1958).

¹¹²⁴ Mit großer Wahrscheinlichkeit war Dautel der ehemalige Siemens-Ingenieur, von dem Hermann Heller in seiner Rede zur Verleihung der Ehrendoktorwürde indirekt als Sparringspartner bei der Entwicklung der elektro-hydraulischen Steuerungen sprach. O. V. (1959b), S. 9.

¹¹²⁵ Dürr/Dautel (1954).

schinenabläufe automatisiert werden konnten. Durch ein Baukastensystem war die Steuerung sowohl für die Automatisierung ganzer Transferstraßen als auch von Einzelmaschinen geeignet. Es bestand sogar die Möglichkeit, in der Steuerung unterschiedliche Abläufe zu hinterlegen und z. B. über Drehschalter anzuwählen. Die Abläufe waren zwar fest vorgegeben, einzelne Parameter wie Geschwindigkeiten und Positionen konnten aber innerhalb gewisser Grenzen verändert werden.¹¹²⁶ Die Vorteile der Steuerung fassen Dürr und Dautel wie folgt zusammen:

Selten hat ein neues System so rasch in der Praxis Eingang gefunden wie gerade die Schwachstrom-Steuerungstechnik an Werkzeugmaschinen. Erste Voraussetzung für einen brauchbaren Einsatz war aber neben der Betriebssicherheit eine zweckentsprechende, maschinengerechte Gestaltung aller Bauteile. Erstmalig wurde ein Baukasten geschaffen, dessen werksgenormte Baueinheiten nicht nur eine mühelose Auswechslung untereinander erlauben, sondern darüber hinaus eine Austauschbarkeit verschiedenartiger Programm-Steuersysteme gestatten. Diese Freizügigkeit in der Wahl des Systems kommt den vielseitigen Forderungen einer neuzeitlichen rationellen Fertigung entgegen.¹¹²⁷

Ein wichtiger Punkt für die Akzeptanz der Schwachstromsteuerung bei den Endkunden war ihre Zuverlässigkeit. Dafür war überwiegend die Relaisqualität entscheidend.¹¹²⁸ Anfangs setzte Heller Relais des Wehinger Herstellers Haller ein, war jedoch mit der Qualität nicht wirklich zufrieden. Als der Haller-Mitarbeiter Wolfgang Gruner sich selbstständig machte und Heller 1953 ein qualitativ besseres Relais anbot, testete Heller das neue Relais. Nach ausführlicher Erprobung durch Dautel war Hermann Heller von der Qualität des neuen Relais so überzeugt, dass er Gruner einen Auftrag über 120.000 DM gab und ihn mit einer Vorauszahlung über 40.000 DM „unterstützte“, die mit zukünftigen Relaislieferungen verrechnet wurde. Die Vorauszahlung war ein wichtiger Finanzierungsbeitrag für die junge Firma Gruner, die ein langfristiger Partner von Heller wurde. Die enge Geschäftsverbindung mit Heller dauerte etwa 15 Jahre, bis die Relais weitgehend durch Transistoren und integrierte Schaltkreise abgelöst wurden.¹¹²⁹ Die Gruner AG ist heute noch ein mittelständischer Relaishersteller.¹¹³⁰

Vor diesem Hintergrund verfolgte Heller die NC-Entwicklung sicher mit großem Interesse. Heller war wohl überzeugt, dass sein Steuerungskonzept auch für eine NC-

¹¹²⁶ Eine Variante ließ sogar eine Art Programmierung über Drucktasten durch den Einrichter zu. Vgl. Dürr/Dautel (1954), S. 361.

¹¹²⁷ Dürr/Dautel (1954), S. 364.

¹¹²⁸ 1961 beschrieb Dautel in seinem Aufsatz „Die elektrische Ausrüstung von Transfermaschinen“ ausführlich den Entwicklungsstand der Steuerungstechnik mit Relais. Ein Teil seiner Ausführungen beschäftigte sich mit den Anforderungen an die Relais. Vgl. Dautel (1961), S. 403–404.

¹¹²⁹ Vgl. Privataarchiv Eduard Spreitzer, Gruner (o. J.), S. 26 und 29.

¹¹³⁰ Gruner AG (2020).

Steuerung geeignet war. 1959 war es dann so weit.¹¹³¹ Auf Basis seiner elektrohydraulischen Steuerungen stellte Heller auf der 6. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung die Revolverbohrmaschine SBR 32 vor. Sie war mit einer dreiachsigen, selbst entwickelten NC-Positioniersteuerung ausgerüstet (Abbildung 45).¹¹³²

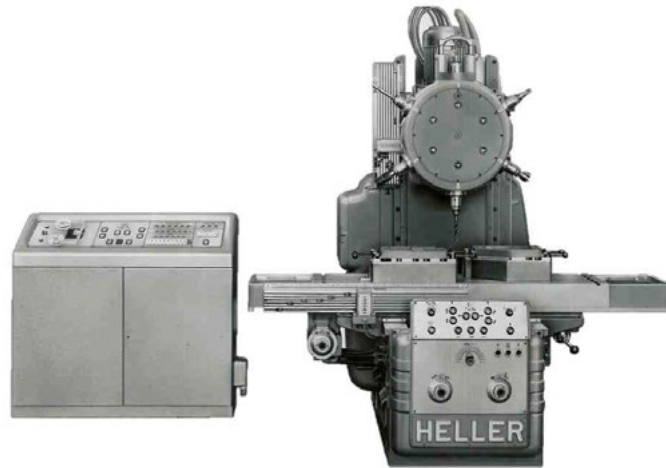


Abbildung 45: Heller SBR 32 für die 6. Werkzeugmaschinen-Ausstellung 1959 in Paris¹¹³³

Die Maschine hatte einen Werkzeugrevolver mit sechs Werkzeugen und eine Positioniergenauigkeit von 0,01 mm. Die Programmierung erfolgte über einen fünfspurigen Lochstreifen, der mit einem Fernschreiber erstellt wurde.¹¹³⁴ Mit dieser Maschine war Heller einer der ersten westdeutschen Werkzeughersteller mit einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, auf jeden Fall aber der erste mit einer selbst entwickelten NC-Steuerung, auf die in Kapitel 4.11.8 ausführlich eingegangen wird. Die SBR 32 wurde mehrere Jahre verkauft.¹¹³⁵

Die für die SBR 32 entwickelte Steuerung bzw. Steuerungskomponenten wurden an mindestens zwei andere Werkzeugmaschinenhersteller verkauft. So setzte z. B. Boehringer für den ersten Prototyp seiner NC-Drehmaschine eine Heller-Steuerung ein (vgl. Kapitel 5.1). Der Berliner Werkzeugmaschinenhersteller Schwartzkopff wurde von Heller mit einer Lochband-Programmiereinrichtung für seine Koordinaten-Bohrmaschine KBF 2 beliefert.¹¹³⁶

¹¹³¹ Wann, wie und warum Heller entschied, das Wagnis einer eigenen NC-Steuerung einzugehen, lässt sich nicht nachvollziehen, weil hierzu keine Unterlagen gefunden wurden und auch kein Zeitzeuge zu einem Interview zur Verfügung stand.

¹¹³² Laut Nürtinger Zeitung waren einige Funktionen der Steuerung bereits mit Transistoren realisiert. Vgl. o. V. (1959a).

¹¹³³ Bildquelle: Archiv Gebr. Heller: Bildarchiv, Bild 3185-28; Gebr. Heller Maschinenfabrik (1959).

¹¹³⁴ Vgl. Simon (1959), S. 799. Simon beschrieb ausführlich die Funktionsweise der Maschine, insbesondere die der Steuerung.

¹¹³⁵ In einem Imagebuch um das Jahr 1968 ist die Maschine SBR 32 noch enthalten. Vgl. Gebr. Heller Maschinenfabrik (ca. 1968), S. 14–15.

¹¹³⁶ Vgl. Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Ordner: NC 001 KBF 2 ELS-Komm 0670; Gebr. Heller Maschinenfabrik (9.8.61).

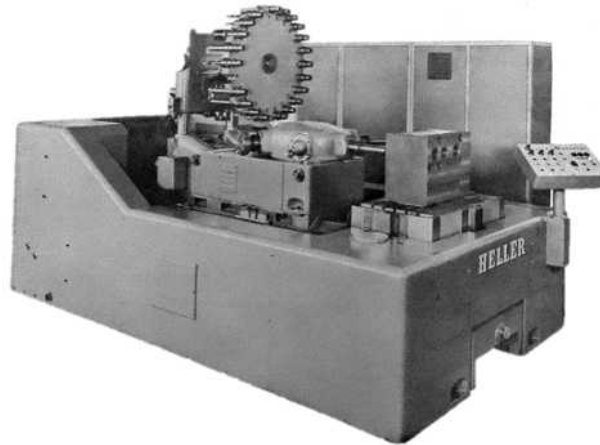


Abbildung 46: Bearbeitungszentrum Heller BRH 65 I W¹¹³⁷

Ab 1962 hatte Heller auch numerisch gesteuerte Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren mit automatischem Werkzeugwechsel im Programm.¹¹³⁸ In einem nicht veröffentlichten Skript zum 100-jährigen Jubiläum von Heller beschrieb Gunsser die Maschine (Abbildung 46):

Als Nächstes wurde eine horizontale Maschine gebaut mit einem Hubtisch mit eingebautem Rundschalttisch. Der horizontal liegende Revolverkopf enthielt zwei gegenüberliegende Spindeln mit Werkzeugwechselmechanismus. Solange eine Spindel in vorderer Lage arbeitete, konnte die andere Spindel hinten ein Werkzeug in ein Scheibenmagazin zurücksetzen und ein neues aufnehmen. Zwei weitere Spindeln trugen – fest eingebaut – numerisch gesteuerte Plan- und Ausdrehköpfe, ebenfalls eine Eigenentwicklung, mit denen Präzisionsbohrungen der Qualität IT 6 feingebohrt werden können. Zwei weitere Spindeln waren mit kräftigen Fräsern bestückt. Diese Maschinen hatten für alle Bewegungen hydromechanische Antriebe und Siemens NC-Steuerungen. Die Anpaßsteuerung war in Relaischnik ausgeführt.

Dieses Bearbeitungszentrum war mit seinen Plandrehköpfen die universellste NC-Maschine jener Zeit, sodaß die Firma IBM beschloß, auf ihrer Basis mit Heller zusammen einen „generalisierten“ Postprozessor für ihre Programmiersprache „Autospot“ zu erarbeiten.¹¹³⁹

Das gerade angesprochene Bearbeitungszentrum war das erste von mehreren Bearbeitungszentren, die Heller bis zum Ende des Untersuchungszeitraums baute. Dazu ka-

¹¹³⁷ Bildquelle: Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (12/1963), Blatt 9, S. 2. Die abgebildete Variante BRH 65 I W war im Unterschied zur BRH 65/6 mit der Heller-Steuerung ausgerüstet.

¹¹³⁸ Vgl. Gunsser (1978), S. 1006. Der Prospekt des Fabrikationsprogramms aus dem Jahr 1965 führt sieben numerisch gesteuerte Maschinen auf. Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Gesamtkataloge 1941 bis 1968; Gebr. Heller Maschinenfabrik (09/1965).

¹¹³⁹ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: 100 Jahre Heller; Gunsser (03.07.1984), S. 19. Die Autorenschaft von Gunsser ist nicht gesichert, allerdings legt die Auffindesituation sie nahe. In einer Veröffentlichung von IBM und Heller in den IBM Nachrichten wird der Postprozessors Autospot beschrieben. Müller-Traut/Opferkuch (1965).

men weitere NC-Maschinen wie Fräs- und Längsfräsmaschinen, verkettete NC-Maschinen und NC-Sondermaschinen z. B. für den Flugzeugzellenbau.¹¹⁴⁰ Insgesamt hatte Heller bis zum Ende des Untersuchungszeitraums wie BW ein umfangreiches Portfolio von NC-Maschinen im Angebot.

Traditionell war Heller wie Boehringer gut vernetzt und engagierte sich stark in Fachverbänden und -vereinen. Dies war von Hermann Heller gewollt, denn er war persönlich in einer Vielzahl von Verbänden tätig. Anlässlich der Verleihung des Großen Bundesverdienstkreuzes zählte die Nürtinger Zeitung seine wichtigsten ehrenamtlichen Tätigkeiten auf.¹¹⁴¹ Dieses Engagement endete nicht mit dem frühen Tod von Hermann Heller¹¹⁴²; es wurde von seinen Söhnen in der Unternehmensleitung fortgesetzt.¹¹⁴³ Beispielhaft dafür sind zwei Aktivitäten zur Unterstützung der NC-Technik, die schon in Kapitel 4.10 genannt wurden. So war z. B. der Heller-Mitarbeiter Opferkuch Mitglied im Unterausschuss Informationsverarbeitung der ADB,¹¹⁴⁴ der mehrere VDI-Richtlinien für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen erarbeitete.¹¹⁴⁵ Sein Vorgesetzter Gunsser war Mitglied im übergeordneten ADB-Ausschuss „Automatisierung in der Fertigung“ und übernahm ab dem 8.12.1966 als Obmann die Leitung vom Stuttgarter Prof. Dolezalek. Dieser hatte den Ausschuss 1956 gegründet und zehn Jahre geleitet.¹¹⁴⁶ Heller war also in der Anfangsphase der numerisch gesteuerten Werk-

¹¹⁴⁰ Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: 100 Jahre Heller; Gunsser (03.07.1984), S. 19–23.

¹¹⁴¹ „Dipl.-Ing. Hermann Heller, geb. 14. 3. 1908 in Nürtingen, der soeben mit dem Großen Bundesverdienstkreuz ausgezeichnet wurde, ist Inhaber der Firma Gebr. Heller, Maschinenfabrik Nürtingen, und Geschäftsführender Gesellschafter der Firma Gebr. Heller, Maschinenfabrik GmbH, Nürtingen. Er ist Mitglied des Hauptvorstandes des VDMA (Verein Deutscher Maschinenbauanstalten) Frankfurt, Vorstandsmitglied des VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken) Frankfurt, Mitglied des Europäischen Komitees für die Zusammenarbeit der Werkzeugmaschinenindustrien, Ehren-Senator der Technischen Hochschule Stuttgart, Handelsrichter beim Landgericht in Stuttgart, Stellvertretender Aufsichtsrats-Vorsitzender der Deutschen Messe- und Ausstellungs-AG, Hannover, Mitglied des Beirats des Landesverbands der Badisch-Württembergischen Industrie, Stuttgart, Vorstandsmitglied des Vereins der Freunde der Staatlichen Ingenieur-Schule Eßlingen, und Träger des Ehrenzeichens des Vereins Deutscher Ingenieure.“ O. V. (1958), S. 7.

¹¹⁴² Hermann Heller verstarb mit 52. Jahren am 25.10.1959. Vgl. o. V. (1959c).

¹¹⁴³ 1960 übernahm Hubert Heller die Firmenleitung und wurde ab 1969 von Berndt Heller unterstützt. 1999 wechselt Hubert Heller in den Aufsichtsrat, 2006 auch Berndt Heller. Seit 2016 ist Heller wieder komplett in Familienbesitz, nachdem ab 1996 die BW-Kapitalbeteiligung GmbH mit 36 % an Heller beteiligt war. Vgl. Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH (2019), S. 4–5.

¹¹⁴⁴ Nach eigener Aussage wirkte Opferkuch am meisten bei der VDI 3255 (Festlegung der Koordinatenachsen) mit. Vgl. Opferkuch (23.09.2012), S. 20.

¹¹⁴⁵ Einige Beispiele: VDI 3252 Verschlüsselung von Zahlenwerten; VDI 3255 Festlegung der Koordinatenachsen; VDI 3256 Syntaxvorschläge für die manuelle Programmierung; VDI 3259 Lochstreifen als Informationsträger. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 203a; Seulen (15.07.1966), S. 5.

¹¹⁴⁶ Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 203a; Dolezalek (08.12.1966). Die Übergabe an Gunsser wurde in einer Besprechung mit dem ADB-Vorstand Seulen am 25.7. 1966 beschlossen. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 27, Nr. 203a; Seulen (15.07.1966), S. 1 und 5.

zeugmaschinen sowohl in der „Gremienarbeit“ als auch durch die Entwicklung einer eigenen numerischen Steuerung in der NC-Technik stark engagiert.

Bei den Steuerungen beobachtete Heller aufmerksam den Markt. Bei Positioniersteuerungen wurde zwar möglichst auf die eigene Steuerung gesetzt, sie wurde aber auch mit den auf dem Markt angebotenen Steuerungen verglichen. So findet sich im Heller-Archiv ein 1963 erstellter Vergleich mit der Siemens-Steuerung, der Vorteile für die Siemens-Steuerung sah (vgl. die Details zu den Heller-Steuerungen in Kapitel 4.11.8).¹¹⁴⁷

Die weitere Entwicklung zeigte, dass bei Heller ab Mitte der 1960er Jahre die eigenen NC-Streckensteuerungen etwas in den Hintergrund traten und mehr zugekaufte NC-Steuerungen eingesetzt wurden.¹¹⁴⁸ Erst 1973 stellte Heller mit der Quick-Pro wieder eine einfache eigene NC-Steuerung vor,¹¹⁴⁹ die auf der TTL-Technik¹¹⁵⁰ basierte. Es handelte sich allerdings um keine der bisher bekannten Strecken- oder Bahnsteuerungen, sondern um eine NC-Steuerung mit manueller Dateneingabe für Bettfräsmaschinen. Die Programmierung der Programmschritte (maximal 60) erfolgt mittels codierter Steckelemente. Entwicklungsziel war eine Steuerung, die an der Maschine einfach programmiert werden konnte.¹¹⁵¹

In den 1970er Jahren entschied sich Heller dafür, wieder eigene NC-Steuerungen zu entwickeln und zu bauen, da dies durch Mikroprozessoren einfacher geworden war. 1979 erschien die uni-Pro NC 80-M und 1983 die uni-Pro NC 80-C.¹¹⁵² Während die uni-Pro NC 80-M noch eine Streckensteuerung war, handelte es sich bei der uni-Pro NC 80-C um eine Mehrprozessorsteuerung für Bearbeitungszentren mit Bahninterpolation und allen damals üblichen NC-Funktionen.¹¹⁵³ Der eigene Steuerungsbau wurde Anfang der 1980er Jahre vom Entwicklungsleiter gegenüber dem Verfasser damit be-

¹¹⁴⁷ Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Ordner: Eigene Beschreibung über Schwachstromsteuerungen und numerische Steuerungen; Prospekt; Opferkuch (11.01.1963).

¹¹⁴⁸ Da Heller bis Anfang der 1980er Jahre keine eigene Bahnsteuerung hatte, wurden die NC-Bahn- und Streckensteuerungen bei Bedarf zugekauft. Von Siemens z. B. gibt es ein Werbeblatt für die Sinumerik 200 an einer Heller SBR 50, das zeitlich im Prospektarchivordner von Heller zwischen 1966 und 1968 eingeordnet ist. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner Steuerungen 1963 bis 1999; Siemens AG (vermutlich 1967b). Dies ist plausibel, da Siemens 1967 die Steuerungsfamilie Sinumerik 200 vorstellte. Basilowski/Wiehn (1967). In einer 1978 als Anzeige geschalteten Veröffentlichung von Gunsser ist ein Heller-Bearbeitungszentrum mit einer Steuerung Sinumerik System 7 abgebildet. Vgl. Gunsser (1978), S. 1007.

¹¹⁴⁹ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1988), S. 3.

¹¹⁵⁰ Transistor-Transistor-Logik.

¹¹⁵¹ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1973), gez. S. 3.

¹¹⁵² Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1988), S. 3.

¹¹⁵³ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1988), S. 16.

gründet, dass es nur so möglich sei, Steuerung und Maschine optimal aufeinander abzustimmen und schnell auf neue Kundenanforderungen zu reagieren.¹¹⁵⁴

Die uni-Pro-Steuerung wurde bis Ende der 1990er Jahre in verschiedenen Entwicklungsstufen produziert. Ab Ende 1999 lieferte dann Heller auf „Druck der Anwender“ seine NC-Maschinen standardmäßig mit der Sinumerik 840D von Siemens aus.¹¹⁵⁵

Auch flexible Fertigungssysteme bot Heller früh an. In einem Fachaufsatz beschrieb 1974 Gunsser ausführlich das wahrscheinlich erste von Heller gebaute flexible Fertigungssystem mit den Bearbeitungszentren vom Typ BEA 3. Es handelte sich um eine recht komplexe Anlage mit vier Bearbeitungszentren zur Herstellung gehäuseförmiger Werkstücke. Die Anlage war mit einem Speicherregal mit Regalbediengerät ausgerüstet¹¹⁵⁶ und war der Beginn einer langen Tradition bei Heller; flexible Fertigungssysteme, die zu flexiblen Fertigungslinien weiterentwickelt wurden, bietet Heller im Projektgeschäft noch heute an.¹¹⁵⁷

Zusammengefasst hatte Heller mit seinen elektro-hydraulischen Steuerungen sehr gute Voraussetzungen für den Einstieg in die NC-Technik und nutzte diese für die Entwicklung einer eigenen NC-Steuerung für die SBR 32. Durch die von Hermann Heller geprägte Firmentradition, Wissen und Erfahrungen über technische Vereine und Verbände zu teilen, arbeitete Heller von Anfang an in verschiedenen Gremien mit, die die NC-Technik förderten. Insbesondere durch Mitarbeit im VDI bzw. den Ausschüssen der ADB leistete Heller wichtige Beiträge zur Normung der NC-Technologie in der Bundesrepublik Deutschland und war im Untersuchungszeitraum ein wichtiges Mitglied des produktionstechnischen Innovationssystems.

Abgesehen von einer Unterbrechung von etwa Mitte der 1960er Jahre bis Anfang der 1970er Jahre stellte Heller fast 40 Jahre die NC-Steuerungen für seine Maschinen zu einem großen Teil selbst her. Heller versprach sich vom Eigenbau eine größere Flexibilität bei der Integration von Kundenwünschen, d. h. einen größeren Kundennutzen seiner NC-Maschinen. Ein Umdenken setzte bei Heller ein, als die am Markt verfügbaren NC-Steuerungen einen immer größeren Funktionsumfang hatten und über Anwenderschnittstellen vom Maschinenhersteller modifizierbar wurden. Hinzu kam, dass die Großkunden zur Reduzierung der Service- und Bedienungskomplexität die Steuerungsvielfalt in ihren Produktionsstätten einschränken wollten. Diese Gemengelage führte dazu, dass Heller 1999 den Eigenbau von NC-Steuerungen aufgab. Im Jahr

¹¹⁵⁴ Die Äußerungen fielen sinngemäß bei mehreren Besprechungen Anfang der 1980er Jahre, als der Autor längere Zeit bei Heller im Rahmen eines Projekts arbeitete.

¹¹⁵⁵ MAV (2000). Interview mit Berndt Heller, Geschäftsführer Gebr. Heller. Mit „Druck der Anwender“ meinte Berndt Heller wahrscheinlich, dass die großen Endanwender die Steuerungsvielfalt in ihren Betrieben bei Großprojekten mit Maschinen von mehreren Werkzeugmaschinenherstellern beschränken wollten.

¹¹⁵⁶ Gunsser (1974). Leider geht aus dem Artikel nicht hervor, welche NC-Steuerungen das FFS hatte.

¹¹⁵⁷ Vgl. Gebr. Heller Maschinenfabrik (2021).

2020 war Heller mit einem Umsatz von 383 Mio. € der fünftgrößte europäische Werkzeugmaschinenhersteller für zerspanende Maschinen.¹¹⁵⁸ Seit 2016 ist Heller wieder vollständig im Familienbesitz.¹¹⁵⁹

5.4 Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (Burr) in Ludwigsburg

Ein weiterer wichtiger baden-württembergischer Hersteller von NC-Bearbeitungszentren im Untersuchungszeitraum war etwa ab Mitte der 1960er Jahre bis zur Insolvenz Anfang 1976¹¹⁶⁰ die Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (Burr)¹¹⁶¹. Im Unterschied zu Boehringer, Burkhardt+Weber und Heller war Burr kein Werkzeugmaschinenhersteller mit einer langen Tradition. Burr war eine junge Firma und wurde am 1. November 1947 in Ludwigsburg durch Willi Burr und Walter Trampusch nach ihrer Flucht aus der SBZ gegründet. Sie hatten vor ihrer Flucht mehr als zehn Jahre die Fertigung für Feinstbohrwerke und Sondermaschinen bei der VOMAG¹¹⁶² geleitet, verfügten also über eine hohe fachliche Qualifikation.¹¹⁶³

Nach der Gründungsphase, in der sich Burr auf die Reparatur kriegsbeschädigter Maschinen konzentrierte, wurden ab 1949 Feinstbohrwerke und Sondermaschinen konstruiert und gebaut, die später durch Transferstraßen ergänzt wurden. Die unter dem Namen Burr vertriebenen Maschinen hatten bald einen sehr guten Ruf. Die steigenden Umsätze erforderten bald einen Neubau. 1955 erfolgte die Grundsteinlegung des neuen Werks in Ludwigsburg, das ab 1958 voll in Betrieb war.¹¹⁶⁴

Über Burr gibt es nur noch wenige Unterlagen, da nach Abschluss des Insolvenzverfahrens alle Firmenunterlagen vernichtet wurden. Nur das Stadtarchiv Ludwigsburg hat einen sehr kleinen Bestand zu Burr.¹¹⁶⁵ Umso erfreulicher war es, dass zwei ehemalige Mitarbeiter von Burr interviewt werden konnten, darunter der ehemalige Konstruktionsleiter der NC-Bearbeitungszentren Michael Geiger. Zusammen mit der Auswertung von Fachaufsätzen und Unterlagen aus dem Archiv des Einkaufs der Heidelberger Druckmaschinen (Heidelberger), einem Großabnehmer von Sondermaschinen

¹¹⁵⁸ Vgl. Dusold (2021).

¹¹⁵⁹ Vgl. Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH (2019), S. 5.

¹¹⁶⁰ Ludwigsburger Kreiszeitung (1976), S. 3.

¹¹⁶¹ Die zweite Bezeichnung der Ludwigsburger Maschinenbau GmbH war Burr, nach dem Namen des geschäftsführenden Gesellschafters. Die Bezeichnung Burr taucht auf fast allen offiziellen Dokumenten auf und wurde meistens verwendet, da sie kürzer war. Siehe hierzu auch die erste Seite der Festschrift zur Fertigstellung des neuen Werks. Vgl. Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (1958), S. 1.

¹¹⁶² Vogtländische Maschinenfabrik Aktiengesellschaft, Plauen/Vogtland.

¹¹⁶³ Vgl. Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (1958), S. 3. Im WABW in Stuttgart-Hohenheim gibt es keinen Bestand zu Burr, da es erst nach der Insolvenz von Burr 1980 gegründet wurde. Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (2020).

¹¹⁶⁴ Vgl. Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (1958), S. 3–7.

¹¹⁶⁵ Stadtarchiv Ludwigsburg, SK 4.4.2; Burr (1958–1981).

und NC-Bearbeitungszentren von Burr, konnten die NC-Aktivitäten von Burr recherchiert werden.

Danach entstanden aus Aufträgen von Sondermaschinen bzw. Maschinenkomponenten für Heidelberger ab Anfang der 1960er Jahre durch Weiterentwicklungen zuerst NC-Sondermaschinen und dann NC-Bearbeitungszentren, die anfangs nur an Heidelberger geliefert wurden.¹¹⁶⁶

Wie in Kapitel 6.1 ausführlich beschrieben, bestellte Heidelberger bei Burr Anfang der 1960er Jahre Maschinenkomponenten. Diese waren für eine hochautomatisierte Fertigung vorgesehen, die vom Heidelberger Sondermaschinenbau geplant wurde. Anfangs lieferte Burr nach genauer Spezifikation von Heidelberger nur sogenannte Basismaschinen. Heidelberger ergänzte die Basismaschinen dann mit einer Steuerung und Hydraulik und integrierte sie in seine Fertigung. Nach und nach durfte Burr die Fertigungstiefe der Sondermaschinen für Heidelberger erhöhen. In mehreren Entwicklungsschritten entstanden dadurch aus den Basismaschinen für Heidelberger erste Ausprägungen von NC-Bearbeitungszentren, die Heidelberger zuerst als Einzelmaschinen, später auch integriert in erste flexible Fertigungssysteme (FFS), einsetzte.

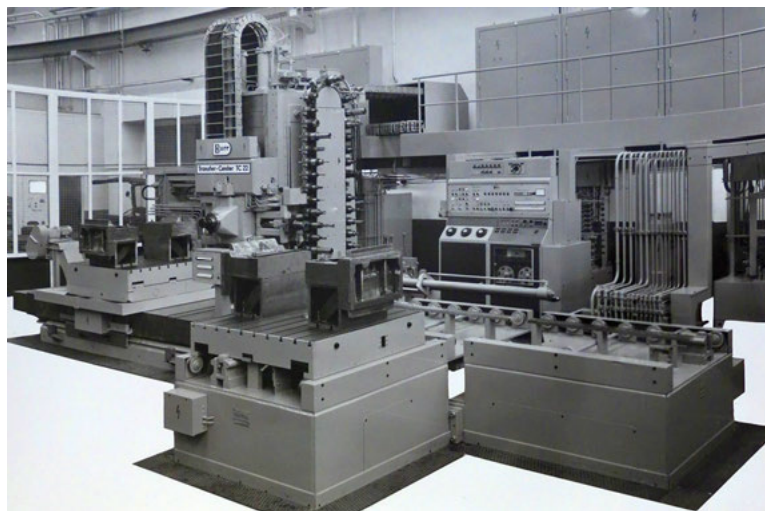


Abbildung 47: Burr Transfer-Center TC 22¹¹⁶⁷

Trotz der strengen Geheimhaltung, die Heidelberger von seinen Lieferanten verlangte, erlaubte Heidelberger, dass Burr unter dem Namen TC 22¹¹⁶⁸ ein technisch etwas abgespecktes Bearbeitungszentrum auf der 10. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung 1967 in Hannover ausstellte (Abbildung 47) und es – ausgenommen an

¹¹⁶⁶ Insgesamt bestellte Heidelberger bei Burr zwischen von 1965 bis Anfang der 1970er Jahre ca. 60 Bearbeitungseinheiten mit Werkzeugwechsler und Paletteneinrichtung. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3.

¹¹⁶⁷ Bildquelle: Privatarhiv Michael Geiger, Ordner Fotos Burr, 8382/1770; Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (o. J.).

¹¹⁶⁸ Transfer-Center.

Konkurrenten von Heidelberg – auch verkaufen durfte.¹¹⁶⁹ Durch Weiterentwicklungen wurde die TC 22 um Varianten mit größeren und kleineren Verfahrwegen ergänzt; es entstanden die Varianten TC 11, TC2-S0 und TC 33.¹¹⁷⁰

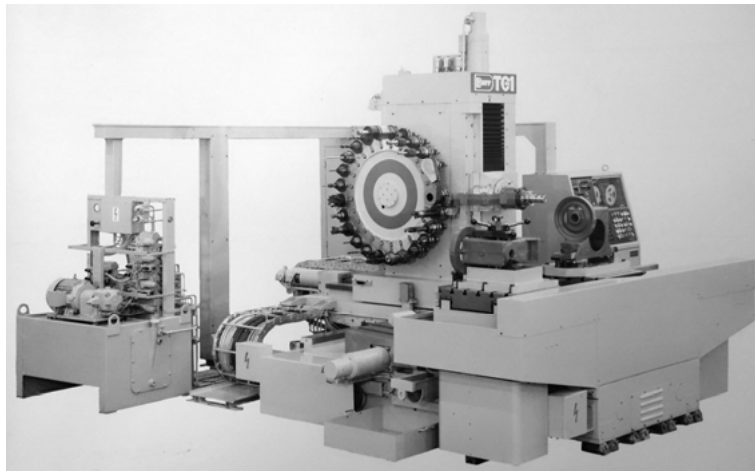


Abbildung 48: Burr Transfer-Center TC 1¹¹⁷¹

In einem weiteren Schritt entwickelte Burr auf eigene Kosten – d. h. ohne Rückgriff auf die Entwicklungen für Heidelberg, aber mit dem bei Heidelberg gewonnenen Know-how – das deutlich kleinere und kompaktere Bearbeitungszentrum TC 1. Es kam 1969/1970 auf den Markt (Abbildung 48) und wurde bei Heidelberg nicht eingesetzt.¹¹⁷²

Burr war mit seinen Bearbeitungszentren im Markt recht erfolgreich. Nach Clausnitzer kam Burr zwischen 1970 und 1974 in Westdeutschland bei den Bearbeitungszentren auf einen Marktanteil von immerhin 7 %, ¹¹⁷³ ein ordentlicher Wert für einen Anbieter, der erst wenige Jahre in diesem Marktsegment tätig war.

Da viele Burr-Maschinen bei Heidelberg in flexible Fertigungssysteme eingebunden waren (vgl. Kapitel 6.1), sammelte Burr früh Erfahrung mit dieser damals noch neuen Technologie. Burr verstand es, sein Know-how in Aufträge von anderen Kunden umzusetzen, was eine Erklärung für den relativ hohen Marktanteil bei NC-Bearbeitungs-

¹¹⁶⁹ Vgl. o. V. (1967a), S. 2276 und Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3. Heidelberger achtete streng darauf, dass Burr keine Maschinenkomponenten anbot bzw. bewarb, die Heidelberg als Alleinstellungsmerkmale seines Fertigungssystems betrachtete. Weil Burr nach Meinung von Heidelberg in einem Prospekt gegen diese Verpflichtung verstoßen hatte, kam es Anfang 1970 zu einer ersten Verstimmung zwischen Heidelberg und Burr. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), Anlage 18, gez. S. 78–93. Der Verkauf der Bearbeitungszentren an die Konkurrenten von Heidelberg war vertraglich verboten. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 11.

¹¹⁷⁰ Privatarhiv Michael Geiger, Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (1972).

¹¹⁷¹ Bildquelle: Privatarhiv Michael Geiger, Ordner Burr Fotos; Ludwigsburger Maschinenbau GmbH (um 1970).

¹¹⁷² Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 7 und 11.

¹¹⁷³ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 10.

zentren sein könnte. Nach Geiger belieferte Burr bis zur Insolvenz Anfang 1976 mindestens zehn weitere Kunden mit FFS. Davon war die 1975 an den Getriebemotorenhersteller Bauer in Esslingen ausgelieferte Anlage mit einem Auftragsvolumen von 10 Mio. DM das umfangreichste FFS.¹¹⁷⁴

Dieses Projekt war nach Geiger das erste große kommerzielle westdeutsche FFS nach den Projekten bei Heidelberger¹¹⁷⁵ und hatte bemerkenswerte Kenndaten. Es bestand aus neun verketteten Bearbeitungszentren TC 1 mit einem Magazin für je 30 Werkzeuge, die sich gegenseitig ersetzen konnten. Die Werkzeugkodierung war für maximal 9999 unterschiedliche Werkzeuge ausgelegt. Hinzu kam eine Palettenkodierung für die Steuerung des Werkstücktransports. Die Palettenkodierung bestand aus drei Ziffern, die mit der Programmnummer identisch waren; zwei Ziffern repräsentierten die Werkstücknummer, eine Ziffer den Typ der Werkstückaufspannung. Insgesamt konnten auf der Anlage 193 unterschiedliche Werkstücktypen gefertigt werden. Die Bearbeitungszentren hatten NC-Steuerungen von Bosch. Sie wurden über eine „NC-Zentralstation“ koordiniert, die als Leitrechner fungierte.¹¹⁷⁶

Trotz seiner weitentwickelten NC-Technologie musste Burr Anfang 1976 Insolvenz anmelden, die zur Auflösung der Firma führte. Das Insolvenzverfahren wurde 1981 mit einer Quote von 103 % „erfolgreich“ abgeschlossen, was die Ludwigsburger Zeitung zu einem ausführlichen Bericht über Burr und die Insolvenzabwicklung veranlasste.¹¹⁷⁷ Danach wurde die Insolvenz 1975 durch die englische Fachzeitschrift „The Engineer“ ausgelöst. Diese berichtete über finanzielle Schwierigkeiten der Firmen Karl Hüller GmbH (Hüller) und Burr.¹¹⁷⁸ Hüller und Burr hätten danach keine neuen Aufträge mehr erhalten, was dann zur Insolvenz von Burr geführt habe.¹¹⁷⁹ Im Unter-

¹¹⁷⁴ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 7. Die anderen inländischen Endkunden waren nach Geiger die Firmen Deckel, ZF-Friedrichshafen, MTU-Friedrichshafen, Bosch Homburg/Saarland, MWM-Mannheim. Ausländische Endkunden waren Kraftwerk Jenbach in Österreich, Steyr Österreich, ELAN-Wien, BBC-Schweiz und ASEA in Schweden.

¹¹⁷⁵ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 16–17. In Ergänzung zum Aufsatz seines ehemaligen Mitarbeiters Neubrand (nächste Fußnote) berichtet Geiger, dass in die Anlage auch noch eine Waschmaschine von Dürr eingebunden war, und dadurch die auf der Anlage gefertigten Getriebegehäuse direkt zum Lackieren transportiert werden konnten.

¹¹⁷⁶ Neubrand (1975).

¹¹⁷⁷ O. V. (1981b), S. 3–4.

¹¹⁷⁸ O. V. (1975b).

¹¹⁷⁹ Geiger sieht als eigentliche Ursache für die Insolvenz einen russischen Großauftrag von 1973/1974 für Transferstraßen für das PKW-Werk in Togliatti. Dieser wurde angenommen, um Auftragslücken durch die erste Ölkrise zu kompensieren. Der Großauftrag hatte das Volumen einer ganzen Jahresproduktion und verhinderte die Annahme weiterer Aufträge. Als es zu von Burr unverschuldeten Abwicklungs- und Zahlungsproblemen kam (die Fabrikhallen in Togliatti wurden zu spät fertig) kam es zu Liquiditätsengpässen. Diese thematisierte die Zeitschrift „The Engineer“, was die angespannte Situation verschärfte. Ein weiterer Grund war nach Ansicht von Geiger, dass die Banken Wert und Kreditwürdigkeit von Burr zu niedrig einschätzten. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 11–13.

schied zu Burr sei Hüller durch Thyssen gerettet worden.¹¹⁸⁰ Bemerkenswert bei der Insolvenzabwicklung war, dass der Verkauf der „Konstruktionsrechte“ der Bearbeitungszentren an die DIAG¹¹⁸¹ einen deutlich höheren Erlös brachte als der der Sondermaschinen (2,3 Mio. DM versus 1,5 Mio. DM),¹¹⁸² obwohl die Bearbeitungszentren nur einen Umsatzanteil von 10–15 % hatten.¹¹⁸³ Die NC-Bearbeitungszentren trugen also überdurchschnittlich zur „erfolgreichen“ Insolvenzabwicklung bei.

Zusammengefasst entwickelte Burr durch die Zusammenarbeit mit Heidelberger innovative Bearbeitungszentren, die sich sehr gut für anspruchsvolle Bearbeitungsaufgaben und die Integration in flexible Fertigungssysteme eigneten.¹¹⁸⁴ Wegen finanzieller Probleme und einer Fehleinschätzung der Banken musste Burr Anfang 1976 Insolvenz anmelden. Im Rahmen der Insolvenz wurde das Programm der Transfer-Center an die DIAG verkauft und war anschließend mehrere Jahre lang die Grundlage der Bearbeitungszentren von Fritz Werner in Berlin.

5.5 Trumpf GmbH + Co. KG in Ditzingen

Der Geschäftsbereich Werkzeugmaschinen der Trumpf GmbH + Co. KG in Ditzingen bei Stuttgart (Trumpf) war im Geschäftsjahr 2020/2021 mit deutlichem Abstand der

¹¹⁸⁰ Vgl. o. V. (1981b), S. 3.

¹¹⁸¹ Deutsche Industrieanlagen GmbH

¹¹⁸² Vgl. o. V. (1981b), S. 4. Das Programm der Bearbeitungszentren wurde von der DIAG übernommen. In einem Faltprospekt der Werner und Kolb Werkzeugmaschinen GmbH um das Jahr 1986 steht dazu:

„1966 wird FRITZ WERNER in die auf Betreiben des Bundeswirtschaftsministeriums gegründete DEUTSCHE INDUSTRIEANLAGEN GMBH (DIAG) eingegliedert und fungiert dort als Führungsunternehmen. Zwischenzeitlich sind die meisten Firmen aus diesem Verbund wieder ausgeschieden, sodass die DIAG heute nur noch aus Unternehmen der Fritz Werner-Gruppe besteht. Ein teilweise sehr problematisches industrielles Anlagengeschäft bestimmt die Entwicklung der DIAG in den nächsten 10 Jahren. Dadurch treten die Pflege und der Ausbau des Werkzeugmaschinenprogramms von FRITZ WERNER etwas in den Hintergrund. Um diesen Rückstand wieder aufzuholen, wird 1976 von der Firma Burr, Ludwigsburg, das Programm der bekannten Transfer-Center übernommen. Die TC-Baureihe wird danach systematisch weiterentwickelt und ausgebaut und bildet die Grundlage für das heutige Maschinenprogramm modernster Bearbeitungszentren.“ Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner Fritz Werner Werkzeugmaschinen AG, Archivmaterialien, Haak 1994; Werner und Kolb Werkzeugmaschinen GmbH (ca. 1986), S. 3.

¹¹⁸³ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 13.

¹¹⁸⁴ Bis ca. 1986 wurden mehr als 60 flexible Fertigungssysteme von Fritz Werner verkauft, die die Konstruktion der Burr Bearbeitungszentren über die DIAG aus der Insolvenzmasse übernommen hatte. Dies ist ein nachträglicher Beweis für die Qualität der Burr-Bearbeitungszentren. Vgl. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin, Ordner Fritz Werner Werkzeugmaschinen AG, Archivmaterialien, Haak 1994; Werner und Kolb Werkzeugmaschinen GmbH (ca. 1986), gez. S. 4.

größte Werkzeugmaschinenhersteller in Deutschland und damit auch in Baden-Württemberg.¹¹⁸⁵

Die Geschichte von Trumpf begann 1923,¹¹⁸⁶ als Alfred Kern und Julius Klein ihre offene Handelsgesellschaft Julius Geiger in die Julius Geiger GmbH in Stuttgart einbrachten, die sie mit dem Kaufmann Christian Trumpf gründeten.¹¹⁸⁷ Das Kernprodukt waren biegsame Wellen, die z. B. für Zahnarztbohrer verwendet wurden. Später, mit der Entwicklung eines motorischen Antriebs, kamen sie auch bei der Bearbeitung von Holz und Metall zum Einsatz.¹¹⁸⁸ Wegen wachsender Umsätze und erhöhtem Platzbedarf zog Trumpf 1933 in den Stuttgarter Vorort Weilimdorf um.¹¹⁸⁹

Ab Anfang der dreißiger Jahre beschäftigte sich Trumpf mit der Entwicklung von elektrisch angetriebenen Handscheren, auch für die Blechbearbeitung, und legte so den Grundstein für die spätere Unternehmensausrichtung.¹¹⁹⁰ 1937 erfolgte die Umbenennung des Unternehmens in Trumpf & Co. KG vormals Julius Geiger GmbH.¹¹⁹¹

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die Trumpf Aushauschere TAS als neues Produkt vorgestellt, ein Vorläufer der Stanzmaschinen. Sie wurde weltweit erfolgreich vertrieben und verhalf Trumpf zu weiterem Wachstum.¹¹⁹² Christian Trumpfs Patensohn Berthold Leibinger, der nach seinem Maschinenbaustudium 1957 als Ingenieur bei Trumpf arbeitete, entwickelte diese Maschine zur Kopiernibbelmaschine weiter. Mit der weiterentwickelten Maschine konnte eine Schablone abgefahren werden. Dabei

¹¹⁸⁵ Im Geschäftsjahr 2020/2021 erzielte der Geschäftsbereich Werkzeugmaschinen der Trumpf GmbH + Co. KG einen Umsatz von 2.039 Mio. €. Vgl. Trumpf GmbH + Co. KG (2021a), S. 65. Der zweitgrößte deutsche Werkzeugmaschinenhersteller, die DMG Mori AG erreichte 2020 mit Werkzeugmaschinen einen Umsatz von 1.047 Mio. €. Vgl. DMG Mori AG (2021), S. 64. Das waren nur 51 % von Trumpf. Hinzu kamen bei der DMG Mori AG noch 784 Mio. € für industrielle Dienstleistungen, so dass auch bei Addition der Zahlen der Umsatz kleiner als bei Trumpf war. Wegen der zueinander verschobenen Geschäftsjahre sind die veröffentlichten Umsätze nicht direkt vergleichbar. Das Geschäftsjahr von Trumpf endete zum 30.6. 2021, das der DMG Mori AG aber schon zum 30.12.2020, sodass die Auswirkungen der Corona-Krise 2020 auf die Jahresabschlüsse unterschiedlich waren.

¹¹⁸⁶ Die Geschichte von Trumpf basiert hauptsächlich auf folgenden Quellen: der Autobiografie von Berthold Leibinger (Leibinger (2010)), der Dissertation von Berthold Leibinger, in der er sich vergleichend mit der Entwicklung der Werkzeugmaschinenindustrie in Deutschland, Japan und den USA auseinandersetzt (Leibinger (2014)) und der Unternehmensgeschichte von Trumpf, die 2018 der Wirtschaftshistoriker Streb 2018 veröffentlichte (Streb (2018)). Die ersten beiden Quellen sind bzgl. ihrer Aussagen zu Trumpf kritisch zu betrachten, da sie in Teilen sicher subjektiv geprägt sind. Dies gilt weniger für das Buch von Streb, bei dem es sich zwar um eine Auftragsarbeit von Trumpf handeln soll, dem Autor aber keine Vorgaben gemacht wurden. Sie enthält viele bisher unbekannte Details, da der Autor fast unbeschränkten Zugang zum Firmenarchiv hatte.

¹¹⁸⁷ Vgl. Streb (2018), S. 55.

¹¹⁸⁸ Vgl. Streb (2018), S. 58.

¹¹⁸⁹ Vgl. Streb (2018), S. 76.

¹¹⁹⁰ Vgl. Streb (2018), S. 81–87. Herstellung und Vertrieb der elektrisch angetriebenen Handscheren (Elektrohandscheren) waren mit komplizierten Patentstreitigkeiten verbunden, die Streb sehr ausführlich schildert.

¹¹⁹¹ Vgl. Streb (2018), S. 60.

¹¹⁹² Vgl. Streb (2018), S. 127–130. Nach der Tabelle 2.6 von Streb hatten 1957 die Aushauschere einen Umsatzanteil von 49 % erreicht und waren damit mit Abstand die größte Produktgruppe.

stanzte die Maschine die abgefahrene Kontur aus einer Blechtafel heraus. Die Maschine wurde 1958 auf der Technikschaу in Utrecht erstmals mit großem Erfolg ausgestellt.¹¹⁹³ Sie war die technische Basis für die neun Jahre später vorgestellte TRUMATIC 20, die erste Trumpf Blechbearbeitungsmaschine mit einer numerischen Bahnsteuerung. Aber noch war es nicht soweit. Berthold Leibinger wollte erst noch im damals führenden Werkzeugmaschinenland USA Erfahrungen sammeln.

Im November 1958 trat Leibinger bei der Cincinnati Milling Machine Co. eine Stelle als Konstrukteur im Entwicklungsbüro an.¹¹⁹⁴ Während dieser Zeit kam er erstmals mit numerisch gesteuerten Maschinen in Berührung und konstruierte den Werkzeugrevolver für eine numerisch gesteuerte Drehmaschine. In seinem „Lebensbericht“ notierte er dazu:

Eine Drehmaschine mit einem Werkzeugrevolver, den ich konstruiert hatte, war ein Teil der Ausstellung. Ich hatte das große Glück, bei der Entwicklung der ersten numerisch gesteuerten Maschinen mitwirken zu dürfen. Dabei lernte ich eine völlig neuartige Technik kennen, nämlich die Steuerung von Werkzeugmaschinen mit Computern.¹¹⁹⁵

Vor seiner Rückkehr zu Trumpf besuchte Leibinger 1960 noch die Chicagoer Werkzeugmaschinenausstellung. Besonders beeindruckte ihn dort die numerisch gesteuerte Revolverstanzmaschine von Wiedemann, eine Weiterentwicklung der Maschine in Abbildung 12:

Das Blech wurde in eine Koordinatenführung eingespannt und mit zwei gesteuerten Bewegungsachsen in die jeweils notwendige Position unter dem Stößel gebracht, der das Stanzwerkzeug führte. Nach Erreichen der programmierten Position wurde der Stanzhub durch die Steuerung ausgelöst. Diese Lösung für Revolverstanzmaschinen zeigte die amerikanische Firma Wiedemann auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago schon im Jahr 1960.

Ich stand staunend vor der Wiedemann-Maschine, erkannte aber gleich, dass die Führungskinematik für das Blech umständlich und störanfällig gelöst war. Trotzdem: Die Geschwindigkeit, mit der die Maschine arbeitete – mit Positioniergeschwindigkeiten von sechs Metern pro Minute wurde das Blech verschoben –, schien enorm.¹¹⁹⁶

Nach seiner Rückkehr Ende 1960 wurde Leibinger zum 1. Januar 1961 die Konstruktionsleitung bei Trumpf übertragen.¹¹⁹⁷ Seine Vision, eine bessere numerisch gesteuerte Stanzmaschine als Wiedemann zu bauen, konnte Leibinger allerdings kurzfristig nicht umsetzen. Ohne auf Details einzugehen, schrieb er:

¹¹⁹³ Vgl. Streb (2018), S. 138–143, insbesondere aber S. 143.

¹¹⁹⁴ Vgl. Leibinger (2010), S. 74–77.

¹¹⁹⁵ Leibinger (2010), S. 86. Mit „Ausstellung“ meinte Leibinger die Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Chicago.

¹¹⁹⁶ Leibinger (2010), S. 136.

¹¹⁹⁷ Leibinger (2010), S. 91.

Trumpf war in den frühen Sechzigerjahren auch aus anderen Gründen nicht in der Lage, an die NC-gesteuerte Maschine auch nur zu denken. In der Produktion, aber auch in der Entwicklung fehlten alle Voraussetzungen.¹¹⁹⁸

Erst 1967 wagte es Leibinger, an die Kopiernibbelmaschine eine numerische Bahnsteuerung anzubauen. Er konnte Christian Trumpf überzeugen, die TRUMATIC 20 (TC 20) genannte Maschine¹¹⁹⁹ 1967 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover auszustellen (Abbildung 49).¹²⁰⁰

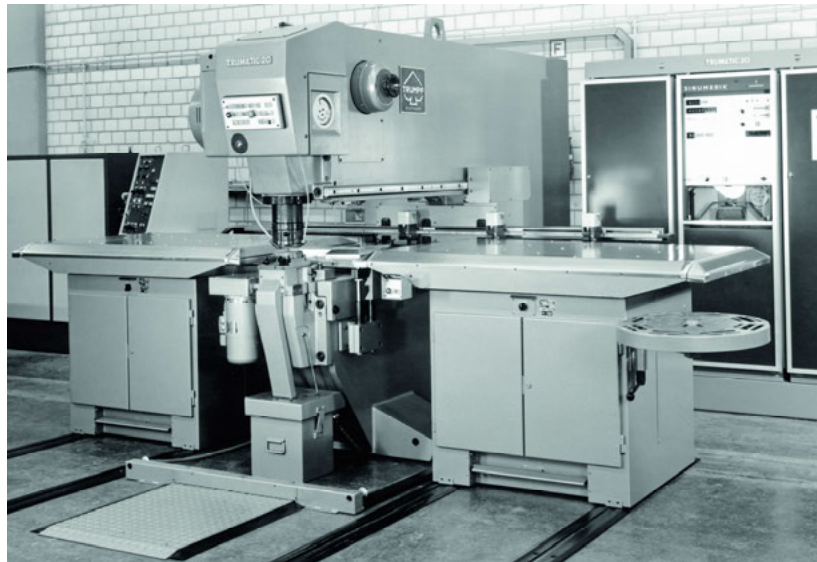


Abbildung 49: TRUMATIC 20: Erste Werkzeugmaschine mit numerischer Bahnsteuerung zum Stanzen und Nibbeln¹²⁰¹

Aus Sicht von Leibinger war die Maschine trotz des hohen Preises ein großer Erfolg:

Das Wagnis gelang. Wir hatten – als erstes Unternehmen auf der Welt – eine Blechbearbeitungsmaschine, mit der man elektronisch gesteuert mit nur einem Werkzeug beliebige Ausschnitte und Konturen ausnibbeln, das heißt schrittweise ausstanzen konnte.“¹²⁰² [...] „Auf der Werkzeugmaschinenmesse in Hannover 1967 war die Maschine eine kleine Sensation. Wir schwebten auf einer Wolke der Anerkennung und bekamen auch ein wenig Neid zu spüren. Unser Vertrieb im In- und Ausland lag mir zu Füßen. Siemens und BBC wollten auf der TRUMATIC, wie wir die Maschine nannten, Schalttafeln herstellen, Daimler Schablonen für die Werkzeugkontrolle, Bombardier Seitenwände von Eisenbahnwaggons.¹²⁰³

¹¹⁹⁸ Leibinger (2010), S. 137.

¹¹⁹⁹ Der von Leibinger genannte Name Trumatic TC 20 muss etwas später eingeführt worden sein. Im Messebericht der Zeitschrift Werkstatt & Betrieb ist von der numerisch bahngesteuerten Kopierstanze CS 20-1350 NC die Rede. Vgl. Eckstein u. a. (1967), S. 931.

¹²⁰⁰ Vgl. Leibinger (2010), S. 137–140.

¹²⁰¹ Bildquelle: Archiv Trumpf GmbH + Co. KG, Trumpf GmbH + Co. KG (1967).

¹²⁰² Leibinger (2010), S. 138.

¹²⁰³ Leibinger (2010), S. 140.

Auch wenn Leibinger wahrscheinlich etwas übertrieb, der Umsatz von Trumpf stieg nach der Vorstellung der numerisch gesteuerten Stanzmaschine kontinuierlich weiter an.¹²⁰⁴ Für das benötigte Fertigungsvolumen reichten die Räumlichkeiten in Stuttgart-Weilimdorf bald nicht mehr aus. Trumpf baute deshalb ein neues Werk in Ditzingen bei Stuttgart, das 1972 offiziell eröffnet wurde.¹²⁰⁵

Durch die NC-gesteuerten Nibbelmaschinen und den neuen Standort mit einer höheren Fertigungskapazität konnte Trumpf in den 1970er Jahren deutlich wachsen. Im Geschäftsjahr 1978/1979 wurde erstmals ein Umsatz von über 100 Mio. DM erzielt.¹²⁰⁶

In der zweiten Hälfte der 1970er Jahre wurde in Fachkreisen bekannt, dass Laser auch Bleche mit mehreren Millimetern Dicke schneiden können.¹²⁰⁷ Die Schweizer Firma Laser Work in Winterthur hatte sogar schon 1975 eine NC-gesteuerte Laserflachbettmaschine vorgestellt, die Blech bis 5 mm schneiden konnte.¹²⁰⁸

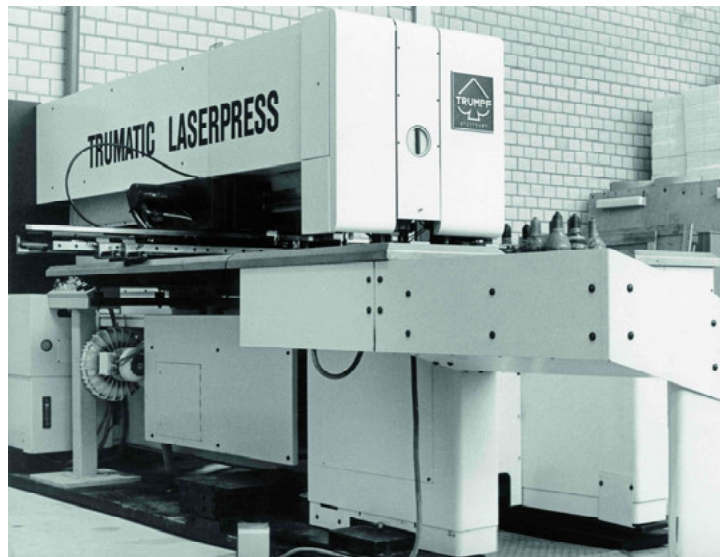


Abbildung 50: TRUMATIC 180 LASERPRESS: Kombinierte Blechbearbeitungsmaschinen zum Laserschneiden, Stanzen, Nibbeln und Umformen¹²⁰⁹

Auch Trumpf beschäftigte sich mit Anwendungen des Lasers in der Blechbearbeitung. Um sich aus erster Hand über den Entwicklungs- und Leistungsstand der Laser zu informieren, reiste Leibinger im Winter 1978 durch die USA.¹²¹⁰ Seine Eindrücke waren verhalten positiv; nach seiner Rückkehr bestellte Trumpf einen Laser bei der amerika-

¹²⁰⁴ Vom GJ 1966/67 bis zum GJ 1969/70 konnte Trumpf den Umsatz 20,9 auf 40,3 Millionen DM fast verdoppeln. Der Umsatzanteil der Trumatic stieg von 0 % auf 17 % an. Vgl. Streb (2018), Tabelle 3.1, S. 157.

¹²⁰⁵ Vgl. Leibinger (2010), S. 163.

¹²⁰⁶ Vgl. Leibinger (2010), S. 175.

¹²⁰⁷ Die Anfänge der Materialbearbeitungslaser in der Bundesrepublik Deutschland untersuchte 2012 Cornelia Fabian in ihrer Dissertation. Fabian (2012).

¹²⁰⁸ Vgl. o. V. (1975a).

¹²⁰⁹ Bildquelle: Archiv Trumpf GmbH + Co. KG, Trumpf GmbH + Co. KG (1979).

¹²¹⁰ Vgl. Leibinger (2010), S. 193.

nischen Firma Photon Sources und baute ihn an eine numerisch gesteuerte Stanzmaschine an.¹²¹¹ Die 1979 vorgestellte Maschine bekam den Namen TRUMATIC 180 LASERPRESS (TC 180 L). Es handelte sich um eine kombinierte Stanz-Laser-Maschine (Abbildung 50).¹²¹² Die Kombination von Laser und Stanzvorrichtung war erforderlich, da die Leistung des 500 Watt-Lasers nicht ausreichte, um vor dem Laserschneiden ein „Startloch“ in das Blech zu schneiden; das Startloch musste deshalb bei einem Innenausschnitt ausgestanzt werden.¹²¹³ Die Maschine war ein Erfolg. In drei Jahren wurden 200 Stück verkauft, eine beachtliche Zahl für eine neue Technologie und ein neues Maschinenkonzept.¹²¹⁴ Der große Vorteil der TC 180 L war, dass mit ihr auch nicht stanzbare Teile gefertigt werden konnten, da Größe und Geometrie des Werkzeugs die Kontur des Werkstücks nicht mehr beschränkten. Der Laserstrahl hatte im Vergleich zu den Stanzwerkzeugen fast den Durchmesser „Null“, sodass in Kombination mit einer Bahnsteuerung beliebige Konturen geschnitten werden konnten. Dies eröffnete der Blechbearbeitung ganz neue Möglichkeiten, die von Trumpf und seinen Kunden erst nach und nach erschlossen wurden.

Die großen Probleme des zugekauften Lasers waren die Laserleistung, die Schneidqualität bei einem Richtungswechsel und die Zuverlässigkeit, wie sich nach einiger Betriebserfahrung herausstellte.¹²¹⁵ Da der US-Laserlieferant (Trumpf war zwischenzeitlich zum Laserhersteller Coherent gewechselt) nicht bereit war, die Wünsche von Trumpf bei der Weiterentwicklung ausreichend zu berücksichtigen, entwickelte Trumpf einen eigenen Laser. Nach einigen Rückschlägen konnte Trumpf auf der EMO 1985 zwei selbst entwickelte CO₂-Laser zum Schneiden mit 1000 und 1500 W Laserleistung zeigen.¹²¹⁶

Durch die deutlich höhere Schneidleistung des eignen Lasers wurde die Stanzeinheit für das Anfangsloch beim Laserschneiden mit der TC 180 L nicht mehr benötigt. Trotzdem hat die Kombination einer Stanzeinheit und eines Lasers in einer Maschine bei bestimmten Werkstücken auch heute noch so große Vorteile, dass Trumpf immer noch Kombimaschinen im Programm hat.¹²¹⁷ Für Anwendungen, die keine Stanzeinheit benötigten, bot Trumpf ab 1987 die reine Laserschneidmaschine TRUMATIC L 3000 mit einer fliegenden Optik an (Abbildung 51).¹²¹⁸ Bei dieser wurde im Unterschied zur kombinierten Stanz-Laser-Maschine nur der Schneidkopf bewegt; das Blech ruhte. Der Vorteil war, dass durch die geringere bewegte Masse die Maschine

¹²¹¹ Vgl. Leibinger (2010), S. 193–194.

¹²¹² Vgl. Streb (2018), S. 188.

¹²¹³ Vgl. Leibinger (2014), S. 101.

¹²¹⁴ Vgl. Leibinger (2010), S. 196–197.

¹²¹⁵ Vgl. Leibinger (2014), S. 102.

¹²¹⁶ Vgl. Leibinger (2010), S. 197–200.

¹²¹⁷ Vgl. Trumpf GmbH + Co. KG (2021b).

¹²¹⁸ Vgl. Streb (2018), S. 198–199.

deutlich dynamischer wurde. Pro Zeiteinheit konnten ab einer bestimmten Komplexität mehr Werkstücke als mit der TC 180 L produziert werden.¹²¹⁹



Abbildung 51: Laserschneidmaschine L3000 mit fliegender Optik (1987)¹²²⁰

Ein weiterer Erfolgsfaktor von Trumpf war die verstärkte Internationalisierung des Unternehmens. Sie begann 1967 mit der TRUMATIC 20. Bis zu ihrer Einführung betrug die Exportquote von Trumpf etwa die Hälfte der Exportquote des westdeutschen Werkzeugmaschinenbaus. Danach erreichte sie mit ca. 60 % (+/- 5 %) das Niveau des westdeutschen Werkzeugmaschinenbaus.¹²²¹

Die fünf größten internationalen Absatzmärkte von Trumpf waren 1981 Frankreich (20,5 %), USA (20,4 %), England (9,4 %), Italien (8,4 %) und Japan mit 6,8 %. Flankiert wurde die Internationalisierung zuerst durch die Zusammenarbeit mit Handelspartnern, später durch die Gründung ausländischer Tochtergesellschaften (teilweise mit Fertigung). Die Entscheidung, ob und wann eine eigene Gesellschaft gegründet wurde, hing von der Qualität des Handelspartners, von der Marktgröße und von den rechtlichen Randbedingungen ab. Die erste ausländische Tochtergesellschaft wurde 1963 in der Schweiz gegründet.¹²²²

Zu Japan hatte Trumpf ein besonderes Verhältnis. Der Firmengründer Christian Trumpf sammelte japanische Kunstgegenstände und die Eltern von Berthold Leibinger hatten ein Einzelhandelsgeschäft für Ostasien. So „vorbelastet“ gelang es Leibinger

¹²¹⁹ Stanzmaschinen haben Vorteile bei Werkstücken, die überwiegend aus einfachen Geometrien wie Kreisen und Quadraten bestehen.

¹²²⁰ Bildquelle: Archiv Trumpf GmbH + Co. KG, Trumpf GmbH + Co. KG (1987).

¹²²¹ Vgl. Streb (2018), Abb 5.1, S. 259. Der Durchschnittswert von 60 % galt ungefähr bis 2006 und lag dann bis 2016 eher bei 70%.

¹²²² Vgl. Streb (2018), S. 263–312, insbesondere Streb (2018), Tabelle 5.2, S. 266. Die %-Zahlen beziehen sich auf den Anteil des jeweiligen Landes auf den Gesamtexport von Trumpf.

1962 nach einer gemeinsamen Japanreise mit Christian Trumpf, den japanischen Handelspartner Fujimoto Sangyo zu einer Bestellung von fünfzig Kopiernibbelmaschinen zu bewegen, dem bis dahin größten Einzelauftrag für Trumpf. Aufgrund der guten Zusammenarbeit mit dem japanischen Handelspartner gründete Trumpf erst 1977 eine japanische Vertriebstochter.¹²²³ Etwa zu dieser Zeit erstarkte mit staatlicher Unterstützung die japanische Werkzeugmaschinenindustrie, darunter auch die Firma Amada, mit der Trumpf bis heute in hartem Wettbewerb steht.¹²²⁴

Zusammengefasst gaben die unternehmerischen Entscheidungen Leibingers den Ausschlag dafür, dass Trumpf einer der größten Werkzeugmaschinenhersteller der Welt wurde. Es begann 1967 mit dem Bau einer NC-gesteuerten Stanzmaschine, auf die Ende der 1970er Jahre die Entwicklung einer mit einem Laser kombinierten NC-Stanzmaschine folgte. Die von den Laserlieferanten nicht beseitigten Mängel führten dann Anfang der 1980er Jahre zur Entwicklung eines für das Laserschneiden optimierten Lasers, dessen Technologie der Grundstein für die weitere Unternehmensentwicklung wurde.¹²²⁵ Hinzu kam, dass sich fast alle neuentwickelten Maschinen von der ersten NC-Nibbelmaschine bis zur ersten reinen Laserschneidmaschine außerordentlich gut verkauften, weil die Kunden mit diesen Maschinen große Produktivitätsvorteile hatten.¹²²⁶ Eine typische Win-win-Situation. Flankiert wurde die Expansion durch einen konsequenten Ausbau des Vertriebs und teilweise sogar der Fertigung auf allen wichtigen Auslandsmärkten durch die Gründung eigener Tochtergesellschaften. Der Erfolg und das Erschließen immer neuer Anwendungen ließen Trumpf über die Jahre in immer neue Größenordnungen wachsen. Im Geschäftsjahr 2020/2021 erreichte der Trumpf-Konzern einen Umsatz von 3.504 Mio. €, ¹²²⁷ also in etwa das 70-Fache des Umsatzes von 1978/1979. Der Umsatzanteil der Werkzeugmaschinen betrug 2.039 Mio. €, wobei der statistisch auf Baden-Württemberg entfallende Anteil nicht angegeben ist.¹²²⁸

¹²²³ Vgl. Streb (2018), S. 292–293.

¹²²⁴ Vgl. Streb (2018), S. 294–296. Im Jahr 1990 erzielte Amada mit 1,2 Mio. USD in etwa den dreifachen Umsatz von Trumpf. Vgl. Streb (2018), Tabelle 5.5 S. 295. Im Jahr 2014 lag der Umsatz von Amada bei 2,547 Mio. USD, der von Trumpf bei 2,903 Mio. USD. Vgl. Streb (2018), Tabelle 1.1 S. 13.

¹²²⁵ Z. B. erzielte Trumpf mit optimierten CO₂-Lasern für die Chipfertigung (EUV-Lithographie) im Geschäftsjahr 2020/21 einen Umsatz von 437 Mio. €. Vgl. Trumpf GmbH + Co. KG (2021a), S. 103. Die bei EUV eingesetzten Laser sind Weiterentwicklungen der eigenen CO₂-Laser.

¹²²⁶ Der Produktivitätsfortschritt bei der Blechbearbeitung war durch die NC- und Lasertechnik sehr groß, da sie dem Werkstoff Blech neue Anwendungsgebiete erschloss. Durch die Kombination von Stanzen, Laserschneiden und Biegen konnte die Steifigkeit so erhöht werden, dass viele Werkstücke ohne hohe Genauigkeitsanforderungen (oft Frästeile) durch Blechteile ersetzt werden konnten. Diese Erkenntnis musste sich bei den Konstrukteuren aber erst durchsetzen.

¹²²⁷ Vgl. Trumpf GmbH + Co. KG (2021a), S. U2.

¹²²⁸ Vgl. Trumpf GmbH + Co. KG (2021a), S. 65. Der auf Baden-Württemberg entfallende Umsatzanteil kann nicht angegeben werden, da weder Trumpf noch der VDW entsprechende Zahlen zur Verfügung stellten.

Leibinger selbst sah die Wurzeln seines Erfolgs (und damit des Erfolgs von Trumpf) etwas vereinfacht in seinem USA-Aufenthalt:

Oft habe ich gesagt, dass weder aus mir noch aus TRUMPF das geworden wäre, was später möglich wurde, ohne die Erfahrung in Amerika.¹²²⁹

Damit wollte Leibinger vermutlich ausdrücken, dass ihn seine US-Erfahrungen ermutigten, eine NC-Nibbelmaschine zu bauen, sobald die Randbedingungen dafür bei Trumpf vorhanden waren. Diese Aussage ist insofern richtig, als diese Maschine die Basis für die heutige Firma Trumpf war. Sie berücksichtigt aber nicht, dass wie skizziert noch viele weitere „richtige“ Entscheidungen bzw. Erkenntnisse, davon die meisten erst weitgehend nach dem Untersuchungszeitraum, erfolgsentscheidend waren. Dazu zählt insbesondere der konsequente Einsatz des Lasers als „Werkzeug“ und die gelungene Internationalisierung des Unternehmens.

5.6 Zusammenfassung

Der Vergleich, was bei den fünf untersuchten Werkzeugmaschinenherstellern den Einstieg in die NC-Technologie auslöste, ergab unterschiedliche Ursachen:

- Bei den Gebr. Boehringer waren es wahrscheinlich Überlegungen, Boehringer und damit den VDF technologisch modern und aufgeschlossen aufzustellen und der vom WZL geprägten technischen Leitung (Dr. Schuler und Dr. Rohs), einen Beitrag zur Entwicklung der NC-Maschinen zu leisten.
- Bei Burkhardt+Weber war es eine Anfrage der amerikanischen Firma Hughes Aircraft, an der die Geschäftsleitung Interesse hatte und deren Lösung sich Burkhardt+Weber zutraute.
- Bei den Gebr. Heller war es die traditionelle Aufgeschlossenheit der Geschäftsleitung gegenüber technischen Innovationen in Verbindung mit zusätzlichen Anwendungen für die hauseigene elektrohydraulische Steuerungstechnik.
- Beim Ludwigsburger Maschinenbau (Burr) war es der Bau von NC-Sondermaschinen nach Plänen der Heidelberger Druckmaschinen.
- Bei Trumpf war es der Technologietransfer aus den USA durch den Konstruktionsleiter Leibinger, der den richtigen Zeitpunkt für die NC-Einführung abwartete.

Langfristig profitierten die fünf Firmen sehr unterschiedlich von den NC-Maschinen:

- Nach einer starken Phase in den 1970er Jahren gibt es den Drehmaschinenhersteller Boehringer heute nur noch in stark reduzierter Form; Maschinen unter dem Namen Boehringer werden nicht mehr in Göppingen gefertigt. Das Firmengelände

¹²²⁹ Leibinger (2010), S. 73.

wurde an die Stadt Göppingen verkauft.¹²³⁰ Die entscheidenden Fehler wurden bei Boehringer jedoch nach dem Untersuchungszeitraum gemacht und waren auch Folgen der Eigentümerwechsel.

- Von der Reutlinger Traditionsfirma Burkhardt+Weber ist nur der Firmenteil übriggeblieben, der sich mit der Herstellung von Bearbeitungszentren beschäftigte. BW hat aktuell einen Umsatz von etwa 50 Mio. € und nur noch 250 Mitarbeiter; die Firma gehört heute zur brasilianischen Industrias Romi S.A.¹²³¹
- Der Ludwigsburger Maschinenbau (Burr) musste 1976, also noch im Untersuchungszeitraum, Insolvenz anmelden. Das Programm der NC-Bearbeitungszentren wurde von der Berliner Firma DIAG (Fritz Werner) noch viele Jahre erfolgreich weitergeführt. Die Ursache der Insolvenz waren nicht die NC-Bearbeitungszentren, sondern Probleme im Sondermaschinenbau.
- Heller entwickelte sein Produktspektrum kontinuierlich weiter. Nach einem Vergleich der Zeitung „Produktion“ war die Heller-Gruppe im Jahr 2015 mit einem Umsatz von 528 Mio. € der viertgrößte europäische Hersteller spanender Werkzeugmaschinen.¹²³²
- Trumpf stieg zum größten deutschen Werkzeugmaschinenhersteller mit einem Werkzeugmaschinenumsatz von 2.039 Mio. € im Geschäftsjahr 2020/2021 auf, obwohl Trumpf Anfang der 1960er Jahre die kleinste der untersuchten Firmen war. 1961 hatte Trumpf nur 325 Mitarbeiter.¹²³³

Eine Übersicht der 15 größten europäischen spanenden Werkzeugmaschinenhersteller veröffentlichte Ende 2021 die Fachzeitung „Produktion“.¹²³⁴ Danach hatten zwölf der 15 umsatzstärksten Hersteller ihren Sitz in der Bundesrepublik Deutschland; wird die Liste noch um Trumpf als nicht spanenden Werkzeugmaschinenhersteller ergänzt, sind es sogar dreizehn. Gemeinsam ist allen, dass sie den größten Teil ihres Umsatzes mit NC-Maschinen erzielen. Nur drei der genannten deutschen Werkzeugmaschinenhersteller zählten aber schon Anfang der 1960er Jahre zu den Großen, nämlich die Index-Gruppe, die Heller-Gruppe und die DMG Mori AG, die in den 1990er Jahren aus den Firmen Gildemeister in Bielefeld, Deckel in München, Maho in Pfronten und zuletzt MoriSeiki aus Japan entstand. Die anderen großen Werkzeugmaschinenhersteller der Aufstellung, wie die Grob Gruppe, die Emag Gruppe, die Chiron Gruppe, Hermle, Schwäbische Werkzeugmaschinen, Liebherr-Verzahn-technik und auch Trumpf waren Anfang der 1960er Jahre entweder sehr klein oder hatten zu diesem Zeitpunkt noch ganz andere Produktionsschwerpunkte. Außerdem sind einige der großen Werkzeugmaschinenhersteller vom Anfang der 1960er Jahre, wie z. B. Pittler, Heyligenstaedt

¹²³⁰ Woletz (2016).

¹²³¹ Spiess (2015).

¹²³² Moser (2016).

¹²³³ Vgl. Leibinger (2010), S. 112.

¹²³⁴ Dusold (2021).

und Schiess, entweder stark geschrumpft oder vom Markt verschwunden. Das zeigt, dass einige der kleineren traditionellen Werkzeugmaschinenhersteller die NC-Technologie als Chance begriffen und ihr Potenzial konsequent in Kundennutzen umsetzten. Diese Firmen hatten eine fulminante Entwicklung und wurden von Nischenanbietern zu führenden Produzenten. Ein Beispiel hierfür ist die hier ausführlich betrachtete Firma Trumpf, dazu zählen aber auch z. B. die baden-württembergischen Firmen Emag und Chiron.

Emag z. B. ging die NC-Technologie zuerst unkonventionell, dann aber sehr konsequent an. Erst als die 40-Mann-Firma 1977 für 100 Millionen DM NC-Maschinen nach Russland verkauft hatte, wurden Mitarbeiter für die Abwicklung des Auftrags gesucht, was sehr gewagt war.¹²³⁵ Heute ist die Emag Gruppe der drittgrößte spanende europäische Werkzeugmaschinenhersteller laut der Übersicht der Zeitung „Produktion“.

Die Chiron Gruppe auf Platz sieben der Liste wuchs durch die Entwicklung eines extrem schnellen Werkzeugwechslers für NC-gesteuerte Bohrmaschinen. Mit diesem außergewöhnlichen Werkzeugwechsler konnte Chiron einen neuen Markt erschließen, der durch die Umstellung vieler Teile der Automobilindustrie von Zinkdruckguss und Gusseisen auf Aluminium entstanden war, da der schnelle Werkzeugwechsel die Stückkosten deutlich senkte.¹²³⁶

Die Beispiele zeigen, dass der Bau von NC-Maschinen keine Garantie für einen dauerhaften Erfolg war, sondern dass einige Werkzeugmaschinenhersteller erst in Kombination mit weiteren innovativen Ideen, das heißt mit zusätzlichem Kundennutzen, mit ihren NC-Maschinen Erfolg hatten. Damit das klappte, mussten die Unternehmen eine Innovationskultur pflegen, die Innovationen und ihre Umsetzung förderte. Dies war bei allen in diesem Kapitel untersuchten Firmen der Fall, am meisten aber bei Trumpf, wenn man den Umsatz als Maßstab nimmt. Die Beispiele zeigen aber auch, dass Werkzeugmaschinenhersteller, die den NC-Maschinen eher ablehnend gegenüberstanden bzw. ihre Weiterentwicklung wie Boehringer und BW. nach Gesellschafterwechseln nicht mehr konsequent weiterverfolgten früher oder später in große Schwierigkeiten kamen.

Fast alle Werkzeugmaschinenhersteller sind Spezialisten, die ihre Maschinen auf bestimmte Teile und Fertigungsverfahren ausgerichtet haben. Es ist deshalb praktisch unmöglich, einem Werkzeugmaschinenhersteller Marktanteile zuzuordnen. Der

¹²³⁵ Vgl. Meißner (27.04.2015), S. 8–9. Nachdem Meißner mehrere Jahre die Elektromontage bei Boehringer geleitet hatte, wechselte er 1977 wegen des Russland-Projekts zu Emag. Im Rückblick kritisierte er an Boehringer, dass Boehringer zu viel Geld und Energie in wissenschaftliche Untersuchungen der NC-Technik steckte, die letztlich nichts brachten. Das ist für Meißner ein Grund für den Niedergang von Boehringer. Meißner (27.04.2015), S. 16–17.

¹²³⁶ Vgl. Winkler (06.11.2014), S. 14–15.

Marktbericht 2018 des VDW zählt z. B. elf Hauptgruppen von Maschinenarten auf, die aus weiteren Untergruppen bestehen.¹²³⁷ Die meisten Maschinenhersteller bieten Maschinen in mehreren Untergruppen an, ohne aber die Umsatzanteile in den einzelnen Gruppen zu veröffentlichen, da sie von Jahr zu Jahr schwanken. So kann es z. B. sein, dass ein Hersteller in einer kleinen Untergruppe Marktführer ist, in einer großen Untergruppe trotz eines dort höheren Umsatzes aber nur einen kleinen Marktanteil hat.

Offen ist noch die Frage, nach welchen Kriterien die Werkzeugmaschinenhersteller in der Einführungsphase ihre NC-Maschinen konzipierten. Da hierzu keine Unterlagen gefunden wurden ist zu vermuten, dass im ersten Schritt bei Dreh- und Fräsmaschinen überwiegend bewährte Maschinen alternativ mit NC-Steuerungen angeboten wurden. Nach und nach wurden die größten Schwachstellen beseitigt und erst im zweiten oder dritten Schritt von Grund auf neue Maschinen entwickelt. Nur die Bearbeitungszentren wurden von Anfang an zum größten Teil neu konzipiert, da es sich um eine neue Maschinenklasse handelte. Bei der Auslegung wurden aber keine aufwendigen Marktuntersuchungen durchgeführt. Die Werkzeugmaschinenhersteller orientierten sich meistens am (vermeintlichen) Bedarf ihrer großen Kunden und schauten nur wenig über den Tellerrand hinaus. Neue Kundenkontakte ergaben sich oft nur auf Ausstellungen, wenn Endkunden auf der Suche nach einer Lösung für ihr Fertigungsproblem mehr oder weniger zufällig diese bei einem für sie neuen Anbieter entdeckten. Erst nach dem Untersuchungszeitraum wurde beobachtet, dass bei der Neuentwicklung von Maschinenreihen vereinzelt Marktuntersuchungen durchgeführt wurden, um die Auslegung der Maschinen zu optimieren. Dabei wagten die Firmen ihr angestammtes Gebiet aber nur dann zu verlassen, wenn durch neue Werkstoffe etc. ein neues Marktsegment entstand, in dem ihr Know-how gefragt war.

Auch die Eigentumsverhältnisse spielten eine wichtige Rolle bei der NC-Einführung und der Firmenentwicklung. Alle untersuchten Firmen wurden zum Zeitpunkt der NC-Einführung von geschäftsführenden Gesellschaftern geleitet, die mit NC-Maschinen die Zukunft der Firma absichern wollten. Die Entscheidung, NC-Maschinen zu bauen, fällten sie entweder weitgehend selbst (BW, Burr und Heller) oder auf Drängen ihrer technischen Geschäftsführer (Boehringer und Trumpf).

Nur Heller ist bis heute im Familienbesitz, was Heller viele Turbulenzen im Vergleich zu anderen Firmen ersparte. Burr musste wegen hoher Verluste in einem UDSSR-Projekt und wegen falscher Einschätzung der finanziellen Lage durch die Banken Anfang 1976 Insolvenz anmelden. Boehringer und BW wurden auf Wunsch der Gesellschaftermehrheit in mehreren Schritten an größere Schweizer Maschinenbaukonzerne verkauft. Beide kamen in Schwierigkeiten, als die neuen Besitzer nach einigen Jahren Geld benötigten und sich von den Firmen wieder trennten, auch weil deren Rentabilität

¹²³⁷ Vgl. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (2019a), S. 27.

ihre Erwartungen nicht erfüllt hatte. Dabei spielte offensichtlich auch eine Rolle, dass die neuen angestellten Geschäftsführer weniger Interesse am Wohl der Firmen hatten, als die alten geschäftsführenden Gesellschafter. Nur bei Trumpf glückte der Übergang. Der Konstruktionsleiter Leibinger konnte in mehreren Schritten die Firma von den Alteigentümern übernehmen, seine Strategie der Firmen- und Produktentwicklung konsequent umsetzen und Trumpf in eine neue Größenordnung führen.

6 Einführung der NC-Technik bei großen Fertigungsbetrieben

Ende der 1950er Jahre begannen vor allem größere Betriebe sich mit der NC-Technik zu beschäftigen und erste Überlegungen zur Anschaffung von NC-Maschinen anzustellen. Um einen Eindruck von der Vorgehensweise und den Entscheidungsprozessen zu bekommen, wurden drei größere Betriebe ausgewählt, bei denen ausreichend Informationen dazu vorlagen. Bevor in den Unterkapiteln detailliert auf die NC-Einführung in den drei Unternehmen eingegangen wird, werden diese kurz vorgestellt und die Auswahl begründet.

Die heutige Daimler AG¹²³⁸ (vgl. Kapitel 6.1), im Folgenden Daimler genannt, hat ihren Unternehmenssitz in Stuttgart und ist der älteste deutsche Automobilhersteller. Daimler beschaffte um 1960 seine erste NC-Maschine und beschäftigte sich Ende der 1970er Jahre u.a. mit der Einführung eines DNC-Systems für einige seiner NC-Maschinen, hatte also am Ende des Untersuchungszeitraums eine nennenswerte Anzahl NC-Maschinen in Betrieb. Für die Recherche der NC-Einführung wurden im Unternehmensarchiv Unterlagen eingesehen und ein leitender Mitarbeiter der damaligen NC-Fertigung interviewt.

Die Heidelberger Druckmaschinen AG¹²³⁹ (vgl. Kapitel 6.1), im Folgenden Heidelberger genannt, war im Untersuchungszeitraum einer der größten westdeutschen Druckmaschinenhersteller und in den 1970er Jahren der größte NC-Anwender in der Bundesrepublik Deutschland. Heidelberger ist wie Daimler ein baden-württembergisches Unternehmen. Insbesondere wegen der frühen und intensiv ausgeprägten NC-Einführung war es besonders interessant, sich mit den Gründen dieses „Sonderwegs“ auseinanderzusetzen. Dabei sollte eine Erklärung gefunden werden, warum und mit welchem Erfolg Heidelberger ein Pionieranwender der NC-Technik war. Ergänzend zu den schriftlichen Quellen konnten mit ehemaligen Mitarbeitern und Lieferanten von Heidelberger Interviews geführt werden.

Da Heidelberger schon früh sehr stark auf die NC-Technik setzte, stellte sich die Frage, ob die Mitbewerber eine ähnliche Strategie verfolgten. Erste Recherchen ergaben, dass auch der Mitbewerber M.A.N. in Augsburg früh NC-Maschinen einsetzte. Der

¹²³⁸ Der Vorgänger der Daimler AG, die Daimler-Benz AG, entstand im Juni 1926 durch die Fusion der Unternehmen Benz & Cie. und der Daimler-Motoren-Gesellschaft. Gleichzeitig entstand auch die Automobilmarke Mercedes-Benz. 1998 erfolgte der Zusammenschluss mit dem amerikanischen Automobilhersteller Chrysler Corp. zur DaimlerChrysler AG. Am 4. Oktober 2007 trennten sich die beiden Unternehmen wieder. Das neue „alte“ Unternehmen nennt sich Daimler AG. Vgl. Daimler AG (31.08.2011), S. 2 und 6. Zum 1. Februar 2022 nannte sich die Daimler AG in Mercedes-Benz Group AG um. Vgl. o. V. (2021a).

¹²³⁹ Bis 1967 hieß die Heidelberger Druckmaschinen AG Schnellpressenfabrik Aktiengesellschaft Heidelberg. Vgl. Moormann (2000), S. 69. Wie der Name schon sagt, befindet sich der Unternehmenssitz in Heidelberg.

Druckmaschinenbereich von M.A.N. war aber nicht wie Heidelberger selbstständig, sondern im Untersuchungszeitraum ein Unternehmen im GHH-Konzern, der nach dem Untersuchungszeitraum 1986 zur MAN SE umfirmierte.¹²⁴⁰ Bei Recherchen im Augsburger MAN-Archiv wurden dann außergewöhnlich umfangreiche Unterlagen zur NC-Einführung im GHH-Konzern gefunden. Das führte zur Entscheidung, die NC-Einführung im GHH-Konzern, der früheren Muttergesellschaft, in einem eigenen Unterkapitel zu behandeln, obwohl der GHH-Konzern seinen Sitz nicht in Baden Württemberg hatte (vgl. Kapitel 6.3).

Generell drängte sich bei der Recherche zur NC-Einführung in großen Fertigungsbetrieben der Eindruck auf, dass Unterlagen zu länger zurückliegenden Investitionsentscheidungen für die Fertigung keine große Bedeutung beigemessen wurden. Anders ist es nicht zu erklären, dass entsprechende Unterlagen – wenn überhaupt – nur rudimentär archiviert wurden.¹²⁴¹ Die Untersuchung der NC-Einführung wurde deshalb auf die drei vorgestellten Betriebe beschränkt, da es die einzigen waren, bei denen ausreichende Quellen zur Verfügung standen. Allerdings ist es aufgrund der großen Zahl von Fertigungsbetrieben wahrscheinlich, dass es noch weitere Betriebe mit ausreichendem Archivmaterial gibt. Insofern ist die Auswahl zufällig.

6.1 NC-Einführung bei der Daimler-Benz AG

Das Automobil wurde 1886 fast zeitgleich von Gottlieb Daimler und Carl Benz erfunden. Die Unternehmen Benz & Cie. in Mannheim und die Daimler Motorenengesellschaft in Cannstatt bei Stuttgart entwickelten sich zu international bedeutenden Automobilherstellern. Nach dem Ersten Weltkrieg näherten sich die beiden Unternehmen an und bildeten 1924 eine Interessengemeinschaft, deren Hauptzweck der gemeinsame Vertrieb war. Zwei Jahre später, im Juni 1926, fusionierten die beiden Unternehmen zur Daimler-Benz AG mit der Automobilmarke Mercedes-Benz. Ab 1937 wurde die Fertigung von Militärfahrzeugen sowie von Flug- und Großmotoren auf Druck der nationalsozialistischen Regierung ausgebaut. Die PKW-Produktion wurde reduziert,

¹²⁴⁰ Die Gute Hoffnung Hütte (GHH) wurde 1782 in Oberhausen gegründet. Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarische Geschichte GHH; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.). 1920 schloss sich M.A.N. der GHH an. Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarische Geschichte der M.A.N.; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.).

¹²⁴¹ Entsprechende Nachfragen in den Firmenarchiven von Audi (Neckarsulm, Ingolstadt) und VW wurden negativ beschieden. Bei BMW ergab ein Archivbesuch, dass vereinzelt Unterlagen vorhanden sind, aus denen aber nichts für die Arbeit abgeleitet werden konnte. Das hängt auch damit zusammen, dass in den 1960er Jahren BMW ein deutlich kleineres Unternehmen als Daimler war. Auch die angefragten Archive der Stuttgarter Robert Bosch GmbH, der Mahle GmbH und der Rheinmetall Automotive AG (Kolbenschmidt Neckarsulm) hatten keine verwertbaren Unterlagen. Das Gleiche galt für die im Rheinisch Westfälischen Wirtschaftsarchiv in Köln aufbewahrten Archivbestände der Firma Deutz, deren Durchsicht keine verwertbaren Ergebnisse brachte.

ab Beginn des Zweiten Weltkriegs auf militärische Fahrzeuge beschränkt und ab 1942 weitgehend eingestellt.

Nach dem Zweiten Weltkrieg begann im Mai 1945 zuerst die provisorische LKW-Produktion, da ein großer Bedarf an Nutzfahrzeugen bestand. Die PKW-Produktion mit der Marke Mercedes-Benz durfte kurz danach wiederaufgenommen werden und knüpfte bald an die Vorkriegserfolge an.

1998 fusionierte die Daimler-Benz AG mit der amerikanischen Chrysler Corp. zur DaimlerChrysler AG. Die Erwartungen an die Fusion erfüllten sich jedoch nicht. 2007 trennten sich die beiden Unternehmen. Danach nannte sich das Unternehmen Daimler AG.¹²⁴²

Anfang Oktober 2021 beschloss die Hauptversammlung eine große Veränderung. Von der Daimler AG wurde mit Wirkung zum 1. Dezember 2021 der LKW-Hersteller Daimler Truck Holding AG abgespalten. Die Daimler AG nannte sich zum 1. Februar 2022 in Mercedes-Benz Group AG um.¹²⁴³

1959 kaufte Daimler-Benz (Daimler) von Heller eine der ersten numerisch gesteuerten Bohr- und Fräsmaschinen SBR 32 (vgl. Kapitel 5.3),¹²⁴⁴ um erste Erfahrungen mit der NC-Technologie zu machen. Anscheinend konnte die Maschine aber weder in der Automatikgetriebe- noch in der Motorenfertigung sinnvoll eingesetzt werden. Der Vorstand Künkele beauftragte deshalb Anfang 1963 die Verfahrensentwicklung VE, eine Verwendung für die Maschine zu suchen. Die Aufgabe wurde dem neu eingestellten Ingenieur für Feinwerktechnik Zick übertragen. Er sollte technische Unterstützung beim Einsatz der Maschine leisten. Zick gelang es, die SBR 32 für die Bearbeitung der Saugrohre des 6,3-Liter-Einspritzmotors für den Mercedes 600 zu verwenden.¹²⁴⁵ In der Jubiläumsschrift zum 50-jährigen Bestehen der VE steht hierzu:

Die erste serienfähige Anwendung der NC-Technik war die Bearbeitung der Saugrohre für den 6,3-Liter Einspritzmotor M100 des gerade anlaufenden Mercedes 600.

Der Einsatz der NC-Steuerungstechnik in der Produktion setzte damals ein Zeichen, und eine neue industrielle Revolution begann. [...] Von diesem Zeitpunkt an wurde die gesam-

¹²⁴² Bis zu dieser Fußnote vgl. Daimler AG (31.08.2011). 1960 erzielte die damalige Daimler-Benz AG einen Umsatz von 4,1 Mrd. DM, nur etwa 10 % weniger als VW (4,6 Mrd. DM). Opel mit 2,1 Mrd. DM und Ford mit 1,1 Mrd. DM waren als westdeutsche Tochterunternehmen von US-Herstellern deutlich kleiner. Vgl. o. V. (1961b). Eine sehr detaillierte Übersicht über die ersten hundert Jahre von Daimler gibt es von Feldenkirchen. Feldenkirchen (2003).

¹²⁴³ Vgl. o. V. (2021a). Im Text wird fast immer die Bezeichnung Daimler verwendet.

¹²⁴⁴ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 172. Im Buch zum Jubiläum der VE ist als erste NC-Maschine bei Daimler-Benz die SBR 32 von Heller abgebildet (vgl. Abbildung 45). Sie wurde angeblich 1961 beschafft. Dieses Datum ist wahrscheinlich falsch, da Kirmse in einer „Technischen Chronik“ die Beschaffung der SBR 32 schon auf das Jahr 1959 datierte. Demnach war sie ursprünglich für die Fertigung von „Teilumfängen am automatischen Getriebegehäuse“ vorgesehen. Daimler AG: Archiv der Verfahrensentwicklung, Büschel Verfahrensentwicklung; Technische Angaben; Kirmse (26.03.1985), S. 1.

¹²⁴⁵ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 172.

te Produktion – anfangs sehr zögerlich, ab Mitte der 80er Jahre immer rasanter – von der NC-Technik durchdrungen.¹²⁴⁶

Die Beschaffung weiterer NC-Maschinen erfolgte schleppend, da die Leitungsebene noch keine rechte Anwendung für diese Art der Maschinen sah; sie war vermutlich der Meinung, dass Daimler nicht die richtigen Werkstücke und Stückzahlen für NC-Maschinen hatte. 1965 kaufte z. B. das Berliner Werk¹²⁴⁷ ein NC-Portalbohrwerk der englischen Firma Wadkins.¹²⁴⁸ Da die Maschine in Berlin wegen technischer Probleme nicht in Betrieb genommen werden konnte, wurde sie nach Untertürkheim zur VE gebracht. Diese fand nach Lösung der technischen Probleme eine neue Verwendung für die Bohrbearbeitung von LKW-Rahmenquerträgern im Werk Wörth, wo die Maschine dann einige Zeit in der Produktion eingesetzt wurde.¹²⁴⁹

Wegen der Probleme beim Einsatz der ersten NC-Maschinen beschlossen 1965 die Werkleitung in Untertürkheim und der Vorstand, unter der Leitung der VE einen werksübergreifenden NC-Arbeitskreis einzurichten. Dieser sollte die weitere technische Entwicklung beobachten und Anwendungsmöglichkeiten in den Werken suchen.¹²⁵⁰ Der Arbeitskreis traf sich etwa alle zwei Monate und diskutierte mögliche Anwendungsgebiete und Stückzahlen.¹²⁵¹ Aber erst 1968 konnten Vorstand und Werksleitung überzeugt werden, für das Werk Untertürkheim die Beschaffung mehrerer NC-Maschinen nach den Vorschlägen des NC-Arbeitskreises zu genehmigen. Anscheinend war vorher die Leitungsebene immer noch skeptisch gewesen.

Auf Anregung der VE wurde für den Betrieb der Maschinen 1968 auch die Betriebsstelle Bearbeitungszentrum (BEZ) unter der Leitung von Zick gegründet. Die erste vom BEZ beschaffte Maschine war ein Bearbeitungszentrum MC 4 von BW mit einer Sinumerik-Steuerung 271. Es folgten noch zwei Drehmaschinen von Heyligenstaedt mit der AEG-Bahnsteuerung 311. Da sich das BEZ bewährte, wurden noch zwei weitere Maschinen, und zwar ein Feinbohrwerk von BW und ein Horizontal-Bohrwerk von Scharmann, gekauft. Gefertigt wurden auf den Maschinen Versuchsteile und Teile für ein neues Automatikgetriebe.¹²⁵²

¹²⁴⁶ Bartl u. a. (2002), S. 172–174.

¹²⁴⁷ 1902 übernahm die Daimler-Motoren-Gesellschaft die sich in finanziellen Schwierigkeiten befindliche Motorfahrzeug- und Motorenfabrik Berlin. Vgl. Unruh (2002), S. 28–29. Mitte der 1960er Jahre lag der Produktionsschwerpunkt des Werkes bei Motor- und Antriebskomponenten und Komplettmotoren. Vgl. Unruh (2002), S. 139–140.

¹²⁴⁸ Leider war aus dem Archivmaterial nicht ersichtlich, für welche Werkstücke die Maschine ursprünglich gekauft worden war. Aufgrund des Produktionsschwerpunktes des Berliner Werkes war sie vermutlich für die Fertigung von Motorkomponenten vorgesehen.

¹²⁴⁹ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 174.

¹²⁵⁰ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 175.

¹²⁵¹ Vgl. Zick (23.03.2015), S. 7.

¹²⁵² Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 176.

Trotz der Bemühungen des NC-Arbeitskreises und des BEZ waren bei Daimler Anfang der 1970er Jahre erst wenige NC-Maschinen im Einsatz. So wies der Jahresbericht 1972 für das Werk Untertürkheim nur drei NC-Zentren bzw. Bohrwerke und zwei NC-Drehmaschinen aus, die vom BEZ betrieben wurden. Zusätzlich wurden vom BEZ noch die Programme für drei NC-Maschinen erstellt, die sich in anderen Bereichen befanden.¹²⁵³ In den 1970er Jahren stieg die Anzahl der NC-Maschinen dann nennenswert an. Im Jahresbericht 1977 waren immerhin schon 29 NC-Maschinen aufgeführt, wovon nur noch sieben Maschinen vom VEN¹²⁵⁴ betrieben wurden; die restlichen 22 Maschinen waren schon direkt in der Produktion in verschiedenen Abteilungen/Zweigwerken eingesetzt. Leider ist nicht dokumentiert, wie viele NC-Maschinen 1977 beschafft wurden. Allerdings ist die Gesamtzahl aller 1977 beschafften Werkzeugmaschinen mit 292 angegeben, woraus deutlich wird, dass die Anzahl der beschafften NC-Maschinen im Verhältnis zu allen Maschinenanschaffungen klein war. Interessant ist, für welche Teile die NC-Maschinen 1977 eingesetzt wurden: 60 % für das automatische NFZ¹²⁵⁵-Getriebe, 20 % für Versuchsteile, 10 % für Betriebsmittel und 10 % für Motoren-, Achs- und Ersatzteile.¹²⁵⁶ Darunter befanden sich also eindeutig keine Teile mit größeren Stückzahlen.

1978 begann die VEN mit der Planung des ersten FFS für die „Herstellung von Aggregatteilen zur Vorserienerprobung“¹²⁵⁷. Freigegeben wurde das Projekt durch den damaligen Produktionsvorstand Niefer. Es bestand aus zwei Teilprojekten, nämlich dem eigentlichen FFS und einem DNC-System für die automatische NC-Programmversorgung der Maschinen. In Betrieb war das FFS von 1979 bis 1991.¹²⁵⁸ Es bestand aus insgesamt sieben Maschinen: Drei DIAG-Bearbeitungszentren TC 1¹²⁵⁹ und vier Bearbeitungszentren MC 50 von BW.¹²⁶⁰ Die Hardware des DNC-Systems lieferte Siemens; die Software entwickelten Daimler und Siemens gemeinsam. Das

¹²⁵³ Vgl. Mercedes-Benz Classic, Archive, Werk Ut. 14/4; Daimler-Benz AG (1972), S. 45. Die im Jahresbericht genannten fünf NC-Maschinen lassen sich schwer mit anderen Motorenwerken vergleichen, da von diesen keine Zahlen vorliegen. Auf jeden Fall war es eine geringe NC-Maschinendurchdringung zu der im nächsten Unterkapitel untersuchten Heidelberger Druck AG, die aber ein ganz anderes Produktspektrum hatte.

¹²⁵⁴ Verfahrensentwicklung Numerik; 1976 wurde die BEZ durch den Werkleiter Rolf Knoll organisatorisch wieder der VE unterstellt und VEN genannt. Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 177.

¹²⁵⁵ Nutzfahrzeug.

¹²⁵⁶ Vgl. Mercedes-Benz Classic, Archive, Werk Ut. 14/4; Daimler-Benz AG (1977), S. 92–93.

¹²⁵⁷ Daimler AG: Archiv der Verfahrensentwicklung, Ordner: Kirmse Berichte VE; Zick (15.12.1978), S. 1.

¹²⁵⁸ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 178.

¹²⁵⁹ Es handelt sich um eine ursprünglich von Burr entwickelte Maschine. Wie im Kapitel 5.4 beschrieben, wurde das Programm der Burr-Bearbeitungszentren von der DIAG übernommen.

¹²⁶⁰ Die Maschinenausstattung des FFS ist widersprüchlich dokumentiert. In dem Jubiläumsbuch werden sechs Horizontal- und ein Vertikalzentrum ohne Herstellerangaben genannt. Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 178. Im VE-Bericht 11/78 „Flexible Universalfertigung sind vier Bearbeitungszentren TC 1 von DIAG und drei MC 50 von Burkhardt & Weber aufgeführt. Vgl. Daimler AG: Archiv der Verfahrensentwicklung, Ordner: Kirmse Berichte VE; Zick (15.12.1978), Bild 1.

FFS hatte auch eine automatische Späne- und Kühlmittelversorgung und -entsorgung, was damals nicht selbstverständlich war. Die Beschickung der Maschinen mit Teilen erfolgte aber manuell, da das geplante induktiv gesteuerte Flurfördersystem wegen interner Abstimmungsprobleme nie realisiert wurde.¹²⁶¹ Das deutet auf den Einfluss von Skeptikern hin, die evtl. eine zu hohe Automatisierung vermeiden wollten. Eingesetzt wurde das FFS zur Herstellung von Teilen für die Serienerprobung, von Ersatzteilen, Versuchsteilen und Kleinteilen.¹²⁶²

Der Jahresbericht der Verfahrensentwicklung für 1979 gibt einen Überblick über den Umfang der NC-Aktivitäten der VEN kurz vor dem Ende des Untersuchungszeitraums; er nannte aber leider nicht die Anzahl der bei Daimler vorhandenen NC-Maschinen. Nach dem Jahresbericht wurden auf den von der VEN betreuten NC-Maschinen für Serienanläufe, Großversuche und Auftragsfertigung 14800 NC-Stunden geleistet. Hinzu kamen noch Fertigungsstunden für Ersatzteile, Versuchs- und Serienfertigung, die nicht genauer definiert wurden. Insgesamt mussten dafür 469 neue NC-Programme erstellt und eingefahren werden.¹²⁶³

Die Anzahl der erstellten NC-Programme erlaubt den Schluss, dass die NC-Technik bei Daimler um 1980 zwar eine eingeführte Technologie war, jedoch nur für Sonderanwendungen und kleinere Stückzahlen. Es dauerte noch bis 1990, bis die NC-Technologie in der Serienfertigung soweit etabliert war, dass die VEN aufgelöst werden konnte. Die Mitarbeiter der VEN übernahmen nach der Auflösung im Werk Untertürkheim fachliche Aufgaben in verschiedenen Fertigungsbereichen.¹²⁶⁴

Bei der bisherigen Darstellung wurden nur die NC-Maschinen und ihre Integration in die Fertigung betrachtet. Für die Erstellung der im Jahresbericht 1979 erwähnten 469 NC-Programme durch die VE wurde aber auch eine effektive und leistungsfähige NC-Programmierung benötigt, da die NC-Programme für Versuchsteile häufig geändert werden mussten.

Die VE beschäftigte sich deshalb schon früh mit der NC-Programmierung durch EXAPT (vgl. Kapitel 4.13). Wie fast alle Endanwender gehörte Daimler nicht zu den Gründungsmitgliedern des EXAPT-Vereins,¹²⁶⁵ wurde aber spätestens 1970 Mit-

¹²⁶¹ Vgl. Daimler AG: Archiv der Verfahrensentwicklung, Ordner: Interviews für die VE-Chronik; DaimlerChrysler AG (18.09.2000), S. 3.

¹²⁶² Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 178.

¹²⁶³ Vgl. Daimler AG: Archiv der Verfahrensentwicklung, Ordner: Kirmse Berichte VE; Kirmse (1980), S. 6–7.

¹²⁶⁴ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 181.

¹²⁶⁵ Auf der Gründungsversammlung 1967 waren von den 19 Gründungsmitgliedern nur drei Endanwender: Die Industrie-Werke Karlsruhe, Rolls-Royce Ltd. und die Schnellpressenfabrik Heidelberg. Alle anderen waren entweder Werkzeugmaschinenhersteller oder Anbieter von NC-Steuerungen (AEG, Siemens). Vgl. Archiv EXAPT-Verein, Ordner EXAPT-Verein: Gründung, Satzung; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (22.03.1967).

glied.¹²⁶⁶ Bis zum Einsatz von EXAPT (ab 1974) wurden die NC-Programme manuell mit Lochstreifenstanzern von Fernschreibern erstellt, was aufwendig und fehlerbehaftet war. Um 1973 verbesserte sich die Situation etwas durch programmierbare Tischrechner mit angeschlossenen Stanzen. Mit deren Konturberechnungsprogrammen erfolgte die NC-Programmierung schneller und fehlerärmer.¹²⁶⁷

Ab 1974 standen die ersten EXAPT-Postprozessoren zur Verfügung. Durch EXAPT waren plötzlich die Planer statt der Mitarbeiter in der Produktion für die NC-Programme verantwortlich, was diese als große Umstellung empfanden.

Nach einigen Jahren war Daimler mit EXAPT nicht mehr zufrieden. Wegen der starken Verbreitung in den unterschiedlichsten Branchen mussten in EXAPT aus Sicht von Daimler zu viele Anforderungen berücksichtigt werden, worunter die funktionale Weiterentwicklung litt. Daimler beschloss deshalb, auf eigene Programmiersysteme zu setzen. Diese wurden ab 1980 unter den Namen MAPROS und DREMOS entwickelt und berücksichtigten die daimlerspezifischen Anforderungen.¹²⁶⁸

Ein weiteres Problem war die Verwaltung der für die NC-Bearbeitung benötigten Werkzeuge. Deren Daten waren bei EXAPT auf Lochkarten hinterlegt. Dies war umständlich zu handhaben, mussten doch die Werkzeuge an den Voreinstellplätzen exakt so eingestellt werden, wie es im Programm vorgegeben war. Zur Lösung der damit verbundenen Handlingsprobleme entwickelte die VE das grafisch unterstützte Werkzeugsystem CATOS, das 1980 zusammen mit grafikfähigen Tischrechnern eingeführt wurde und ohne Lochkarten auskam.¹²⁶⁹

Zusammengefasst setzte sich Daimler schon sehr früh mit der NC-Technik auseinander, tat sich aber schwer damit, sinnvolle Anwendungen zu finden. Da anscheinend weder vom Vorstand noch von der Werkleitung Druck ausgeübt wurde, Anwendungen für NC-Maschinen zu finden, erfolgte die NC-Einführung langsam, obwohl es wahrscheinlich genug Anwendungen gegeben hätte. Schließlich wurden viele Fahrzeuge, vor allem die LKW, in kleinen Stückzahlen gefertigt. Erst 1965 nahm sich die Geschäftsleitung des Themas etwas stärker an. Es wurde ein werksübergreifender NC-Arbeitskreis gegründet, der NC-Anwendungen finden sollte. Die Ergebnisse führten 1968 zur Gründung der Betriebsstelle Bearbeitungszentrum (BEZ), die direkt dem Werksleiter in Untertürkheim unterstellt war. Die Aktivitäten der BEZ hatten aber an-

¹²⁶⁶ Auf der Mitgliederversammlung am 23.4.1970 war Daimler im Teilnehmerverzeichnis erstmals als ordentliches Mitglied aufgeführt. Von den 63 vertretenen Mitgliedsfirmen war etwa ein Viertel der Gruppe der Endanwender zuzurechnen. Vgl. Archiv EXAPT-Verein, Ordner: Protokolle der Mitgliederversammlungen 1968–1975; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (23.04.1970), S. 11.

¹²⁶⁷ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 185. Warum Daimler nicht schon vorher auf Lösungen wie den Autoprogrammer von Boehringer setzte, ist aus den gesichteten Unterlagen nicht ersichtlich.

¹²⁶⁸ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 185–186. Die Abkürzungen MAPROS, DREMOS und CATOS werden nicht aufgelöst.

¹²⁶⁹ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 186.

fangs immer noch den Charakter, auszuloten, für welche Werkstücke und Stückzahlen sich die NC-Technik am besten eignete. Erklärt werden kann diese Vorgehensweise damit, dass die NC-Technik Ende der 1960er Jahre für die Anwendung in der Großserie noch nicht geeignet war und die (möglichen) Anwendungen bei kleinen Stückzahlen im Versuch, beim Rennsport, bei Ersatzteilen und den LKWs so heterogen waren, dass die Vorteile der NC-Technik nur schwer zu greifen waren. Eine andere Erklärung ist, dass Daimler nicht wie Heidelberger (vgl. Kapitel 6.1) den Weitblick hatte, Teilefamilien zu schaffen, die sich gut für eine NC-Fertigung eigneten und diese dann konsequent zu erweitern. Trotz des zaghaften Vorgehens wuchs der NC-Maschinenbestand langsam, aber kontinuierlich an, auch wenn die absoluten Zahlen im Vergleich zum Gesamtbestand an Werkzeugmaschinen bis Ende der 1970er Jahre niedrig blieben.

Mehr Dynamik kam in die NC-Technik erst 1978, als mit Unterstützung des Produktionsvorstands Niefer das erste flexible Fertigungssystem beschafft wurde, dessen Vollausbau mit einem induktiven Flurfördersystem aber an internen Unstimmigkeiten scheiterte. Dies kann wieder so interpretiert werden, dass die damalige Leitung noch nicht voll vom Nutzen der NC-Technik überzeugt war. Insgesamt war die NC-Durchdringung bei Daimler am Ende des Untersuchungszeitraums sicher deutlich unter den damaligen technischen Möglichkeiten. Ob eine höhere NC-Durchdringung wirtschaftliche Vorteile gehabt hätte, lässt sich wegen fehlender Daten nicht abschätzen.

Erst nach dem Untersuchungszeitraum, etwa ab 1980, wurde der NC-Einsatz intensiviert. Er wurde flankiert durch die hauseigene Entwicklung von Programmiersystemen, NC-Schulungssystemen und durch die Einführung der CAD-CAM-Technologien,¹²⁷⁰ die eine computerunterstützte Teilekonstruktion und eine datenmäßige Verknüpfung mit der NC-Programmierung ermöglichten.¹²⁷¹

Ab 1990 drang dann die NC-Fertigungstechnologie mit ersten „NC-Transferstraßen“ auch in die Großserie vor, war also auch bei Daimler quasi Standard geworden. Dies hatte dann die Auflösung der VEN zur Folge.

¹²⁷⁰ CAD: Computer-aided design (rechnerunterstützte Konstruktion); CAM: Computer-aided manufacturing (rechnerunterstützte Fertigung).

¹²⁷¹ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 193–198.

6.2 NC-Einführung bei der Heidelberger Druckmaschinen AG

Die Heidelberger Druckmaschinen AG (bis 1967 Schnellpressenfabrik Aktiengesellschaft Heidelberg),¹²⁷² im Folgenden Heidelberger genannt, ist ein Druckmaschinenhersteller mit Unternehmenssitz in Heidelberg. Seine Geschichte begann, als 1850 Andreas Hamm eine Glockengießerei und Maschinenfabrik in Frankenthal gründete. 1896 zog sie nach Heidelberg um. 1905 wurde der Name wegen des aktuellen Produktportfolios in Schnellpressenfabrik Aktiengesellschaft Heidelberg geändert.¹²⁷³ 1926 wurde Hubert Sternberg¹²⁷⁴ Vorstand, der mit neuen Marketing- und Vertriebsmethoden (z. B. Omnibusse als Vorführwagen) den Umsatz des damaligen Kernprodukts, des Bogendruckautomaten „Heidelberger Tiegel“, deutlich erhöhte. Sternberg steuerte Heidelberger durch alle Krisen.¹²⁷⁵ Er blieb Vorstandsvorsitzender bis Ende 1972.¹²⁷⁶

Obwohl Heidelberger im Untersuchungszeitraums im Vergleich zu Daimler¹²⁷⁷ und GHH eine kleine Aktiengesellschaft war, nutzte Heidelberger die NC-Technik in den

¹²⁷² Den zügigen Ausbau des Offset-Maschinen-Programms unterstrich die „Schnellpressenfabrik“ 1967 durch die Namensänderung in „Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft“. Moormann (2000), S. 69.

¹²⁷³ Vgl. Moormann (2000), S. 122.

¹²⁷⁴ Hubert Sternberg kam 1926 als 29-jähriger „Sanierer“ zu Heidelberger und rettete durch die Konzentration des Geschäfts auf den Bogendruckautomaten „Tiegel“ die Firma vor dem Konkurs. Durch kostensenkende Maßnahmen wie Fließbandmontage und neue Marketingideen wie Vorführwagen und Ratenzahlungen brachte er das Unternehmen auf die Erfolgsspur. 1967 erhielt Sternberg für seine Leistungen die Ehrendoktorwürde der RWTH Aachen. Erst im Alter von 75 Jahren (1972) trat er in den Ruhestand. Vgl. Moormann (2000), S. 34–35. In der Laudatio zu seiner Ehrenpromotion (15.12.1967 an der RWTH Aachen) lobte Prof. Naumann, der Dekan der Fakultät für Maschinenwesen, die Automatisierung im Werk Wiesloch wie folgt: „Die Idee, die Produkte in der Reihenfolge zu fertigen, wie sie dem Auftragseingang entsprechen, und die Forderung, keine Fertiglager und nur geringste Teilelager zu unterhalten, führte zu der Gestaltung völlig neuartiger Werkzeugmaschinen für den eigenen Betrieb. Die numerische Steuerung der Maschine erfuhr zum ersten Mal im Wieslocher Werk eine beachtliche Erweiterung; die Werkzeugsätze, die für die Bearbeitung auf dem Fließband der Maschine den zugeführten Werkstücken entsprechen, werden von besonderen Werkzeugköpfen montiert, vom Werkstück gesteuert, aus dem Lager herangefahren und automatisch wieder in das Lager zurückgebracht. Da jedoch keine geeigneten Maschinen auf dem Markt waren, hat das Unternehmen zu eigenen Konstruktionen gegriffen, wobei – soweit wie möglich – Bauteile gängiger anderer Maschinen Verwendung fanden. Diese Methode wurde sorgfältig erprobt und erst zögernd in der jüngsten Zeit publiziert. Es kann dabei gesagt werden, dass hier eine für die gesamte Fachwelt erstaunliche Weiterentwicklung gezeigt wurde.“ Hochschularchiv RWTH, Akte 12100; RWTH Aachen, Dekan der Fakultät für Maschinenwesen (15.07.1967), S. 5–6.

¹²⁷⁵ Vgl. Moormann (2000), S. 35.

¹²⁷⁶ Vgl. Moormann (2000), S. 120. Sternberg hatte keinen direkten Nachfolger. Nach seiner Pensionierung Ende 1972 wurde Anfang 1973 ein sogenannter „Kollegialvorstand“ aus Dr. Wolfgang Zimmermann (Vertrieb), Joachim Pöppel (Produktion), Dr. Hilmar Dosch (Finanzen, Personal, Einkauf) und Willi Jeschke (Entwicklung) berufen. Vgl. Moormann (2000), S. 71–72.

¹²⁷⁷ Heidelberger hatte 1960 ca. 4300 Mitarbeiter bei einem Umsatz von ca. 125 Mio. DM. Die Zahlen sind geschätzt anhand der Grafiken in Moormann (2000), S. 118–119. Im Vergleich dazu hatte Daimler-Benz 1959 schon 87816 Mitarbeiter und einen Umsatz von 3,35 Mrd. DM. Vgl. Mercedes-Benz Classic, Archive, PRMIT16500; Daimler-Benz AG (12.03.1960).

1960er und 1970er Jahren deutlich konsequenter als alle anderen Unternehmen. Dies lässt sich aus der Festschrift zum 150-jährigen Jubiläum von Heidelberger im Jahr 2000 ableiten, in der leider ohne Jahresangabe steht: „Im Werk Wiesloch war zeitweilig ein Drittel aller in Europa installierten NC-Maschinen im Einsatz.“¹²⁷⁸ Diese Aussage legt nahe, sich mit der NC-Einführung bei Heidelberger auseinanderzusetzen, um herauszufinden, welchen Einfluss Heidelberger auf die westdeutsche NC-Entwicklung hatte.

Wie schon im Kapitel 1.3.3 beschrieben, gibt es von Heidelberger nur wenig Archivmaterial. Erschwert wurden die Untersuchungen noch dadurch, dass Heidelberger bis Anfang der 1970er Jahre aus Geheimhaltungsgründen fast nichts über seine NC-basierte Fertigungstechnik veröffentlichte, so dass es kaum gedruckte Quellen gibt. In einer 1988 für den Direktor Pöppel erstellten Übersicht über die Einführung der NC-Technik schrieb der Einkaufsleiter Savari hierzu: „Leider sind meines Wissens aber vor 1970 keine Veröffentlichungen erfolgt, dazu bestand strikte Anweisung.“¹²⁷⁹

Nach dem Zweiten Weltkrieg gab es weltweit einen großen, kontinuierlich steigenden Bedarf an Druckmaschinen, der von mehreren Anbietern mit unterschiedlichen Schwerpunkten abgedeckt wurde. Die wichtigsten westdeutschen Anbieter waren Heidelberger, Koenig & Bauer,¹²⁸⁰ M.A.N. (vgl. Kapitel 6.3) und Roland.¹²⁸¹ Heidelberger war in diesem „Verkäufermarkt“ mit seinem leistungsstarken Vertrieb besonders er-

¹²⁷⁸ Moormann (2000), S. 77.

¹²⁷⁹ Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 1. Dies galt aber nur für Veröffentlichungen, die einen eindeutigen Bezug zu Heidelberger hatten. Vor 1970 war Kuhnert Mitautor bei fünf Vorträgen auf den AWKs von 1965 und 1968, aus denen sich jedoch kein eindeutiger Bezug zu Heidelberger herauslesen lässt: Bohle u. a. (1965); Backé u. a. (1968); Boese u. a. (1968); Eich u. a. (1968) Engelskirchen u. a. (1968).

¹²⁸⁰ Die Schnellpressenfabrik Koenig & Bauer wurde 1817 im Kloster Oberzell bei Würzburg von Friedrich Koenig und Andreas Bauer gegründet. Die Entwicklung zu einem der großen Druckmaschinenhersteller setzte jedoch erst nach dem Zweiten Weltkrieg ein. So betrug der Umsatz 1948 nur 4,1 Mio. DM. Bis 1960 war er auf 25 Mio. DM gestiegen und 1973 waren 100 Mio. DM erreicht. Die Milliardengrenze wurde 1991 mit 1.134 Mio. DM erstmals überschritten. Vgl. Schmidt (1992), S. 158–160.

¹²⁸¹ Der Neffe des Gründers von Koenig & Bauer, Carl August Reichenbach, übernahm 1844 die Sander'sche Maschinenfabrik in Augsburg, die dann als Reichenbach'sche Maschinenfabrik auch Druckmaschinen baute. 1857 wurde sie in Maschinenfabrik Augsburg umbenannt. 1889 entstand durch einen Zusammenschluss die „Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg AG, die sich 1908 in „Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg AG (M.A.N. AG)“ umbenannte. Vgl. MAN Truck & Bus SE, München (2020) und Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarische Geschichte der M.A.N.; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.). 1871 wurde in Offenbach der Druckmaschinenhersteller Faber & Schleicher gegründet, dessen Rotationsdruckmaschinen seit 1911 den Namen Roland trugen. 1979 fusionierten die beiden Firmen zur MAN Roland Druckmaschinen AG. Vgl. Bähr u. a. (2008), S. 436.

folgreich, sodass die Stückzahlen stark anstiegen.¹²⁸² Die Fertigungskapazitäten in Heidelberg reichten bald nicht mehr aus. Da die Erweiterungspläne in Heidelberg mit den Planungen der Stadt Heidelberg kollidierten, wurde ab 1956 ein neues Werk in Wiesloch gebaut, ungefähr 30 km südlich von Heidelberg.¹²⁸³

Wegen der großen Nachfrage hatte auch das neue Werk Probleme, die benötigten Stückzahlen zu liefern. Wegen des „Wirtschaftswunders“ befürchtete Heidelberger, zukünftig nicht genug qualifiziertes Personal zur Bedienung der immer zahlreicher werdenden Werkzeugmaschinen zu finden. Sternberg wollte deshalb durch eine höhere Automatisierung die Personalengpässe entschärfen,¹²⁸⁴ was hohe Investitionen erforderte.¹²⁸⁵ Als sich Anfang der 1960er Jahre der Offsetdruck als zukünftiger Druckstandard abzeichnete,¹²⁸⁶ erhöhten sich die Anforderungen an die Fertigung weiter. Heidelberger war deshalb neuen Fertigungstechnologien gegenüber sehr aufgeschlossen und bestellte schon Ende 1960 bei Fritz-Werner in Berlin eine erste NC-Maschine.¹²⁸⁷ Parallel suchte der Vorstandsvorsitzende Sternberg einen neuen Produktionsleiter, der seine Vorstellungen von einer möglichst hoch automatisierten Fertigung umsetzen konnte. Diesen fand er in Hans Kuhnert, der ab Februar 1961 Heidelberger beriet. Im Juni 1961 wurde er dann „Technischer Direktor“.¹²⁸⁸

Schon kurz nach Aufnahme seiner neuen Tätigkeit versuchte Kuhnert, die Produktivität der Fertigung zu erhöhen. Hierzu analysierte er die bei Heidelberger gefertigten

¹²⁸² Bis 1950 hatte Heidelberger 35.000 Druckmaschinen ausgeliefert; die Auslieferungen stiegen auf 100.000 (1959), 150.000 (1964) und 200.000 (1968). Der Umsatz erhöhte sich von 52,3 Mio. DM (1953) auf z. B. 293 Mio. DM in 1968. Vgl. Moormann (2000), S. 123–124.

¹²⁸³ Vgl. Moormann (2000), S. 55, 66. Das neue Werk wuchs schnell. Bis 1972 belegte das Werk eine Fläche von etwa einer Million Quadratmeter und hatte 4.000 Mitarbeiter.

¹²⁸⁴ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 3–4. Nach Geiger war Sternberg der Ansicht, dass die damals angeworbenen italienischen Gastarbeiter keine ausreichende Qualifikation für die Bedienung der Maschinen hatten.

¹²⁸⁵ Heidelberger konnte sich die Investitionen leisten. Z. B. wies die Bilanz von 1965 bei einem Umsatz von ca. 229 Mio. DM einen Gewinn von 4,8 Mio. DM und einen Zugang an Maschinen, Anlagen, Werkzeugen und Betriebsausstattung etc. von 28,7 Mio. DM aus, was zusammen bezogen auf den Umsatz 14,6 % sind. Vgl. Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (1966). Nach der Bilanz von 1970 betrug der Umsatz 372 Mio. DM, die Summe aus Gewinn und Investitionen in Maschinen, Anlagen, Werkzeugen, Betriebsausstattung etc. lag bei 51,6 Mio. DM, was 13,8 % vom Umsatz entsprach. Vgl. Heidelberger Druckmaschinen AG (1971).

¹²⁸⁶ Auf der DRUPA-Messe 1962 stellte Heidelberger 1962 die erste Einfarben-Offsetmaschine KOR („Kleine Offset Rotation“) vor. Vgl. Moormann (2000), S. 68.

¹²⁸⁷ Am 4.10.1960 bestellte Heidelberger bei der Fritz-Werner AG in Berlin eine „Vertikal-Fräsmaschine, Größe 2 -Type FV 2 D mit Lochbandprogrammsteuerung“. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 4–6.

¹²⁸⁸ Von 1949 bis 1956 war Hans Kuhnert Betriebsingenieur bei den Gebr. Heller in Nürtingen. Von 1956 bis 1957 leitete er ein kleineres Werk der Firma Westinghouse und wechselte 1957 zur Münchner Maschinen- und Fahrradfabrik Carl Hurth als Produktionsleiter. Von dort kam er 1961 zu Heidelberger. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 127, Nr. 24; Kuhnert (1968?).

Werkstücke. In der Laudatio zur Ehrenpromotion Kuhnerts am 23. November 1973 an der Universität Stuttgart formulierte das Stute wie folgt:

Bereits 1962, als der Begriff der Teilefamilienfertigung noch nicht verbreitet war, hatte Kuhnert alle Werkstücke, die überhaupt in den Werken zu fertigen waren, nach ihrer geometrischen Ähnlichkeit zusammengefaßt. So konnte er die Vielfalt der Teile im Bereich der Konstruktion verringern und eine gute Zuordnung von Maschinen zu Werkstückfamilien erreichen.¹²⁸⁹

Die Teilefamilien und die benötigten Stückzahlen waren dann die Grundlage für die Beschaffung neuer Maschinen. Hierzu beschritt Heidelberger zwei Wege: Zum einen wurden am Markt verfügbare NC- und Spezialmaschinen gekauft, wenn sie zum Heidelberger Teilespektrum passten, zum anderen entwickelte Heidelberger für Teile mit höheren Stückzahlen, für die es auf dem Markt keine geeigneten Maschinen gab, Sondermaschinen. Dies erfolgte entweder im eigenen Sondermaschinenbau oder in enger Zusammenarbeit mit Werkzeugmaschinenherstellern wie z. B. Fritz-Werner in Berlin und dem Ludwigsburger Maschinenbau (Burr).

Der erste Rationalisierungspfad war die Beschaffung von Serienmaschinen, worunter auch bald NC-Maschinen waren. Um die Eignung von NC-Bearbeitungszentren für Heidelberger herauszufinden, wählte Kuhnert schon kurz nach seiner Arbeitsaufnahme als Technischer Direktor fünf repräsentative Werkstücke aus. Er wollte wissen, ob das auf der Ausstellung in Chicago vorgestellte Bearbeitungszentrum Milwaukee-Matic (Abbildung 15) für diese Werkstücke geeignet war und beauftragte den Hersteller Kearney & Trecker¹²⁹⁰ mit Untersuchungen.¹²⁹¹ Diese zogen sich lange hin, sodass Heidelberger die Maschine erst Ende Juli 1964 bestellte; die Inbetriebnahme war nach der Lieferung im Mai 1965 am 12.8.1965 abgeschlossen.¹²⁹² Parallel wurden auch noch von anderen Herstellern NC-Maschinen beschafft. In der schon zitierten Aufstellung für Direktor Pöppel sind neben den NC-Maschinen von Fritz-Werner und Kearney & Trecker eine Mittenantriebsmaschine von Fritz-Werner, ein Koordinaten-Bohrwerk von DeVlieg, eine NC-Drehmaschine von Pittler und die NC-Bohrmaschine

¹²⁸⁹ Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 127, Nr. 24; Prof. Stute (23.11.1973), S. 3.

¹²⁹⁰ Kearney & Trecker war damals ein großer amerikanischer Werkzeugmaschinenhersteller, der 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago mit der Milwaukee-Matic das erste große Bearbeitungszentrum vorstellte (vgl. Kapitel 3.5).

¹²⁹¹ Aufstellung des Einkaufs zur Einführung der NC-Technik bei Heidelberger. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 7. Die Milwaukee-Matic von Kearney & Trecker war zu dieser Zeit eines der bekanntesten Bearbeitungszentren.

¹²⁹² Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Milwaukee Matic 1964; Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (31.07.1964) und Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Milwaukee Matic 1964; Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (17.08.1965). Warum es bis zur Bestellung der Maschine so lange dauerte, war aus den Unterlagen leider nicht ersichtlich.

Tape-O-Matic von Pratt & Whitney aufgeführt. Von Letzterer wurden in vier Jahren 55 Stück beschafft; sie muss also für die Heidelberger Fertigung sehr gut geeignet gewesen sein. Wie viele NC-Maschinen Heidelberger über die Jahre insgesamt beschaffte, ließ sich aus den Unterlagen aber leider nicht ermitteln.¹²⁹³

Unterstützt wurde die Maschinenbeschaffung von der Maschinenerprobungsstelle. Diese untersuchte auf dem Markt angebotene Werkzeugmaschinen auf ihre Eignung für Heidelberger.¹²⁹⁴ Für schwierige Werkstücke wurden vergleichbare Maschinen von unterschiedlichen Herstellern ausgeliehen und die Stückkosten und Qualität der Teile verglichen und bewertet. Das Ziel war, die wirtschaftlichste Maschine für die Fertigung der untersuchten Teile zu finden.¹²⁹⁵

Der zweite Rationalisierungspfad war die Entwicklung von Sondermaschinen. Diese wurden in mehreren Schritten zwischen 1962 und 1967/68 auf Basis der Teilefamilien entwickelt. In einem der ersten Schritte entstand eine Fertigungsanlage für kleinere Werkstücke, der sogenannte Kuhnomat.¹²⁹⁶ Dieser muss relativ schnell realisiert worden sein, denn er wurde Weinlich 1963 von Kuhnert gezeigt (vgl. Kapitel 4.11.8). Nach Weinlichs Erinnerung wurden beim Kuhnomat die Werkstücke automatisch von einem Spannplatz zur Maschine transportiert. Dort wurde über eine Kodierung an der Palette das Werkstück erkannt und die für die Bearbeitung benötigten Bohrspindeln über Pinolen pneumatisch in der richtigen Reihenfolge zur Bearbeitung vorgeschoben. Wahrscheinlich konnten sogar mehrere Pinolen gleichzeitig aktiviert werden, sodass mehrere Bearbeitungen gleichzeitig erfolgen konnten.¹²⁹⁷ Die Maschinen hatten aber noch keine NC-Steuerung sondern waren mechanisch über Nocken gesteuert.¹²⁹⁸ Die Maschinen wurden entweder von Heidelberger selbst gebaut¹²⁹⁹ oder von einem Zulie-

¹²⁹³ Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 2.

¹²⁹⁴ Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Maschinenerprobungsberichte 1; Heidelberger Druckmaschinen AG (1962–1974) und Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Maschinenerprobungsberichte 2; Heidelberger Druckmaschinen AG (1965–1969). In den beiden Ordnern befinden sich mehrere Berichte, in denen Einzelmaschinen untersucht und bewertet wurden. Teilweise wurden Maschinen für bestimmte Fertigungsaufgaben auch miteinander verglichen.

¹²⁹⁵ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 4–7.

¹²⁹⁶ Mit „Kuhnomat“ wurden bei Heidelberger die ersten Fertigungsanlagen bezeichnet, die nach den Ideen von Kuhnert gebaut wurden. Ob tatsächlich schon diese erste oder aber erst die Folgeanlage als „Kuhnomat“ bezeichnet wurde, konnte nicht abschließend geklärt werden. Die Aussagen in den Interviews hierzu waren widersprüchlich.

¹²⁹⁷ Vgl. Weinlich (16.02.2016), S. 10.

¹²⁹⁸ Kuhnert war die Steuerung des Kuhnomats zu unflexibel. Daraus entstand der Kontakt zu Herrn Weinlich, der den Auftrag erhielt, eine einfache NC-Steuerung für eine der nächsten Anlagen zu bauen. Vgl. Weinlich (16.02.2016), S. 8–10.

¹²⁹⁹ Heidelberger hatte einen eigenen Sondermaschinenbau. Vgl. Bader (15.02.2017), S. 5. Kenn sprach sogar davon, dass Kuhnert den Sondermaschinenbau zu einem Werkzeugmaschinenhersteller ausbauen wollte. Dies sei aber vom Vorstand nicht genehmigt worden. Vgl. Kenn (28.01.2017), S. 12.

ferer nach der Spezifikation von Heidelberg; das Gleiche galt für die Steuerung und das Transportsystem.

Die über Pinolen ein- und ausfahrbaren Spindeln waren eine Vorstufe der von Heidelberg bei den späteren Anlagen bevorzugten Bohrköpfe¹³⁰⁰. Auf einer Standardmaschine erfolgt die Bearbeitung sequenziell, d. h. jede Bearbeitungsoperation wird mit einem für sie geeigneten Werkzeug durchgeführt. Dadurch wird eine hohe Flexibilität erreicht, die Bearbeitung dauert aber relativ lange. Bei Maschinen mit Bohrköpfen erfolgt die Bearbeitung nicht mit einem Werkzeug, sondern gleichzeitig mit mehreren Werkzeugen.

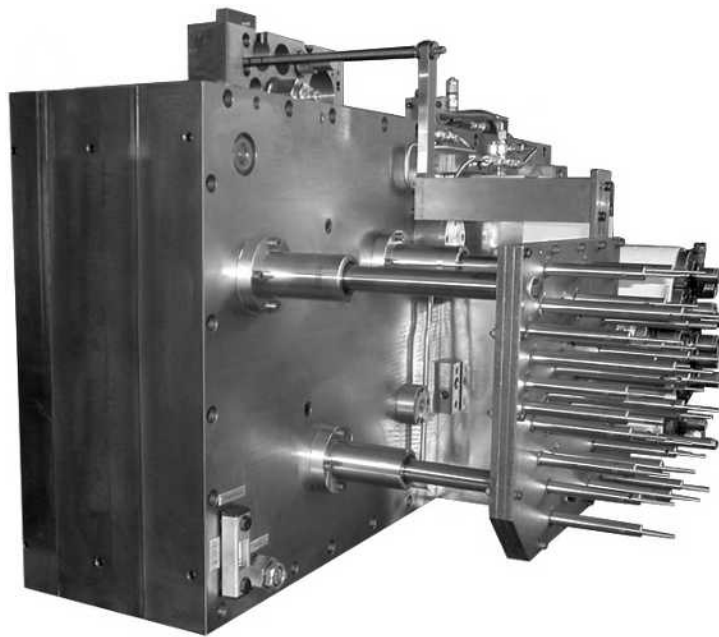


Abbildung 52: Moderner Mehrspindelbohrkopf¹³⁰¹

Abbildung 52 zeigt einen modernen Werkzeugkopf bzw. Bohrkopf, Abbildung 53 einen Bohrkopf von Heidelberg um das Jahr 1970. Durch die gleichzeitige Bearbeitung des Werkstücks mit mehreren Werkzeugen ist die Bearbeitung deutlich schneller, da mehrere Bearbeitungsoperationen parallel ablaufen. Der große Nachteil von Bohrköpfen ist, dass wegen der geforderten hohen Genauigkeit ihre Herstellung teuer ist und sie bei Werkstückänderungen aufwendig angepasst werden müssen.

¹³⁰⁰ Manchmal findet sich in der Literatur auch der Begriff Werkzeugkopf. Unter Bohrkopf wird in dieser Arbeit ein Mehrspindelbohrkopf verstanden, der mehrere Bearbeitungswerkzeuge auf Einzelspindeln enthält. Die erreichbare Genauigkeit wird durch die Präzision des Bohrkopfes bestimmt, d. h. durch die Genauigkeit der Spindelanordnungen zueinander. Im Bohrkopf befindet sich ein Getriebe, um die Drehzahl der einzelnen Werkzeuge auf die für die jeweilige Bearbeitung erforderliche Drehzahl anzupassen. Wird mit einem Bohrkopf ein Werkstück bearbeitet, erfolgen alle Bearbeitungen gleichzeitig. Typische Bearbeitungen für Bohrköpfe sind Bohrungen und das Schneiden von Gewinden.

¹³⁰¹ Bildquelle: FGB: Präzisionsmaschinenbau Suhl Steinbach GmbH. Co. KG in Zella-Mehlis.

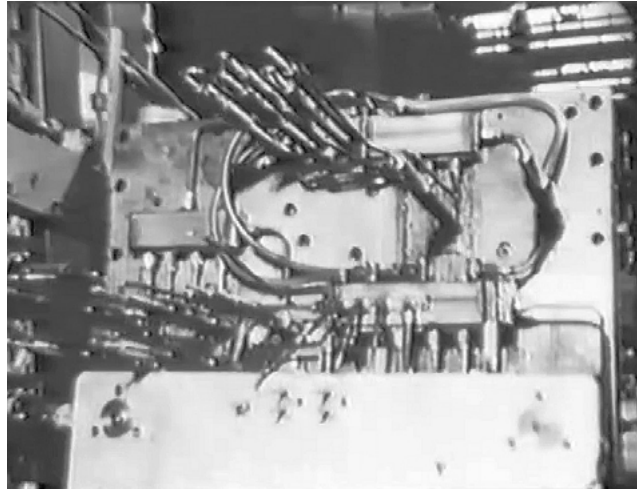


Abbildung 53: Bohrkopf Heidelberger Druckmaschinen AG¹³⁰²

Der Einsatz von Bohrköpfen ist deshalb nur bei höheren Stückzahlen wirtschaftlich, die Heidelberg durch die Bildung von Teilefamilien aber erreichte.

Durch die vielen Arbeitsschritte pro Werkstück und die Fertigung unterschiedlicher Werkstücke auf einer Anlage, benötigte jede Maschine Zugriff auf mehrere Bohrköpfe. Die Maschinen hatten deshalb eine automatische Wechseleinrichtung für Bohrköpfe. Abgelegt wurden die Bohrköpfe in Bohrkopfspeichern. Je nach Maschinentyp befanden sich diese entweder direkt an der Maschine oder in einer separaten Einrichtung. Im letzten Fall mussten dann die Bohrköpfe mit einer Zuführungseinrichtung zur Maschine gebracht werden.

Ab 1965 arbeitete bei Heidelberg in Wiesloch ein erstes automatisiertes Fertigungssystem für Werkstücke bis zu einer Größe von 300 x 300 mm; es war bis 1979 in Betrieb. Das Fertigungssystem bestand aus sechs Bearbeitungseinheiten für auswechselbare Bohrköpfe. Diese wurden in einem Hochregal mit dem Spitznamen „Hasenstall“ gelagert und wurden bei Bedarf über Transportvorrichtungen zu den Maschinen gebracht.¹³⁰³ Lieferant von vier Bearbeitungseinheiten für den „Hasenstall“ war Fritz Werner in Berlin.¹³⁰⁴

¹³⁰² Bildquelle: Videoschnappschuss aus einem Imagefilm der Heidelberger Druckmaschinen AG. Privatarhiv Michael Geiger, DVD Fertigungssysteme Heidelberger Druckmaschinen AG; Heidelberger Druckmaschinen AG (ca. 1979), Zeit: 28min 18s.

¹³⁰³ Vgl. Video Privatarhiv Michael Geiger, DVD Fertigungssysteme Heidelberger Druckmaschinen AG; Heidelberger Druckmaschinen AG (ca. 1979), Zeit: 00min 45s bis 9min 30s.

¹³⁰⁴ Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3. Welcher Hersteller die anderen zwei Bearbeitungseinheiten lieferte, ist nicht dokumentiert. Heidelberg informierte die Maschinenhersteller nicht, wo die bestellten Sondermaschinen eingesetzt wurden. Z. B. schrieb Kuhnert in einem Brief an Burr: „Diese Basismaschine wurde schließlich aufgrund Ihres Angebotes in insgesamt 3 Baugrößen in den folgenden Jahren 25-mal bei Ihnen gekauft, ohne daß wir Ihnen offiziell Mitteilung darüber gemacht hätten, zu welchem Zweck wir diese Maschinen verwenden.“ Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Entwicklung Palettmaschinen; Kuhnert (04.06.1970), S. 2.

Die Bearbeitungseinheiten waren mit NC-Steuerungen („Steckplatzsteuerungen“¹³⁰⁵) der Firma Weinlich ausgerüstet (vgl. Kapitel 4.11.8); die Automatisierung der Palettenzuführung zu den Bearbeitungseinheiten und des Bohrkopftransports aus dem „Hasenstall“ zu den Maschinen erfolgte wahrscheinlich durch Herrn Dautel bzw. seine Firma Remesta.¹³⁰⁶ Die Mechanik des Bohrkopflagers und des Transportsystems realisierte Heidelberger selbst.¹³⁰⁷

Etwa ein Jahr nach der Anlage mit den Fritz-Werner-Maschinen ging 1966 in Wiesloch eine zweite verkettete Anlage mit vier Bearbeitungsmaschinen für Werkstücke bis zu 600 x 600 mm in Betrieb. Auch sie produzierte bis 1979.¹³⁰⁸

Die in dieser Anlage verwendeten Bohrkopfmaschinen von Burr haben eine längere Vorgeschichte. Da der Heidelberger Sondermaschinenbau beschränkte Kapazitäten hatte, sicherte sich Heidelberger schon Ende Mai 1961 (also noch vor Kuhnerts Antritt als „Technischer Direktor“) beim Werkzeugmaschinenhersteller Burr Fertigungskapazitäten.¹³⁰⁹ Die erste Maschine aus diesem Kontingent mit einem Bohrkopfmagazin für zehn Bohrköpfe wurde im April 1962 bestellt¹³¹⁰ und funktionierte, wie Kuhnert in einem Brief an Burr 1970 schrieb, nicht zufriedenstellend. Nach Kuhnert lieferte Burr erst zwei Jahre nach der ersten Bestellung, also frühestens 1964, eine funktionsfähige

¹³⁰⁵ Der Name leitet sich von der Programmiertechnik der Weinlich-Steuerung ab; bei den ersten Steuerungen von Weinlich für Heidelberger wurde die Programmabfolge mit Drahtbrücken gesteckt. Vgl. Weinlich (16.02.2016), S. 9 und 12.

¹³⁰⁶ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 4. Eugen Dautel, zum Gründungszeitpunkt noch Mitarbeiter von Heller, gründete am 14.6.1965 zusammen mit Ernst Weichel die Firma Remesta GmbH in Heiningen; sie wurde am 18.11.1991 gelöscht. Vgl. Remesta 1; Gera (17.02.2020). Dautel hatte bei Heller Steuerungen auf der Basis von Telefonrelais entwickelt, unter anderem auch für die Revolverbohrmaschine SBR 32, war also ein erfahrener Steuerungstechniker. Vgl. auch Opferkuch (23.09.2012), S. 6–7. Wann Dautel für Heidelberger erste Steuerungen für die Automatisierung projektierte, konnte nicht ermittelt werden. Kuhnert kannte Dautel aus seiner Zeit bei Heller (1949–1956). Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Bestand 127, Nr. 24; Kuhnert (1968?), S. 1.

¹³⁰⁷ Vgl. Kenn (28.01.2017), S. 23–24.

¹³⁰⁸ Vgl. Video Privatarhiv Michael Geiger, DVD Fertigungssysteme Heidelberger Druckmaschinen AG; Heidelberger Druckmaschinen AG (ca. 1979), 9min 30s bis 16min 22s.

¹³⁰⁹ Geiger, der spätere Chefkonstrukteur bei Burr für die NC-Maschinen, erinnerte sich, dass die Entscheidung für Burr im Rahmen einer Ausschreibung unter mehreren Anbietern gefallen war. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 5. Nach dem zeitlichen Ablauf, wie er in der Aufstellung des Einkaufs von 1988 für Direktor Pöppel dokumentiert wurde, war dies aber eher unwahrscheinlich, da im Mai 1961 Burr Fertigungskapazität für Heidelberger pauschal, d. h. ohne Maschinenspezifikation, auf eine Anfrage von Heidelberger reservierte. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.4.1988; Ludwigsburger Maschinenbau (26.05.1961).

¹³¹⁰ Warum zehn Monate zwischen der Reservierung der „Produktionskapazität“ bei Burr und der tatsächlichen Maschinenbestellung (vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3) lagen, ist anhand der Unterlagen nicht nachvollziehbar. Eine Erklärung könnte sein, dass erst zu diesem Zeitpunkt die genaue Maschinenspezifikation durch die Untersuchungen zu Teilefamilien feststand.

Maschine.¹³¹¹ Die überarbeitete Maschine muss die Anforderungen von Heidelberger erfüllt haben, denn Heidelberger bestellte ab Ende 1964 bei Burr ca. 60 Bearbeitungseinheiten.¹³¹²

Vier der von Burr gelieferten NC-Basismaschinen wurden in die Fertigungsanlage für Werkstücke bis 600 x 600 mm integriert. Abweichend zur kleineren Anlage wurden die für die aktuelle Bearbeitung nicht benötigten Bohrköpfe nicht in einem Regal abgelegt, sondern in einem Bohrkopfumlauf für zehn Bohrköpfe maschinennah gelagert. Die Werkstücke wurden wie bei der ersten Anlage über eine Transporteinrichtung zu den Bearbeitungsmaschinen transportiert. Die Transportsteuerung soll wieder von Remesta gewesen sein,¹³¹³ was jedoch nicht zweifelsfrei bestätigt werden kann. Die NC-Steuerung war statt von Weinlich von Plessey¹³¹⁴, da die NC-Basismaschinen dieser Anlagen eine Bahnsteuerung benötigten.¹³¹⁵

1967 sollte auch die Fertigung der Seitenwände für die Offsetmaschinen automatisiert bzw. rationalisiert werden. Wegen der deutlich größeren Werkstücke musste das Maschinenkonzept überarbeitet werden. Außerdem waren auch Bearbeitungen mit großen Einzelwerkzeugen erforderlich, und es war unwirtschaftlich, für solche Fälle (wie bei den Vorläufermaschinen manchmal realisiert) Bohrköpfe nur mit einem Werkzeug zu bestücken. Burr entwickelte deshalb für Heidelberger ein Bearbeitungszentrum, bei dem sowohl Einzelwerkzeuge aus einem Kettenmagazin als auch Bohrköpfe eingewechselt werden konnten.¹³¹⁶ Die Maschinen wurden bei Burr mit einer Bahnsteuerung von Plessey bestellt,¹³¹⁷ da die westdeutschen Steuerungshersteller keine Bahnsteuerung mit der benötigten Funktionalität liefern konnten. Durch die Möglichkeit, sowohl mit Bohrköpfen als auch mit Einzelwerkzeugen zu arbeiten, ergab sich eine sehr große Bearbeitungsbandbreite. Insgesamt wurden mindestens zehn dieser Ma-

¹³¹¹ Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Entwicklung Palettmaschinen; Kuhnert (04.06.1970), S. 2. Kuhnert schrieb, dass Burr 25 Basismaschinen in drei Baugrößen lieferte.

¹³¹² Das genaue Bestelldatum ist in der Aufstellung nicht angegeben. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3. Da Sarvari seine Aufstellung 1988 anfertigte, bezogen sich die bei Burr bestellten 60 Bearbeitungseinheiten vermutlich auf alle bis zur Insolvenz von Burr gelieferten Maschinen.

¹³¹³ Nach den Erinnerungen des ehemaligen Konstruktionsleiters für NC-Maschinen bei Burr stammte die Steuerung von Remesta und damit von Herrn Dautel. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 5.

¹³¹⁴ Plessey war ein englischer Hersteller von NC-Steuerungen.

¹³¹⁵ Vgl. Kenn (28.01.2017), S. 29. Die westdeutschen Hersteller boten nach Kenn keine Steuerung an, die die Anforderungen von Heidelberger abdeckte. Vgl. Kenn (28.01.2017), S. 36.

¹³¹⁶ Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 5–6.

¹³¹⁷ In der Aufstellung des Einkaufs ist am 7.12.1966 die Bestellung von zwei Bearbeitungszentren mit Plessey-Bahnsteuerung bei Burr verzeichnet. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3.

schinen beschafft.¹³¹⁸ Zusammen mit dem von Heidelberger konzipierten Transportsystem handelte es sich schon fast um ein „Flexibles Fertigungssystem“¹³¹⁹.

Das für Heidelberger entwickelte Maschinenkonzept war auch die technische Basis für die von Burr ab 1967 allgemein angebotenen Bearbeitungszentren. Das erste Bearbeitungszentrum stellte Burr mit Erlaubnis von Heidelberger noch vor seiner Auslieferung auf der Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung 1967 in Hannover aus.¹³²⁰ Burr musste allerdings eine Vertragsklausel akzeptieren, die den Verkauf an Konkurrenten von Heidelberger untersagte.¹³²¹

Mit der Produktivität des „Flexiblen Fertigungssystems“ mit den Burr-Bearbeitungszentren war Kuhnert nicht zufrieden. Immer wieder gab es Probleme, die Lochstreifen der NC-Programme rechtzeitig an die Maschinen zu bringen, da die damaligen Steuerungen noch keinen ausreichenden Programmspeicher hatten. Kuhnert erhoffte sich deshalb von einer rechnergesteuerten Programmversorgung der Maschinen eine deutliche Verbesserung.¹³²² Dazu untersuchte Heidelberger Rechnerkopplungen von Nixdorf oder Control Data, die aber nicht das gewünschte Ergebnis brachten bzw. funktionierten.¹³²³ Im Frühsommer 1968 kam es wegen der Probleme zu Gesprächen zwischen Heidelberger und dem ISW in Stuttgart.¹³²⁴ Danach beauftragte Heidelberger das ISW, ein DNC-System zur Programmversorgung des „flexiblen Fertigungssystems“ zu entwickeln.¹³²⁵ Das Entwicklungsziel war es, die Bearbeitungszentren bzw. allgemeiner die NC-Maschinen mit den benötigten NC-Programmen per Datenübertragung bedarfsgesteuert zu versorgen.

¹³¹⁸ Im Video wurde erwähnt, dass das sich noch in Betrieb befindliche Fertigungssystem aus zehn unterschiedlich ausgestatteten Burr-Bearbeitungszentren bestand, die Ende der 1960er Jahre geliefert wurden. Vgl. Video Privataarchiv Michael Geiger, DVD Fertigungssysteme Heidelberger Druckmaschinen AG; Heidelberger Druckmaschinen AG (ca. 1979), 16min 22s bis 17min 12s.

¹³¹⁹ Die beschriebene Anlage bei Heidelberger war in der ersten Ausbaustufe nach der Definition dieses Begriffs durch C. M. Dolezalek und G. Ropohl noch kein „FFS“, da danach ein FFS durch ein „Informationsverarbeitungssystem“ gesteuert wird (vgl. Dolezalek/Ropohl (1970), insbesondere S. 451). Andererseits wurden die Werkstücke anhand ihrer Kodierung automatisch durch die Anlage geschleust und an der „Zielmaschine“ wurde automatisch das zugehörige Programm aktiviert, was den Anforderungen eines FFS schon ziemlich nahekommt. Andererseits konnte die Steuerung die Anlage nicht optimal auslasten.

¹³²⁰ Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988; Sarvari (14.04.1988), S. 3.

¹³²¹ Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Entwicklung Palettmaschinen; Kuhnert (04.06.1970), S. 3–4.

¹³²² Vgl. Nann (01.10.2014), S. 21.

¹³²³ Weinlich sprach von Nixdorf. Vgl. Weinlich (16.02.2016), S. 24, Kenn von Control Data. Vgl. Kenn (28.01.2017), S. 14.

¹³²⁴ Wie es zu den Gesprächen kam, ist nicht dokumentiert. Sicher ist aber, dass sich die Beteiligten durch das produktionstechnische Innovationssystem kannten. Dem Vorstandsvorsitzenden Sternberg war 1967 die Ehrendoktorwürde vom WZL verloren worden, der Leiter des ISW hatte am WZL promoviert und Kuhnert und Stute kannten sich spätestens seit der Gründung des EXAPT-Vereins.

¹³²⁵ Vgl. Nann (01.10.2014), S. 2.

Für das Projekt wurde ein Siemens-Prozessrechner 301 verwendet, eine neue Rechnergeneration für Echtzeitanwendungen.¹³²⁶ Heikelster Punkt der Entwicklung war die zeitkonforme Bereitstellung der NC-Programme bzw. der NC-Bearbeitungssätze durch den Rechner, da gleichzeitig mehrere NC-Steuerungen mit Daten versorgt werden mussten und die damaligen Steuerungen nur über einen kleinen Pufferspeicher für NC-Programme verfügten.¹³²⁷

Nicht zuletzt wegen der großzügigen Finanzierung durch Heidelberger wurde das Projekt schon Ende 1971 abgeschlossen.¹³²⁸ Der Bedienstand und der Rechner für den DNC-Betrieb waren in einer Art Kanzel oberhalb der Maschinen untergebracht, sodass der Operator die Fertigung gut im Blick hatte. Die Anlage war 1979 noch in Betrieb.¹³²⁹ Für Haak und Specht war die Anlage das „erste bundesdeutsche flexible Fertigungssystem“¹³³⁰.

Wie schon erwähnt hatte Heidelberger eine Maschinenerprobungsstelle. Diese untersuchte neue Maschinen vor einer festen Bestellung darauf, ob sie für die geplante Bearbeitungsaufgabe geeignet waren. Diese Vorgehensweise wurde bei der Planung des neuen Werks Amstetten auf ganze Fertigungslinien ausgedehnt.¹³³¹

1977 beschloss der Vorstand, wegen der weiter gestiegenen Nachfrage das Geislinger Werk durch einen Neubau zu ersetzen. Nach einem langen Planungs- und Genehmigungsverfahren wurde von 1982 bis 1985 mit einem Investitionsaufwand von 500 Mio. DM ein neues Werk in Amstetten bei Geislingen gebaut.¹³³² Noch vor dem Baubeginn in Amstetten wurde in einer Halle in Geislingen eine Pilotfertigung aufgebaut, mit der die für Amstetten vorgesehenen Maschinen und Transporteinrichtungen intensiv getestet und optimiert wurden. Das Ziel war, nach Fertigstellung der Gebäude, die Anlagen in Amstetten möglichst fehlerarm aufzubauen und schnell in Betrieb zu nehmen.¹³³³

Zu ergänzen ist noch, dass nach dem Ausscheiden von Kuhnert sein Nachfolger Pöpel bei Neuanschaffungen von NC-Maschinen statt auf Sondermaschinen mehr auf

¹³²⁶ Vgl. Nann (01.10.2014), S. 15.

¹³²⁷ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 33.

¹³²⁸ Vgl. Nann (01.10.2014), S. 15. Nann konnte durch das Projekt promovieren, nannte in seiner Dissertation aber an keiner Stelle Heidelberger Druck. Nann (1972).

¹³²⁹ Am Ende des schon mehrfach zitierten Films wird der DNC-Betrieb erklärt. Da für die Anlage keine Laufzeit im Film angegeben ist, war die Anlage zum Zeitpunkt der Filmerstellung noch in Betrieb. Vgl. Video Privataarchiv Michael Geiger, DVD Fertigungssysteme Heidelberger Druckmaschinen AG; Heidelberger Druckmaschinen AG (ca. 1979), 30min 49s bis 32min 52s.

¹³³⁰ Specht/Haak (1995), S. 91.

¹³³¹ Der Verfasser arbeitete in seinen ersten Berufsjahren in der Pilotfertigung in Geislingen zeitweise mit. Er testete und entwickelte im Auftrag eines Werkzeugmaschinenherstellers Teile der Maschinensoftware eines Bearbeitungszentrums.

¹³³² Vgl. Moormann (2000), S. 75–77.

¹³³³ Dem Verfasser ist nicht bekannt, dass andere Unternehmen beim Aufbau neuer Fertigungsanlagen ähnlich akribisch vorgehen.

Serienmaschinen setzte, da diese flexibler als Bohrkopfmaschinen waren.¹³³⁴ Begünstigt wurde die Strategieänderung durch das mittlerweile deutlich vielfältigere Angebot an Serienmaschinen. Deren Wirtschaftlichkeit verbesserte sich zudem kontinuierlich durch die immer leistungsfähiger werdende Steuerungs- und Antriebstechnik, besonders ab Mitte der 1970er Jahre durch die CNC-Technik.

Die ab etwa 1965 stark ansteigende Zahl der NC-Maschinen erforderte auch eine zentrale NC-Programmierung, denn Heidelberger strebte bei der Programmierung eine möglichst einheitliche Vorgehensweise an. Kuhnert und seine Mitarbeiter wollten einen möglichst guten Überblick über die eingesetzten und benötigten Ressourcen wie Maschinen und Werkzeuge haben.¹³³⁵ Mangels geeigneter Programmiersprachen wurden die NC-Programme in der Anfangszeit „von Hand“ in der jeweils steuerungsspezifischen Programmiersprache erstellt. Die von den Maschinenherstellern angebotenen Programmiersysteme wurden möglichst nicht eingesetzt, um nicht zu viele Programmiervarianten pflegen zu müssen.¹³³⁶

Da Heidelberger die Nachteile der manuellen Programmierung (den relativ hohen Programmieraufwand) kannte, gehörte Heidelberger, vertreten durch Herrn Kuhnert, 1967 zu den Gründungsmitgliedern des EXAPT-Vereins.¹³³⁷ Dieser wollte die NC-Programmierung mit Rechnerunterstützung und durch Integration der Technologie (Werkzeuge, Vorschub, Drehzahl etc.) im Vergleich zu APT vereinfachen (siehe Kapitel 4.13). Sobald eine erste brauchbare Version von EXAPT 1 vorlag (etwa 1968), ergänzte Heidelberger diese durch einen selbst entwickelten Postprozessor¹³³⁸, um das Teileprogramm für eine konkrete NC-Maschine zu erzeugen. Heidelberger verfolgte die EXAPT-Entwicklung konsequent weiter. Ab etwa 1975 wurde die Erstellung der NC-Programme mit EXAPT, nicht zuletzt aus Kostengründen, sehr stark forciert.¹³³⁹

Die Einführung von EXAPT 1 wurde anfangs durch das Fehlen geeigneter und leistungsfähiger Rechner behindert. Die NC-Programmierer und die Postprozessorentwickler mussten sich einen IBM-Rechner mit der Verwaltung teilen; später konnten sie bei Bedarf noch auf einen externen Rechner bei der Control Data Corporation zurück-

¹³³⁴ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 27.

¹³³⁵ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 19.

¹³³⁶ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 19.

¹³³⁷ Vgl. Archiv EXAPT-Verein, Ordner EXAPT-Verein: Gründung, Satzung; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (22.03.1967), S. 1.

¹³³⁸ Ein Programmiersystem erzeugt ein maschinenneutrales NC-Programm im sogenannten CLDATA-Format (Cutter Location Data). Näheres hierzu findet sich auch in der DIN 66 215 Teil 2. Vgl. DIN 66215-2:1982-02. Durch den nachgeschalteten Postprozessor wird das Programm dann an eine konkrete NC-Steuerung und eine konkrete Maschine angepasst, da einige Steuerungs- und Maschinenfunktionen nicht standardisiert sind. Vgl. Bader (15.02.2017), S. 15–16.

¹³³⁹ Vgl. Eitel (23.02.2014), S. 24. Das Datum ergibt sich, da die konsequente Umstellung auf EXAPT bei Heidelberger ungefähr eineinhalb Jahre nach dem Wechsel Eitels zu Heidelberger begann. Die Transkription wurde von Eitel nicht autorisiert.

greifen.¹³⁴⁰ Erst ab ungefähr 1980 stand für die NC-Programmierung ausreichend Rechnerkapazität im Haus zur Verfügung.¹³⁴¹

Im Unterschied zur Fertigungstechnik, die einer strengen Geheimhaltung unterlag, teilte Heidelberg bei EXAPT Wissen und Erfahrung mit anderen Firmen. Ein Beispiel dafür war, dass ein Heidelberger Mitarbeiter den firmenübergreifenden Arbeitskreis für EXAPT 1, in dem die Mitglieder untereinander und mit der Entwicklung ihre Erfahrungen austauschten, mehrere Jahre leitete.¹³⁴²

Wie in Kapitel 4.13 erläutert, begann die Entwicklung der Drehversion EXAPT 2 erst nach EXAPT 1 für Bohren und Fräsen, obwohl NC-Drehmaschinen das größere Maschinenkontingent stellten. EXAPT 2 stellte aber ähnlich hohe Anforderungen an die Rechner wie EXAPT 1. Um die Anforderungen an die Rechner für die Programmierung von Drehteilen zu reduzieren, entwickelte Heidelberg etwa ab 1972 eine aus EXAPT 2 abgeleitete Version mit dem Namen MINEX¹³⁴³, die geringere Rechneranforderungen und weniger Schreibaufwand für die Programmierer mit sich brachte.¹³⁴⁴ Obwohl die Rechnerprobleme nach einigen Jahren überwunden waren, setzte Heidelberg beim Drehen noch viele Jahre MINEX ein.¹³⁴⁵

Ein wichtiger Punkt war auch die Integration der Facharbeiter in die NC-Programmierung. Nach Bader setzte Heidelberg für die Programmierung der NC-Maschinen von Anfang an überwiegend interessierte Facharbeiter und Techniker ein, die sich weiterqualifiziert hatten. Vonseiten des Betriebsrats und der Gewerkschaften soll es bezüglich des zunehmenden NC-Einsatzes keine Probleme gegeben haben.¹³⁴⁶

Eine Besonderheit bei Heidelberg war der schon mehrfach erwähnte eigene große Sondermaschinen- und Betriebsmittelbau.¹³⁴⁷ So wurden die Transporteinrichtungen der verketteten Maschinen wohl überwiegend von Heidelberg selbst konzipiert und konstruiert. Zusätzlich wurden Spezialmaschinen konstruiert und gebaut, vor allem aber die Bohrköpfe. Um die komplizierte Auslegung der Bohrköpfe zu vereinfachen, setzte Heidelberg schon sehr früh auf Rechnerunterstützung und entwickelte ein Aus-

¹³⁴⁰ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 17. Die Control Data Corporation (CDC) hatte Mitte der 1970er Jahre einen Marktanteil von um die 50 % als Service-Rechenzentrum für die NC-Programmierung. Schwerpunkt war die Programmierung mit EXAPT. Vgl. Clausnitzer (1974), S. 35.

¹³⁴¹ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 31.

¹³⁴² Vgl. Bader (15.02.2017), S. 16.

¹³⁴³ Abkürzung für Mini-EXAPT.

¹³⁴⁴ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 31–32.

¹³⁴⁵ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 17.

¹³⁴⁶ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 21. Die Diskussion um die Auswirkungen der NC-Technologie auf die Beschäftigten ist Thema der Kapitel 8 und 9.

¹³⁴⁷ Zum Sondermaschinenbau lagen keine Unterlagen vor, aber die Interviewpartner bestätigten, dass er neben dem Bau bzw. der Ausschreibung von Sondermaschinen z. B. auch Fertigungsanlagen plante und ausschrieb.

legungsprogramm für das komplizierte Getriebe der Bohrköpfe. Die Software wurde in groben Zügen auf dem AWK 1968 vorgestellt, ohne jedoch Heidelberger explizit als Entwickler und Anwender zu nennen.¹³⁴⁸

Zusammengefasst reizte Heidelberger in den 1960er und 1970er Jahren die damaligen Möglichkeiten der Automatisierungstechnik und der NC-Technik aus und war nicht nur mit seinen Produkten, sondern auch unter fertigungstechnischen Aspekten ein sehr innovatives und erfolgreiches Unternehmen. Dies war das Verdienst des Vorstandsvorsitzenden Sternberg und des Technischen Direktors Kuhnert, die konsequent nach noch rationelleren Fertigungsmethoden für die Klein- und Mittelserien suchten. Nach Meinung von Kuhnert und Sternberg wurden von den Werkzeugmaschinenherstellern hinsichtlich des Teilespektrums und der Stückzahlen von Heidelberger nicht für alle Anforderungen geeignete Maschinen angeboten. Heidelberger beschloss, die „fehlenden“ Maschinen und Steuerungen genau zu spezifizieren, und dann entweder selbst zu bauen oder bei geeigneten Firmen zu bestellen.¹³⁴⁹ Da Kuhnert eine möglichst hoch automatisierte Fertigung aufbauen wollte, war die eine oder andere von Kuhnert durchgesetzte Lösung – bezogen auf den damaligen Stand der Technik – mutig bzw. wirtschaftlich grenzwertig, wie Hecker es 1980 rückblickend auf dem Böblinger NC-Kongress in seinem Vortrag andeutete:

Die Firma, die ich hier vertrete, hat die Entwicklung auf dem NC-Sektor in allen Phasen seit Beginn der 60iger Jahre dank einer aufgeschlossenen progressiven Einstellung der Unternehmensführung gegenüber technologischem Fortschritt mitgemacht und dabei Erfahrungen machen müssen, die im Einzelfall einer kritischen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mitunter kaum standhalten, die in ihrer Gesamtheit heute jedoch dem Unternehmen eine sichere Entscheidungsbasis für zukünftige Entwicklungen und Investitionen liefert.¹³⁵⁰

Trotz dieser erst später zugegebenen Probleme, konnte Kuhnert mit seinen Mitarbeitern und Partnern seine visionären Ideen weitgehend umsetzen und eine deutliche Produktionssteigerung erreichen. Zwischen 1961 und 1973 (dem Ende von Kuhnerts Tätigkeit für Heidelberger) verdreifachte sich der Umsatz auf etwa 900 Mio. DM und erhöhte sich bis zum Ende des Untersuchungszeitraums auf fast 2 Mrd. DM. Die Zahl der Mitarbeiter stieg hingegen vergleichsweise nur gering an, nämlich nur von etwa

¹³⁴⁸ Auf dem 13. Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium (AWK 1968) wurde in dem Vortrag „Lösung von Rationalisierungsaufgaben im Konstruktionsbereich“, bei dem auch Kuhnert Mitautor war, unter anderem ein Auslegungsprogramm für Mehrspindelbohrköpfe vorgestellt, das sich – auch nach Erinnerung von Geiger (vgl. Geiger (24.11.2016), S. 17) – nur auf Heidelberger beziehen kann. Vgl. Boese u. a. (1968), S. 1497–1501.

¹³⁴⁹ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 24 und 28.

¹³⁵⁰ Hecker (1980), S. 3. Zahlenmaterial zur Wirtschaftlichkeit der von Kuhnert konzipierten Anlagen wurde nicht gefunden.

5600 auf knapp 7000 zwischen 1963 und 1980.¹³⁵¹ Der siebenfache Umsatz wurde also mit nur 30 % mehr Mitarbeitern erzielt, woran die kontinuierlich erhöhte Automatisierung sicher einen nennenswerten Anteil hatte.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welchen Einfluss Heidelberger auf die Fertigungstechnik und die NC-Technik hatte. Die Beantwortung fällt nicht leicht, da Heidelberger in den 1960er Jahren fast nichts veröffentlichte¹³⁵² und die beteiligten Firmen zur Geheimhaltung verpflichtete. Trotzdem soll versucht werden, der Fragestellung unter verschiedenen Aspekten nachzugehen.

Bei den Werkzeugmaschinenherstellern ist nur zu belegen, dass durch die Zusammenarbeit mit Heidelberger aus dem Sondermaschinenbauer Burr ein führender Hersteller von Bearbeitungszentren in der Bundesrepublik Deutschland wurde (vgl. Kapitel 5.4). Neben den im Bericht von Savari aufgeführten Firmen wurden auch Werkzeugmaschinen von anderen Herstellern von der Maschinenerprobungsstelle auf ihre Eignung für Heidelberger untersucht. Da Heidelberger sich über die Erprobungsergebnisse wahrscheinlich mit den Werkzeugmaschinenherstellern austauschte, ist es naheliegend, dass Heidelberger die Entwicklung der NC-Maschinen auch bei anderen Herstellern beeinflusste.

Schwierig ist es, den Einfluss von Heidelberger auf die Steuerungstechnik zu bewerten. Es scheint so zu sein, dass Heidelberger für die einfacheren NC-Anwendungen überwiegend auf die Weinlich-Steuerung setzte und bei den NC-Sondermaschinen, die eine Bahnsteuerung benötigten, die des britischen Herstellers Plessey vorschrieb.¹³⁵³ Über eine wie auch immer geartete Zusammenarbeit mit anderen Steuerungsherstellern ist nichts bekannt, allerdings ließ Heidelberger z. B. bei NC-Drehmaschinen auch andere Steuerungen zu.¹³⁵⁴

Offener verhielt sich Heidelberger bei der NC-Programmierung. Heidelberger gehörte zu den Gründungsmitgliedern des EXAPT-Vereins und hatte über mehrere Jahre den Vorsitz im beratenden Industriearbeitskreis. Darüber konnte Heidelberger als einer der

¹³⁵¹ Vgl. Moormann (2000), S. 118–119.

¹³⁵² Bemerkenswert ist allerdings, dass Kuhnert beim 13. AWK 1968 bei fünf Vorträgen und beim 14. AWK 1971 bei vier Vorträgen als Mitautor genannt ist. Allerdings lässt sich nur bei dem Vortrag über das Auslegungsprogramm für Mehrspindelwerkzeugköpfe (AWK 1968) ein eindeutiger Bezug zu Heidelberger herstellen. Die Vorträge des AWK 1968 wurden im Industrie-Anzeiger 67/1968 und 76/1968 und die des AWK 1971 im Industrie-Anzeiger 60/1971 und 69/1971 veröffentlicht.

¹³⁵³ Welches Alleinstellungsmerkmal aus Heidelberger Sicht die Plessey-Steuerung auszeichnete, konnte nicht geklärt werden. Das Gleiche gilt für die Frage, ob Heidelberger über seine Anforderungen an NC-Bahnsteuerungen mit westdeutschen Steuerungsherstellern Mitte der 1960er Jahre Gespräche führte und diese damals keine geeigneten Steuerungen anbieten konnten. Kontaktmöglichkeiten bestanden z. B. über den EXAPT-Verein. Bei dessen Gründung am 22.3.1967 waren neben Kuhnert Führungskräfte von Siemens (Waller) und der AEG (Römer) anwesend. Vgl. Archiv EXAPT-Verein, Ordner EXAPT-Verein: Gründung, Satzung; Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (22.03.1967).

¹³⁵⁴ Vgl. Kenn (28.01.2017), S. 4.

Hauptanwender die Weiterentwicklung konkret mitgestalten. Im Unterschied zur Fertigungstechnik befürchtete Heidelberger bei EXAPT wohl keinen entscheidenden Know-how-Abfluss zu Wettbewerbern. In der aktiven Unterstützung von EXAPT sah Heidelberger für sich wahrscheinlich mehr Nutzen als Gefahr.

Bei der Entwicklung des DNC-Systems für die Burr-Bearbeitungszentren mit dem Siemens Prozessrechner 301 arbeiteten Siemens, Heidelberger und das ISW zusammen, um eine optimale Lösung zu finden. Es ist anzunehmen, dass die Zwischenergebnisse das von Siemens 1970 auf der Internationalen Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover ausgestellte DNC-System (vgl. Kapitel 4.11.7) beeinflussten. Auch ist naheliegend, dass der erfolgreiche produktive Einsatz bei Heidelberger zumindest die wissenschaftliche Diskussion solcher Systeme in der HGF bzw. in Teilen des produktionstechnischen Innovationssystems intensivierte.

Heidelberger gab also wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung der Fertigungstechnologie und war wahrscheinlich der westdeutsche Anwender, der im Untersuchungszeitraum die NC-Technik am konsequentesten nutzte. Firmen wie Burr und Weinlich, die besonders eng mit Heidelberger zusammenarbeiteten und die Heidelberger „Ideen“ aufgriffen und weiterentwickelten, profitierten davon.

Leider publizierte Heidelberger aus Wettbewerbsgründen sehr wenig über seine wegweisenden Anwendungen der NC-Technik, sodass die Details der Heidelberger Fertigungsphilosophie nur wenigen bekannt waren. Eine indirekte Breitenwirkung gab es nur dadurch, dass es ohne Heidelberger z. B. die Burr-Bearbeitungszentren nicht gegeben hätte. Ein weiterer, nur schwer quantifizierbarer Einfluss könnte sich durch das produktionstechnische Innovationssystem ergeben haben. Aus der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Sternberg und später Kuhnert wird deutlich, dass Heidelberger enge Kontakte zum WZL (und später auch noch zum ISW) hatte. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, dass die Fertigungskonzepte mit dem WZL im kleinen Kreis diskutiert wurden.¹³⁵⁵ Weiter ist anzunehmen, dass sich die Kenntnisse über die Heidelberger Fertigungsphilosophie innerhalb der HGF verbreiteten und die Diskussionen und Forschungsprojekte im produktionstechnischen Innovationssystem beeinflussten. Allerdings muss das Wissen auf einen kleinen Kreis beschränkt gewesen sein, denn bei der Durchsicht des Archivmaterials von M.A.N. (vgl. Kapitel 6.3) wurden keine Hinweise auf Heidelberger gefunden, obwohl auch M.A.N. Kontakte zum WZL hatte.

Treiber für die NC-Anwendungen bei Heidelberger war der technische Vorstand Kuhnert, bis er 1973 als Vorstandsvorsitzender zu Deckel wechselte. Da viele benötigte NC-Maschinen auf dem Markt nicht angeboten wurden, setzte Heidelberger oft auf

¹³⁵⁵ Rohs berichtet von einem Besuch bei Heidelberger um 1967, bei dem Heidelberger seine hochautomatisierte Fertigung vorführte. Vermutlich erfolgte dieser Besuch mit einer Delegation des WZLs im Vorfeld der Verleihung der Ehrendoktorwürde an den Vorstand Sternberg. Rohs las zu dieser Zeit über NC-Technik am WZL. Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 16.

NC-Sondermaschinen, die im eigenen Sondermaschinenbau oder bei Sondermaschinenherstellern entwickelt wurden. Kuhnerts Nachfolger Pöppel hingegen legte seinen Fokus mehr auf Standardmaschinen und ließ nur dann Sondermaschinen entwickeln, wenn es keine andere Lösung gab. Dabei kam ihm entgegen, dass das Spektrum der am Markt angebotenen NC-Maschinen schon deutlich größer war als in den 1960er Jahren.

Aktuell wird in der Bundesrepublik Deutschland viel über den Begriff Industrie 4.0 diskutiert, der ausdrücken soll, dass das Kennzeichen einer modernen Produktion die enge Verknüpfung von Daten und Produktionsabläufen ist. Kubot und Dittmann formulieren das wie folgt:

Industrie 4.0 bezeichnet die Verknüpfung von physischen Systemen, etwa Maschinen in der Produktion, mit der digitalen Welt. Diese Vernetzung soll zu einer intelligenten Fabrik führen, in der Produkt und Produktion miteinander kommunizieren. Anstelle der klassischen Serienfertigung gleichartiger Produkte setzt die neue Vision auf einen selbstorganisierenden Produktionsfluss, bei dem jedes Produkt im Rahmen bestimmter Vorgaben individuell sein kann.¹³⁵⁶

Diese Definition weist erstaunliche Parallelen zur Fertigungsphilosophie von Heidelberger in den 1960er Jahren auf. Bei Heidelberger kommunizierten die Werkstücke trotz der noch in den Kinderschuhen steckenden Daten- und Rechnertechnik schon über kodierte Paletten mit der Fertigungsanlage. Mit Hilfe der Kodierung wurden die Werkstücke durch die Fertigungsanlagen geschleust und in den Bearbeitungseinheiten die richtigen Programme aktiviert. Die bei Heidelberger realisierten Fertigungskonzepte waren damit nach der Definition von Kubot und Dittmann bereits Vorläufer von Industrie 4.0, was die Vorreiterrolle von Heidelberger unterstreicht.

6.3 NC-Einführung bei der Gutehoffnungshütte Aktienverein bzw. deren Tochter M.A.N.

Die bis zum 31.8. 2020 bestehende MAN SE entstand 1986 durch Verschmelzung der Gutehoffnungshütte Aktienverein (GHH) und der M.A.N. AG¹³⁵⁷. Da M.A.N. vor der

¹³⁵⁶ Kubot/Dittmann (2016), S. 14.

¹³⁵⁷ Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg Aktiengesellschaft. Die Schreibweise der Abkürzung änderte sich im Laufe der Zeit. 1908 mit der Umbenennung in Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg wurde die Abkürzung M.A.N. eingeführt. 1986 nach der Verschmelzung von M.A.N. und GHH erfolgte die Umbenennung in die MAN AG, kurz MAN. 2009 erfolgte die Eintragung als MAN SE. Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarische Geschichte der M.A.N.; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.). Je nach Zeitpunkt wird die Abkürzung M.A.N. oder MAN verwendet. 2021 kam es wieder zu einer größeren Veränderung. Die MAN SE wurde mit ihrem Hauptaktionär TRATON SE am 1.9.2021 verschmolzen. Vgl. o. V. (2021b). Noch vor der Verschmelzung war Ende 2018 das in der Tochtergesellschaft MAN Energy Solutions konzentrierte Geschäft mit Großmotoren an VW verkauft worden. Vgl. MAN SE (2021), S. 149.

Verschmelzung ein Tochterunternehmen der GHH war, übernahm vom Namen her quasi die Tochtergesellschaft das Mutterunternehmen.¹³⁵⁸

Die Wurzeln der GHH gehen auf die 1758 gegründete St.-Antony-Hütte in Oberhausen-Osterfeld im Ruhrgebiet zurück,¹³⁵⁹ die der M.A.N. auf die Gründung der Sander-schen Maschinenfabrik 1840 in Augsburg und der Klett & Comp. 1841 in Nürnberg. 1920 kam M.A.N. in den Besitz der GHH.¹³⁶⁰ Dadurch vergrößerte sich der Anteil des Maschinenbaus im Konzern. Nach dem Zweiten Weltkrieg nahm die Bedeutung des Maschinenbaus weiter zu, da der Bergbau und die Hüttenbetriebe ausgegliedert werden mussten.¹³⁶¹ Durch Zukäufe, vor allem in den 1960er und 1970er Jahren, stieg der Umsatz des GHH-Konzerns stark an, und zwar von 6,344 Mrd. DM (1969/70) auf 15,417 Mrd. DM (1979/80¹³⁶²) während die Belegschaft im selben Zeitraum von 95.810 Mitarbeitern auf 86.000 abnahm.¹³⁶³

Außerordentlich ergiebig für die Untersuchung der NC-Einführung bei M.A.N. und den verbundenen Unternehmen waren die Sitzungsprotokolle der sogenannten Betriebskommission (BK). Diese befinden sich für den Untersuchungszeitraum in Summe fast lückenlos entweder im Historischen Archiv der MAN Augsburg oder im Historischen Archiv der MAN Truck & Bus SE in Karlsfeld bei München.¹³⁶⁴ Ein Alleinstellungsmerkmal der Protokolle ist, dass sie neben dem eigentlichen Sitzungsprotokoll sehr oft ausführliche Fassungen (in Wort und Bild) der auf den Sitzungen gehaltenen Referate enthalten. Dadurch lassen sich die Diskussionen und die Beschlüsse der BK relativ gut nachvollziehen.

Die BK wurde 1933, also lange vor dem Zweiten Weltkrieg, vom damaligen Technischen Direktor des M.A.N.-Werks Nürnberg und späteren M.A.N.-Vorstand Otto Meyer gegründet.¹³⁶⁵ Die erste Sitzung war am 6. März 1933 im Werk Augsburg.¹³⁶⁶ Zum zehnjährigen Jubiläum fasste Meyer den Zweck der BK zusammen:

¹³⁵⁸ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarische Geschichte der M.A.N.; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.).

¹³⁵⁹ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarische Geschichte GHH; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.).

¹³⁶⁰ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarische Geschichte der M.A.N.; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.).

¹³⁶¹ Vgl. Bähr u. a. (2008), S. 340–356. Das Buch behandelt die Unternehmensgeschichte von den Anfängen im Jahr 1758 bis zum Jahr 2008.

¹³⁶² Vgl. Bähr u. a. (2008), S. 442.

¹³⁶³ Vgl. Bähr u. a. (2008), S. 455.

¹³⁶⁴ Einige Protokolle der BK finden sich nur in einem Archiv und bei in beiden Archiven vorhandenen Protokollen sind die archivierten Umfänge manchmal unterschiedlich.

¹³⁶⁵ Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0, Regal 8.2.2, 100. BK-Sitzung; Moll (Oktober 1978).

¹³⁶⁶ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100, Festschrift zur 100. Betriebs-Kommissions-Sitzung; Historisches Archiv der MAN Augsburg (1978), S. 28.

Im März 1933 wurde der Gedanke der Gründung einer Betriebskommission – ein Gedanke, der nicht neu war – verwirklicht.

Sinn und Zweck der Betriebskommission ist, die Erfahrungen in den Betrieben der M.A.N. gegenseitig auszutauschen und nutzbar zu machen. Darüber hinaus war aber die vielleicht noch größere Aufgabe gestellt, die verantwortlichen Männer der Werke sich untereinander nicht zuletzt auch menschlich näherzubringen.

Wenn in den ersten zehn Jahren des Bestehens der Betriebskommission der Weg gezeigt wurde, solche Ziele zu erreichen, so war die bisherige Arbeit nicht vergebens.¹³⁶⁷

Die 100. BK-Sitzung fand am 13./14. Oktober 1978 im M.A.N.-Werk in Augsburg¹³⁶⁸ unter Leitung des M.A.N.-Vorstandsvorsitzenden Hans Moll¹³⁶⁹ statt. Die Sitzungsfrequenz hatte sich zwischen 1933 und 1949 mehrmals geändert; ab 1949, dem Jahr nach der Währungsreform, fanden zwei Sitzungen pro Jahr statt.¹³⁷⁰

Über die Jahre vergrößerte sich der Mitgliederkreis über die M.A.N. hinaus. In einem Papier zur Vorbereitung der 100. BK-Sitzung wurden Mitglieder und Vorsitz für die Zukunft wie folgt festgelegt:

Der Betriebskommission (BK) gehören als Mitglieder die für die Fertigungsbereiche zuständigen Vorstände und Direktoren bzw. Geschäftsführer aus der M.A.N.-Gruppe an, ferner auch leitende Herren von Maschinenfabriken im GHH-Konzern. Vorsitzender der BK ist der jeweilige Vorstandsvorsitzende der M.A.N. AG.¹³⁷¹

Für wichtige Einzelthemen hatte die BK Unterkommissionen eingerichtet. Nach einer Übersicht gab es 1975 zu Werkzeugmaschinen zwei Unterkommissionen und zwar die Werkzeugkommission und den Werkzeugmaschinenausschuss. Die Leitung des Letztgenannten hatte damals der M.A.N.-Vorstandsvorsitzende Moll, was die Wichtigkeit dieses Unterausschusses unterstreicht. Die Unterkommissionen bekamen von der BK Fachaufgaben zugewiesen und mussten Lösungsvorschläge für die Fragestellungen

¹³⁶⁷ Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0, Regal 8.2.2, 100. BK-Sitzung; Meyer (um 1943/1978), Anlage 4.

¹³⁶⁸ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100; M.A.N. (11.10.1978).

¹³⁶⁹ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Tabellarischer Lebenslauf Hans Heinrich Moll; Historisches Archiv der MAN Augsburg (nach 1979).

¹³⁷⁰ Im ersten Jahr (1933) gab es sechs Sitzungen, wahrscheinlich um sich kennenzulernen und den Ablauf und die zu behandelnden Themen abzuklären. 1934 und 1935 waren nur zwei Sitzungen nötig, 1936 aber vier und 1937 drei, was evtl. mit dem zweiten Vierjahresplan der NSDAP zusammenhing, mit dem u. a. die Produktion von militärischen Gütern erhöht werden sollte. Von 1938 bis 1943 gab es jeweils zwei jährliche Treffen, 1944 nur noch eins und 1945 keines. 1946 waren schon wieder zwei Sitzungen möglich, 1947 vier und 1948 drei, was sicher mit dem Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg zusammenhing. Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100, Festschrift zur 100. Betriebs-Kommissions-Sitzung; Historisches Archiv der MAN Augsburg (1978), S. 28–37.

¹³⁷¹ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100; M.A.N. (März 1978), S. 1.

erarbeiten. Diese wurden dann auf den BK-Sitzungen in Referaten vorgestellt.¹³⁷² Zusätzlich wurden ab der 43. BK (10./11. Februar 1950) zu fast jeder Sitzung externe Fachleute (oft auch Professoren von den Hochschulen) zu Gastvorträgen eingeladen, um der BK über aktuelle Trends zu berichten.¹³⁷³

Spätestens auf seiner vierten Sitzung beschäftigte sich der Werkzeugmaschinenausschuss der BK unter dem Punkt „Programm- und Positioniersteuerungen für Werkzeugmaschinen“ am 24./25. November 1960 bei den Schwäbischen Hüttenwerken in Wasseralfingen erstmals ausführlich mit NC-Steuerungen. Zu dieser Sitzung war Simon von der TH Darmstadt eingeladen. In seinem Referat über „Programmierung und Datenverarbeitung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen“ erklärte er den Ausschussmitgliedern die prinzipielle Funktionsweise einer numerischen Steuerung.¹³⁷⁴

Die erste BK-Sitzung, bei der die NC-Technologie auf der Tagesordnung stand, war die 66. Sitzung am 28./29. September 1961 im M.A.N.-Werk München. Den Vorsitz hatte noch Otto Meyer, der Gründer der BK.¹³⁷⁵ Gastreferent war wieder Simon, diesmal mit dem Referat „Grenzen der Anwendungsmöglichkeiten für die numerische Steuerung in der Einzel- und Kleinserienfertigung.“ Darin schätzte Simon den Zeitraum von ersten Überlegungen zur Beschaffung einer NC-Maschine bis zur „restlosen Klärung der Ausnutzungsmöglichkeit einer solchen Maschine“¹³⁷⁶ auf ungefähr drei Jahre. Wirtschaftlich waren für Simon damals nur Steuerungen ohne Interpolation. Außerdem befürchtete er wegen der vielen benötigten Bauelemente noch Probleme bei der Betriebssicherheit der numerischen Steuerungen.¹³⁷⁷

Der zweite Tagesordnungspunkt war der Bericht von Stein über die „Automatisierung und Mechanisierung in den amerikanischen Fertigungsbetrieben“. Stein berichtete, dass in den USA sogar schon vereinzelt begonnen wurde, Transferstraßen durch NC-

¹³⁷² Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100; M.A.N. (März 1978), Anlage 1 und 2.

¹³⁷³ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100, Festschrift zur 100. Betriebs-Kommissions-Sitzung; Historisches Archiv der MAN Augsburg (1978), S. 38–40.

¹³⁷⁴ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Aktengruppe 2.1.1, Der Betrieb; Einrichtungen Werkzeugmaschinen, Werkzeuge, Werkstoffe; Simon (24.11.1960), S. 33–51. Leider hat das Archiv nicht das gesamte Protokoll des Werkzeugmaschinenausschusses, sondern nur den Auszug mit dem Referat von Simon.

¹³⁷⁵ 1961 war Otto Meyer Aufsichtsrat der M.A.N. (Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Lebenslauf Dr. Otto Meyer; Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.)). Ab der Übernahme des Aufsichtsratsmandats (1955) bis Ende 1968 hatte Meyer zusammen mit Ulrich Neumann (seinem Nachfolger als Vorstandsvorsitzender, vgl. Bähr u. a. (2008), S. 385), den Vorsitz auf den BK-Sitzungen. Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100, Festschrift zur 100. Betriebs-Kommissions-Sitzung; Historisches Archiv der MAN Augsburg (1978), S. 32–34.

¹³⁷⁶ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 66; M.A.N. (16.10.1961), S. 2.

¹³⁷⁷ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 66; M.A.N. (16.10.1961), S. 2–3.

Maschinen zu ersetzen. Außerdem zeigte er einen Film von Giddings & Lewis über den Einsatz einer fünfachsig magnetbandgesteuerten Fräsmaschine im Flugzeugbau.¹³⁷⁸

Der nächste Tagesordnungspunkt war der Bericht des Werkzeugmaschinenausschusses über die siebte Europäische Werkzeugmaschinenexposition in Brüssel. Laut Protokoll empfahl der Ausschuss der BK-Sitzung zu beschließen, „daß jedes Werk prüfen solle, wo numerisch gesteuerte Maschinen oder Maschinen mit Informationsspeicher sinnvoll eingesetzt werden können.“¹³⁷⁹ Ein Überblick über mögliche Anwendungen von numerisch gesteuerten Maschinen in den BK-Werken sollte dann auf der nächsten BK-Sitzung vorgestellt werden.¹³⁸⁰ Die Empfehlung war gegenüber dem Protokoll der vorausgehenden Sitzung des Werkzeugmaschinenausschusses abgeschwächt worden. Diese hatte einen weitergehenden Beschluss vorgeschlagen:

Der Ausschuß gibt an die BKS¹³⁸¹ die Empfehlung, daß die einzelnen Werke nach den bei ihnen vorliegenden Möglichkeiten nunmehr mit der Einführung einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine beginnen sollen. Jedes Werk muß selbst seine eigenen Erfahrungen sammeln, die von der Konstruktion über die Arbeitsvorbereitung, Betrieb, Lagerhaltung bis zu den Fragen der Stückzahlen, der Genauigkeit u. a. reichen.¹³⁸²

Warum der Werkzeugmaschinenausschuss ursprünglich zu dieser eindeutigen Empfehlung kam, kann aus dem Protokoll nur indirekt abgeleitet werden. Vermutlich war es zum einen der Bericht von Simon (TH Darmstadt) zum Stand der NC-Technik und zum anderen der Eindruck von der 7. EWA, auf der viele NC-Maschinen ausgestellt worden waren. Vermutlich hatte sich dadurch die Einsicht durchgesetzt, dass die NC-Technik nicht mehr aufzuhalten sei, und M.A.N. zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit NC-Maschinen beschaffen müsse. Aus der Empfehlung kann aber auch ein gewisser Weitblick herausgelesen werden, da der Werkzeugmaschinenausschuss je nach Werk unterschiedliche Anpassungen der innerbetrieblichen Prozesse bei Einführung von NC-Maschinen sah. Die BK hingegen bewertete auf ihrer Sitzung die mit der Beschaffung von NC-Maschinen verbundenen Risiken höher als die Chancen und vertagte die Entscheidung erst einmal.

¹³⁷⁸ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 66; M.A.N. (16.10.1961), S. 4.

¹³⁷⁹ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 66; M.A.N. (16.10.1961), S. 5.

¹³⁸⁰ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 66; M.A.N. (16.10.1961), S. 6.

¹³⁸¹ Betriebskommissionssitzung.

¹³⁸² Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7C K4; Nr. 66; Werkzeugmaschinenausschuss der Betriebskommission (28.09.1961), S. 9.

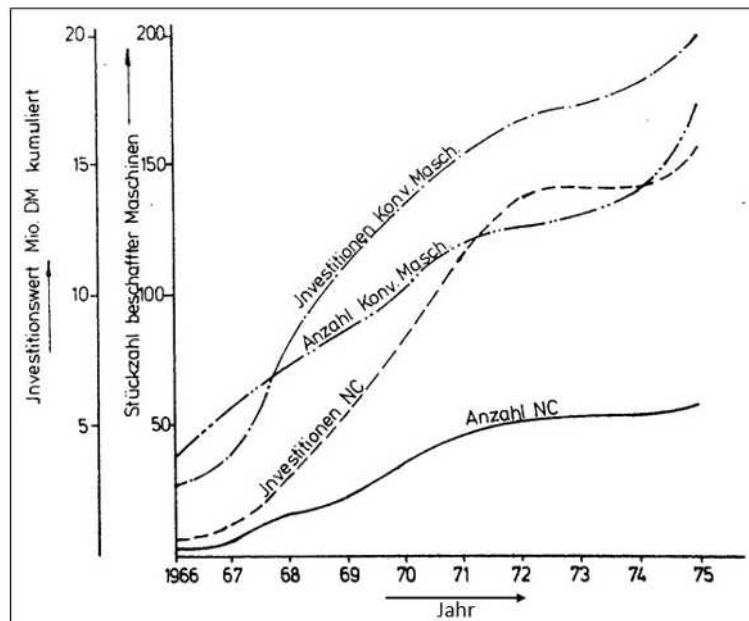


Abbildung 54: Bestandsentwicklung und Investitionen für Werkzeugmaschinen bei M.A.N.-Augsburg¹³⁸³

Auf der 69. BK-Sitzung am 10./11. Mai 1963 berichtete der Werkzeugmaschinenausschuss kurz über seine letzte Sitzung und den Stand der NC-Technik im Werk Augsburg. Dort waren mittlerweile zwei numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen in Betrieb, von denen eine schon seit einem halben Jahr zur vollsten Zufriedenheit arbeitete. Allerdings waren nicht näher ausgeführte Maßnahmen erforderlich gewesen, um die benötigte Betriebssicherheit zu erreichen. Rückendeckung bekamen die Skeptiker durch den Bericht über eine Studienreise zu US-Lastkraftwagenwerken. Danach setzten US-Lastwagenhersteller wegen fehlender Wirtschaftlichkeit fast keine NC-Maschinen ein. Fast alle 2500 NC-Maschinen der USA wären in der Rüstungsindustrie bzw. staatlich subventionierten Industrien in Betrieb.¹³⁸⁴

Obwohl im Werk Augsburg Mitte der 1960er Jahre erst wenige NC-Maschinen in Betrieb waren (Abbildung 54),¹³⁸⁵ ging die Leitung wohl von einer Zunahme der NC-Maschinen aus. Anders ist nicht zu erklären, warum M.A.N. die Mitarbeiter über die NC-Technik und die möglichen Konsequenzen für sie in der M.A.N.-Werkzeitung informierte.

¹³⁸³ Bildquelle: Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 1.

¹³⁸⁴ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 69; Neumann (26.04.1963), S. 3.

¹³⁸⁵ Auf der 95. BKS (1976) berichtete Sander, dass im Werk Augsburg in den Jahren 1962, 1963, 1964 und 1966 je ein NC-Koordinatenbohrwerk beschafft worden sei, um langsam Erfahrungen zu sammeln. Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 1.

Im Heft 8/9 (1965) wurde das Funktionsprinzip einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine anschaulich und allgemeinverständlich erklärt. Zusätzlich wurden auch die Veränderungen der Arbeitsinhalte angesprochen, die sich für die Facharbeiter ergeben könnten. Um eventuellen Befürchtungen auf Arbeitsplatzverluste entgegenzuwirken, wurden die Facharbeiter auf die Chancen hingewiesen, die sich ihnen in der NC-Programmierung bot.¹³⁸⁶ Dies war eine Maßnahme, um potenzielle Konflikte zu entschärfen. Trotz der guten Voraussetzungen wuchs der NC-Maschinenbestand im Werk Augsburg nur langsam auf etwa 50 NC-Maschinen bis 1971 an, um dann die nächsten fünf Jahre fast zu stagnieren (Abbildung 54).

Die Entwicklung des NC-Maschinenbestands im Werk Augsburg analysierte Sander¹³⁸⁷ für die 95. BK-Sitzung am 9. April 1976. Er bezifferte den aktuellen Bestand auf 56 NC-Maschinen, was 3,2 % des Maschinenparks an Produktionsmaschinen entsprach. Die Ursache für die aus der Grafik ersichtliche Investitionszurückhaltung bei den NC-Maschinen ab 1972 sah Sander darin, dass die „allgemeine NC-Euphorie der ersten Beschaffungsjahre erheblich zurückging und eine Ernüchterung in der Beurteilung der Möglichkeiten der NC-Fertigung eintrat“¹³⁸⁸. Nach Sander wurden NC-Steuerungen (und damit auch NC-Maschinen) ab 1973/1974 durch die deutlich gesunkenen Preise wieder interessanter. Er bezog sich bei seiner Einschätzung auf Aufstellungen des VDMA, nach denen der kostenmäßige Steuerungsanteil einer NC-Maschine zwischen 1970 und 1974 von 32 % auf 21,3 % gesunken war. Aktuell liege er bei 20 %.¹³⁸⁹

Sander ging noch auf weitere Aspekte einer wirtschaftlichen NC-Fertigung ein. So sei es erforderlich, dass die NC-Programme für Maschinen mit häufig wechselnden Werk-

¹³⁸⁶ Vgl. Kirchner/Tölle (1965). Zu den Auswirkungen auf die Beschäftigten schrieben die Autoren: „Ist man gezwungen, wegen des knappen Angebots guter Facharbeiter mit angelerntem Maschinenbedienungspersonal auszukommen, so besteht wohl die Möglichkeit, über die numerische Steuerung diesen Mangel auszugleichen. Auf der anderen Seite entsteht als neue Aufgabe das Erstellen des sehr detaillierten Planes für den Arbeitsablauf und das Aufstellen des Lochbandprogramms. Es entsteht neu der Spezialberuf des Programmierers, der eingehende praktische Kenntnisse auf dem Gebiet der Werkzeugmaschine und der Arbeitsvorbereitung erfordert. Da solche Spezialisten zunächst nicht vorhanden sind, müssen sie erst einmal herangebildet werden. Hier bietet sich für den an seinem beruflichen Fortkommen interessierten und regen Facharbeiter die Möglichkeit, durch Weiterbildung den neuen aussichtsreichen Beruf des Programmierers zu ergreifen. Man kann also durch die Einführung numerisch gesteuerter Maschinen in der Fertigung nicht von einem Freiwerden von Arbeitskräften sprechen, wohl wird in gewissen Bereichen eine berufliche Umschichtung die unmittelbare Folge sein, da ja der nicht mehr an der Maschine benötigte Arbeiter an einer anderen Stelle, und zwar in der Programmierung und ihrer Vorbereitung dringend gebraucht wird.“ Kirchner/Tölle (1965), S. 7–8.

¹³⁸⁷ Leider steht nicht im Protokoll, welche Funktion Sander im Werk Augsburg hatte.

¹³⁸⁸ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 2. An gleicher Stelle erwähnt Sander noch, dass die neuen digitalen Istwertanzeigen die Anschaffung einiger NC-Maschinen überflüssig gemacht hätten.

¹³⁸⁹ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 2.

stücken effizient erstellt werden.¹³⁹⁰ Deshalb sei für die Programmierung die NC-gerechte Vermaßung der Werkstückzeichnungen besonders wichtig.¹³⁹¹ Den im Vergleich zu konventionellen Maschinen höheren Instandsetzungskosten und Ausfallzeiten müsse durch eine vorbeugende Instandhaltung und Schwachstellenanalyse entgegengewirkt werden.¹³⁹²

Seine Analysen zur Wirtschaftlichkeit der Augsburger NC-Fertigung fasste Sander wie folgt zusammen:

1. Der Fertigungsbeginn liegt zu konventionellen Fertigungsmethoden vergleichsweise früher, da in vielen Fällen die Bestell- und Anfertigungszeiten für Vorrichtungen und Spezialwerkzeuge wegfallen.
2. Spezialwerkzeug- und Vorrichtungskosten können vielfach eingespart werden.
3. Der Teiledurchlauf wird schneller. Damit sinken die Werkstattlagerbestände und die durch sie verursachten Kapitaleinsatzkosten.
4. Die Qualität der Teile kann unter Einsatz von NC-Maschinen verbessert und die Qualitätsstreuung in engeren Grenzen gehalten werden. Der Prüfaufwand verringert sich.
5. Die Fertigungskosten sinken, da die Rüst- und Nebenzeiten erheblich, die Hauptzeiten in geringerem Umfang vermindert werden können. Die Montagezeiten und damit die Montagekosten verringern sich ebenfalls.
6. Die Vorbereitungskosten liegen für einmalige Aufträge im Mittel unter denen der konventionellen Fertigung beim Einsatz entsprechend moderner, schneller und sicherer Programmierverfahren.
7. Bei Wiederholaufträgen sind die Fertigungskosten der Werkstücke erheblich niedriger.
8. Änderungen am Werkstück lassen sich in kürzerer Zeit durchführen.
9. Beim Einsatz von Bearbeitungszentren kann der Transportaufwand gegenüber konventionellen Linienfertigungen gesenkt werden.

Ich bin der Meinung, daß bei richtigen organisatorischen Maßnahmen und bei regelmäßig durchgeführten Kontrollen im Sinne einer Steuerung die NC-Fertigung uns die Möglichkeit hoher Wirtschaftlichkeit auch im klassischen Maschinenbau mit mittleren und kleinen Serien ermöglicht. Der Einsatz von NC-Fertigungseinrichtungen darf allerdings nicht überbewertet werden. Er kann lediglich ein mögliches Mittel im Rahmen der gesamten Fertigungsmöglichkeiten eines Endproduktes sein.¹³⁹³

¹³⁹⁰ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 5.

¹³⁹¹ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 9–10.

¹³⁹² Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 15.

¹³⁹³ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Sander (09.04.1976), S. 19–20.

Obwohl sich Sander insgesamt positiv über die NC-Fertigung äußerte, schwächte er seine Aussagen mit den zwei letzten Sätzen des Zitats wieder deutlich ab. Seine Aussage lässt sich auch so interpretieren, dass Sander bzw. die Augsburger Werksleitung von der Wirtschaftlichkeit der NC-Technik noch nicht wirklich überzeugt waren. Diese Skepsis spiegelte sich zwischen 1966 und 1975 auch im Investitionsverhalten wieder. Im Werk Augsburg wurde immer noch mehr in konventionelle Maschinen als in NC-Maschinen investiert (vgl. Abbildung 54). Wegen des niedrigeren durchschnittlichen Maschinenpreises wurden noch 1975 etwa dreimal mehr konventionelle Maschinen als NC-Maschinen beschafft. Aus dieser Skepsis resultierte dann beim NC-Bestand gegenüber den Mitbewerbern ein Rückstand, wie 1983 auf der 109. BK-Sitzung festgestellt wurde.

Auf der 109. BK-Sitzung analysierte Neipp die Beschaffungspolitik von NC-Maschinen ab 1970 von allen BK-Werken, nicht nur vom Werk Augsburg. Danach gab es 1970 in den BK-Werken erst 92 NC-Maschinen,¹³⁹⁴ deren Anzahl dann über 261 Maschinen im Jahr 1976 bis auf 986 Maschinen im Jahr 1982 deutlich angestiegen war (Abbildung 55).

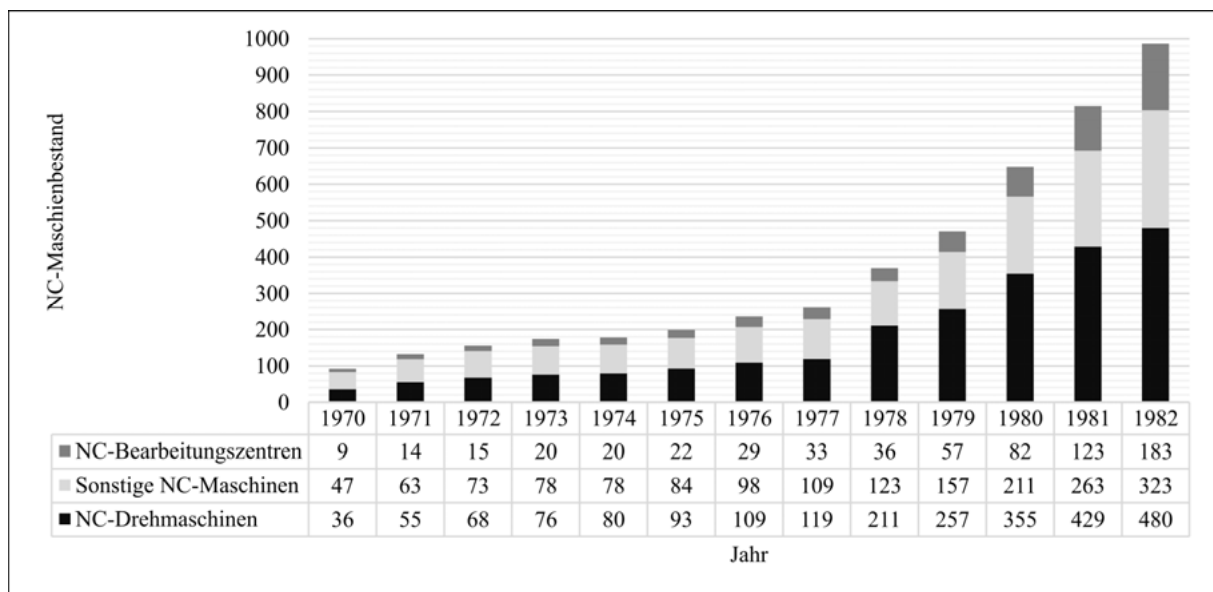


Abbildung 55: Entwicklung des NC-Maschinenbestands in den BK-Werken des GHH-Konzerns¹³⁹⁵

Nach Neipp waren dabei die Jahre 1978/79 ein wichtiger Meilenstein, weil damals 101 CNC-Drehmaschinen aus Rahmenverträgen mit Gildemeister geliefert wurden, was

¹³⁹⁴ Nach der Grafik in Abbildung 54 hatte das Werk Augsburg 1970 ungefähr 35 NC-Maschinen, d. h. etwa 38 % aller NC-Maschinen der BK-Werke waren 1970 im Werk Augsburg.

¹³⁹⁵ Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983 Renk Augsburg; Neipp (22.04.1983), Bild 1, S. 2.

die Statistik verbesserte. Neipp ging davon aus, dass M.A.N. damals den Anschluss an den westdeutschen Maschinenbau zumindest beim Drehen mit CNC-Maschinen gefunden hatte; beim Bohren und Fräsen sah er hingegen immer noch einen Rückstand.¹³⁹⁶ Abbildung 56 verdeutlicht Neipps Aussage. Danach waren 1976 nur 2,4 % aller Werkzeugmaschinen in den M.A.N.-Werken (eine Untermenge der BK-Werke) NC-Maschinen (5,8 % aller Drehmaschinen und 4,1 % aller Fräsmaschinen). Bis 1982 vervierfachen sich die Werte auf etwa 9,9 % aller Werkzeugmaschinen bzw. 23,6 % aller Drehmaschinen und 14,7 % aller Fräsmaschinen. Damit war der prozentuale Anteil bei den Fräsmaschinen aber immer noch ein Drittel niedriger als bei den Drehmaschinen (1979, nach der Beschaffung der CNC-Drehmaschinen von Gildemeister, war der Anteil der NC-Fräsmaschinen sogar auf nur ein Drittel des Drehmaschinenanteils abgesunken).¹³⁹⁷

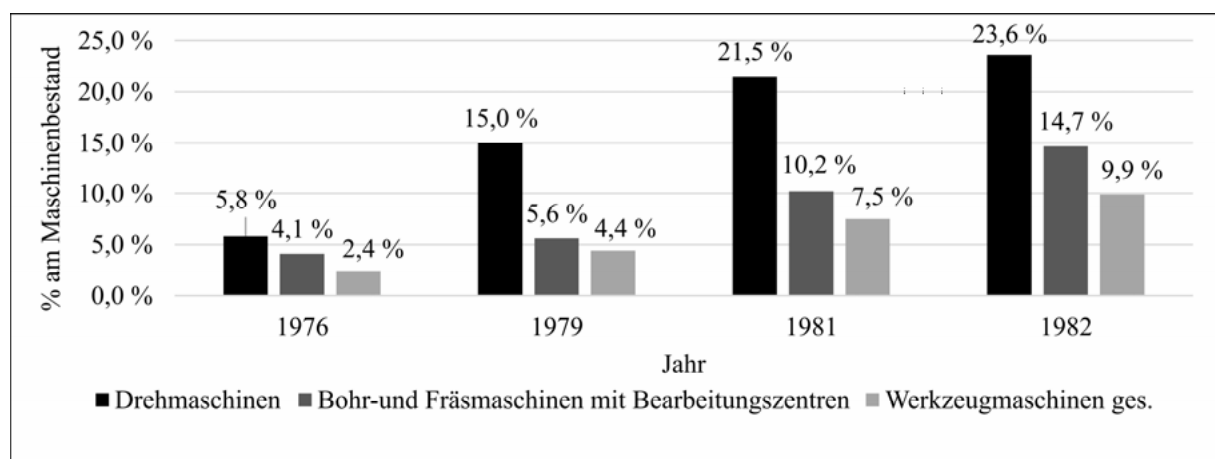


Abbildung 56: Anteil der NC-Maschinen am Maschinenbestand von M.A.N. mit M.A.N.-Roland¹³⁹⁸

Um den Rückstand aufzuholen und die Genehmigung für die Beschaffung von zusätzlichen NC-Fräsmaschinen zu erhalten, wurden 1980/81 die Fertigungskosten von 253 Frästeilen aus sieben BK-Werken auf mögliche Einsparungen bei einer Fertigung mit NC-Maschinen hin untersucht. Das Ergebnis war ein erster Bedarf von 115 Bearbei-

¹³⁹⁶ Vgl. Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983 Renk Augsburg; Neipp (22.04.1983), S. 2–3.

¹³⁹⁷ Eine genaue Bewertung der Aussagen Neipps ist schwierig, da die Vergleichsbasis nicht ausreichend genau definiert ist. Bezogen auf Heidelberger hat Neipp sicher recht. Werden die Zahlen der M.A.N.-Werke mit dem Maschinenbau insgesamt verglichen, ist der NC-Anteil sogar überdurchschnittlich. Nach Abbildung 56 betrug der NC-Anteil 1980 ca. 6 %. Der VDW ermittelte 1980 bei seiner Altersstrukturuntersuchung für den Maschinenbau einen Wert von 4 %. Vgl. o. V. (1980a), S. 5.

¹³⁹⁸ Bildquelle: Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983 Renk Augsburg; Neipp (22.04.1983), S. 3.

tungszentren, der den „Rückstand“ beim NC-Bohren und -Fräsen zu vergleichbaren Fertigungsbetrieben bestätigte.¹³⁹⁹

Aus den Ausführungen ergibt sich, dass der GHH-Konzern bis zum Ende des Untersuchungszeitraums in allen Werken meistens zurückhaltend in die NC-Technologie investierte. Die Berichte der BK-Sitzungen über 20 Jahre zeigen, dass der aktuelle technologische Stand immer sehr ausführlich diskutiert und „wissenschaftlich“ vom Werkzeugmaschinenausschuss begleitet wurde. Es wurden auch immer wieder realisierte und geplante Einzelprojekte vorgestellt, technisch und wirtschaftlich bewertet und die Ergebnisse mit den Erwartungen bei der Investitionsentscheidung verglichen. Ein genereller Beschluss, massiv in die NC-Technik zu investieren, erfolgte nach den gesichteten Unterlagen aber nicht. Vielmehr mussten die Werke mindestens bis Mitte der 1970er Jahren bei anstehenden Investitionen sehr genau prüfen, ob die Beschaffung einer NC-Maschine wirtschaftlich war. Nur wenn dies eindeutig zutraf, wurde die NC-Maschine beschafft und der BK über die Ergebnisse berichtet. Förderlich für die NC-Technik war diese Vorgehensweise nicht, denn so entstanden eher Insellösungen, die keine übergreifenden Synergien entfalten konnten (z. B. bei der NC-Programmierung).

Erschwerend kam hinzu, dass das Teilespektrum in den einzelnen Werken sehr unterschiedlich hinsichtlich Größe, Komplexität und Stückzahlen war. Es war schon ein großer Unterschied zwischen einem Schiffsdiesel und einer Druckmaschine. Die einzelnen Werke mussten deshalb mühsam herausfinden, zu welchem Zeitpunkt und für welche Anwendungen die NC-Technik für sie geeignet war.

Besonders deutlich wurde die Problematik bei der geplanten Beschaffung eines flexiblen Fertigungssystems (FFS) bei der MTU Friedrichshafen.¹⁴⁰⁰ Dunkler berichtete auf der 95. BK-Sitzung (9./10. April 1976) über den Entwicklungsstand flexibler Fertigungssysteme (FFS) und über die Planungen der MTU zur Beschaffung eines FFS für die Zylinderkopffertigung.¹⁴⁰¹ Auf der 98. BK-Sitzung (4. November 1977) musste Dunkler dann mitteilen, dass das FFS nicht realisiert wird. Bei der Detailuntersuchung hatte es sich trotz öffentlicher Förderung im PDV-Projekt 138¹⁴⁰² als nicht wirtschaft-

¹³⁹⁹ Vgl. Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983 Renk Augsburg; Neipp (22.04.1983), S. 3.

¹⁴⁰⁰ Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen. Die MTU wurde 1969 aus der M.A.N. Turbo GmbH und der Maybach Mercedes-Benz Motorenbau GmbH von den Mutterunternehmen M.A.N. AG und Daimler-Benz AG gegründet. Vgl. Wortmann (2009), S. 78–79.

¹⁴⁰¹ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Dunkler (09.04.1976).

¹⁴⁰² Brunner (1978).

lich erwiesen.¹⁴⁰³ Die MTU wollte also immer noch kein „Lehrgeld“ in ein FFS investieren, als bei Heidelberger schon mehrere FFS in Betrieb waren.¹⁴⁰⁴

Ein weiteres Thema der 95. BKS waren die NC-Programmiersysteme, bei denen es im GHH-Konzern auch keine einheitliche Linie gab. Kips berichtete, dass die BK-Werke insgesamt 20 unterschiedliche Programmierverfahren für NC-Maschinen anwendeten. Er teilte sie in drei Gruppen ein, je nachdem, ob die Programmierung über Großrechner, Kleinrechner oder manuell erfolgte. Die auf Kleinrechnern bei M.A.N. verbreitetste Anwendung war der Autoprogrammer, auf dem Großrechner war es EXAPT¹⁴⁰⁵ (siehe hierzu auch Kapitel 4.13). Die Zukunft sah Kips darin, dass sich für komplexe Teile die Programmierung mit dem Großrechner durchsetzen würde, für kleinere Programmieraufgaben aber auch Speziallösungen zum Einsatz kommen könnten. Dazu zählte er auch das Optimieren der NC-Programme an der Maschine und dachte dabei auch schon an die Nutzung des „Kleinrechners“ in den CNC-Steuerungen.¹⁴⁰⁶

Wie schon erwähnt holte sich die BK mehrfach Rat von Professoren aus dem produktionstechnischen Innovationssystem ein. Dokumentiert sind BK-Sitzungen mit Teilnahme von Spur (Berlin) und Stute (Stuttgart). Auf der schon erwähnten 95. BKS in Hamburg hielt Spur ein einstündiges Referat über die NC-Technik.¹⁴⁰⁷ Ein Protokoll seines Referats gab es ausnahmsweise nicht; stattdessen wurde auf seine Veröffentlichung „Entwicklungstendenzen von spanenden Werkzeugmaschinen“ verwiesen.¹⁴⁰⁸ Darin setzte er sich u. a. für die „Werkstattgerechte Programmierung“, d. h. die Werkstattprogrammierung ein, die auch Kips in seinem späteren Vortrag über Programmiersysteme aufgriff:

Deshalb gilt es, in diesem Bereich der Werkstattfertigung die Forderung nach vereinfachter Bedienung durch werkstattgerechte Programmierung zu erfüllen. Es wird von der Bedienperson vorteilhaft empfunden, wenn die gewohnte Bindung zur Maschine erhalten

¹⁴⁰³ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98; Dunkler (04.11.1977), S. 15–16. Dunkler begründete die Ablehnung u. a. damit, dass die erhoffte Standardisierung der Bohrbilder nicht möglich war und die benötigten Bohrköpfe die Flexibilität des FFS einschränkten. Außerdem wäre das Investitionsvolumen höher als gedacht gewesen.

Die Voruntersuchungen wurden im Projekt KfK-PDV 138 öffentlich gefördert. Der Abschlussbericht nannte die fehlende Wirtschaftlichkeit als Hauptgrund für die Einstellung des Projekts (vgl. Brunner (1978), S. 215), was die Aussage Dunklers bestätigt.

¹⁴⁰⁴ Ein konzeptioneller Fehler könnte die Projektgröße gewesen sein. Am Ende der Voruntersuchungen stand ein Investitionsvolumen von 40 Mio. DM im Raum. Vgl. Brunner (1978), S. 217.

¹⁴⁰⁵ Das M.A.N.-Werk München wurde kurz nach der Gründung des EXAPT-Vereins eines der ersten Mitglieder. Der Beitritt erfolgte am 29.5.1967. Archiv EXAPT-Verein, Mitgliederliste; M.A.N.-Werk München (29.05.1967).

¹⁴⁰⁶ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Kips (09.04.1976).

¹⁴⁰⁷ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; M.A.N. (09.04.1976).

¹⁴⁰⁸ Spur (1976).

bleibt. Eine externe Programmierung kann bei handwerklich betriebener Fertigung den Umgang mit der Maschine schwerfällig werden lassen.¹⁴⁰⁹

Auf der gleichen Sitzung sprach der Vorsitzende Moll aus seiner Sicht allgemeiner über die Verantwortung des (Fach-)Arbeiters in automatisierten Anlagen:

Die Automatisierung darf nicht nur wirtschaftliche, sondern muß auch soziologische Bedingungen und Erkenntnisse berücksichtigen. Speziell sollten technische Systeme realisiert werden, die eine Erweiterung sowohl des Tätigkeits- als auch des Entscheidungs- und Kontrollspielraumes des Arbeiters erlauben.¹⁴¹⁰

Aus den Beiträgen von Spur und Moll kann geschlossen werden, dass Mitte der 1970er Jahre an den Universitäten und in der M.A.N. Leitung darüber diskutiert wurde, wie die Akzeptanz automatisierter Maschinen bei der Belegschaft verbessert werden könnte. Bei den aufkommenden CNC-Maschinen schien dies am besten durch Einbeziehung der Facharbeiter in die Programmierung möglich zu sein. Außerdem wollte Moll eine wirtschaftlichere Fertigung beim Drehen von Klein- bis Mittelserien (ca. 20–200 Stück) mit CNC-Maschinen durch eine geänderte Aufgabenverteilung und mehr Verantwortung bei den Facharbeitern erreichen:

Einfache Teile lassen sich direkt vor Ort programmieren. Bei komplizierten Teilen wird extern programmiert und an der Maschine lediglich optimiert. 5 solcher Maschinen könnten zu einer Einheit zusammengefaßt werden und von 3 Mann (1 Einsteller, 2 Bediener) als autonome Gruppe betrieben werden.¹⁴¹¹

Auf der 98. BK-Sitzung am 4. November 1977 bei der MTU Friedrichshafen war Stute vom ISW in Stuttgart als Gastreferent eingeladen. Stute referierte im Rückblick auf die Werkzeugmaschinenausstellung EMO in Hannover über „Konzeption und Anwendung neuer CNC-Steuerungen für Fertigungsmaschinen und -systeme“. Dabei ging er detailliert auf die Weiterentwicklung der NC-Technik zur CNC-Technik ein. Mit CNC-Steuerungen sah er Ansätze für weitere Rationalisierungen. Konkret sprach Stute die Werkstattprogrammierung (Handeingabe) an der Maschine und verbesserte Diagnoseverfahren an.¹⁴¹²

Passend dazu berichtete Sander auf der gleichen BKS ausführlich über einen „Angebotsvergleich für CNC-Drehmaschinen mit Handeingabesteuerung“. Danach untersuchte das Werk Augsburg seit 1975/76 mithilfe von Wirtschaftlichkeitsberechnungen,

¹⁴⁰⁹ Spur (1976), S. 86.

¹⁴¹⁰ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Moll (09.04.1976), S. 2. Der Vortrag von Moll hatte den Titel „Wirtschaftliche Automatisierung der Einzel- und Kleinserienfertigung aus der Sicht des Anwenders“.

¹⁴¹¹ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Moll (09.04.1976), S. 3.

¹⁴¹² Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98; Stute (04.11.1977), S. 19–20.

wie Normaldrehmaschinen und handbediente Revolverdrehmaschinen durch „low cost“ CNC-Drehmaschinen ersetzt werden könnten. Das Ergebnis war, dass bei einem Zweischichtbetrieb von 30 CNC-Drehmaschinen diese 120 konventionelle Drehmaschinen mit einer Zeitersparnis von 50 % ersetzen könnten.¹⁴¹³ Mit zwei Pilotmaschinen von Gildemeister sei versucht worden, die Überlegungen in der Praxis zu verifizieren. Dies sei im ersten Schritt allerdings nicht ganz gelungen. Durch Änderungen an Details der Maschinenkonzeption und Verbesserungen bei der Programmierung könnten die gesteckten Ziele aber erreicht werden.¹⁴¹⁴ Dafür seien auch die am Markt verfügbaren CNC-Steuerungen ausführlich auf ihre Vor- und Nachteile untersucht worden, darunter die von Gildemeister zusammen mit den Hochschulen in Stuttgart und Aachen neu entwickelte EPM-Steuerung auf MPST-Basis (vgl. Kapitel 4.11.8), die auch eine Handprogrammierung an der Maschine zulasse. Da voraussichtlich nur 20 % der NC-Programme an der Maschine erstellt werden könnten, sei auch ein DNC-Anschluss zur Programmübertragung vorgesehen.¹⁴¹⁵

In der Diskussion berichtete dann Moll, dass mit Gildemeister ein Rahmenvertrag über 62 CNC-Drehmaschinen abgeschlossen werden sollte. Mit dem geplanten Kontingent sei auch der Bedarf der anderen Werke berücksichtigt.¹⁴¹⁶ Als Steuerung war die EPM-Steuerung von Gildemeister vorgesehen.¹⁴¹⁷

Ein weiteres Thema, mit dem sich die BK immer wieder befasste, war die Entlohnung an den NC-Maschinen in den einzelnen Werken. Da es sinnvoll ist, diese im Kontext mit anderen Betrieben zu sehen, wird hierzu auf Kapitel 10.3 verwiesen.

Abschließend soll noch kurz auf die Ausbildung im Kontext mit der NC-Technologie bei M.A.N. eingegangen werden. Es dauerte bis zur 105. BK-Sitzung am 3. April 1981, bis sich die BK erstmals des Themas annahm. Die Unterkommission der Ausbildungsleiter über „Moderne NC-Technik in der Ausbildung“ berichtete, dass nach ihrer Einschätzung durch den zunehmenden Facharbeiterbedarf bei gleichzeitigem

¹⁴¹³ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98; Sander (04.11.1977), S. 1–2.

¹⁴¹⁴ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98; Sander (04.11.1977), S. 9. Verbesserungspotenzial sah Sander bei den Spannbacken, dem Kraftspannfutter und dem Werkzeughandling.

¹⁴¹⁵ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98; Sander (04.11.1977), S. 16–20.

¹⁴¹⁶ Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98; Historisches Archiv der MAN Augsburg (04.11.1977), S. 4–5.

¹⁴¹⁷ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98; Historisches Archiv der MAN Augsburg (04.11.1977), Anlage Preiszusammenstellung. Im Juli 1978 berichtete die IG-Metall, dass bei M.A.N. die ersten Drehmaschinen aus der Bestellung installiert wurden und befürchtete den Verlust von Arbeitsplätzen. Vgl. Möller (1978), S. 7. Vier Jahre später (1982) bemängelte Möller, dass bei M.A.N. die von Moll favorisierte Gruppenarbeit an CNC-Maschinen immer mehr ausgehöhlt werden könnte und die Bediener künftig nur noch die Werkstücke von Maschine zu Maschine tragen und Knöpfe drücken würden. Vgl. Möller (1982b), S. 7–8.

Rückgang des personellen Angebots im Laufe der 1980er Jahre 50 % des Maschinenparks aus NC-Maschinen bestehen würden. Deshalb müsse die NC-Technik bei der Ausbildung der Zerspanungsfacharbeiter zukünftig berücksichtigt werden.¹⁴¹⁸

Zusammengefasst informierten sich die Entscheidungsträger bei GHH bzw. M.A.N. schon ab 1960 auf ihren BK-Sitzungen immer wieder ausführlich über die NC-Technik. Sie wussten deshalb über Chancen und Risiken der NC-Technologie gut Bescheid. Weil die Entscheider über die Chancen und Risiken der NC-Technik gut informiert waren und andererseits aber sehr streng auf die Wirtschaftlichkeit von Investitionen achteten, wurde in den BK-Werken des GHH-Konzerns bis Mitte der 1970er Jahre weniger in die NC-Technik investiert als bei strukturell vergleichbaren Betrieben.¹⁴¹⁹ Die Werke hatten deshalb nach eigener Einschätzung sogar einen technologischen Rückstand.¹⁴²⁰ Dieser wurde ab 1977 durch den Abschluss eines Rahmenvertrags mit Gildemeister zur Lieferung von 62 CNC-Drehmaschinen zumindest für Drehteile abgebaut. Für Frästeile hingegen dauerte der Abbau bis deutlich in die 1980er Jahre. Möglich wurde das aber nur, weil die Preise für CNC-Maschinen im Vergleich zu den NC-Maschinen deutlich gesunken waren und sich dadurch die Wirtschaftlichkeit verbessert hatte.

6.4 Zusammenfassung

Anfang der 1960er Jahre beschafften der Automobilkonzern Daimler AG, der Mischkonzern GHH bzw. M.A.N. und die Heidelberger Druckmaschinen ihre ersten NC-Maschinen. Die NC-Einführung verlief in den drei Unternehmen zum Teil sehr unterschiedlich, wies aber auch Gemeinsamkeiten auf. Der Kauf der ersten NC-Maschinen erfolgte bei allen drei Unternehmen mehr oder weniger aus Neugier. Sie wollten erste Erfahrungen sammeln, wie NC-Maschinen in die Fertigung integriert werden könnten, wie die Facharbeiter mit den neuartigen Maschinen zurechtkommen und welche ihrer Produkte sich mit NC-Maschinen wirtschaftlicher und/oder in einer besseren Qualität fertigen lassen könnten. Es zeigte sich, dass die drei Unternehmen bei der Beantwortung dieser Fragen sehr unterschiedlich vorgehen, was sich vor allem auf die Geschwindigkeit der NC-Einführung auswirkte. Letztlich stand, mit Ausnahme der ersten Maschinen, bei der Beschaffung immer die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Diese

¹⁴¹⁸ Vgl. Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebsorganisation, Regal 8.2.2, 105. BK-Sitzung 3.4.1981 MTU München; Fernau (03.04.1981), S. 7. Die Unterkommission unterbreitete hierzu zehn konkrete Vorschläge.

¹⁴¹⁹ Mit Sicherheit hatte Heidelberger Ende der 1970er Jahre mehr NC-Maschinen als M.A.N. in seinem Augsburger Druckmaschinenwerk. Andererseits spricht viel dafür, dass M.A.N. in seinen LKW-Werken einen höheren NC-Maschinenbestand hatte als Daimler. Belastbare Zahlen aus den einzelnen Werken lagen jedoch nicht vor.

¹⁴²⁰ Vgl. Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983 Renk Augsburg; Neipp (22.04.1983), S. 3.

wurde von den Firmen unterschiedlich ermittelt, orientierte sich aber an bestimmten Fertigungsproblemen. Lediglich Heidelberger vermittelte den Eindruck, dass neben der „rechenbaren“ Wirtschaftlichkeit auch die gesteigerte Flexibilität der Fertigung und der potenziell etwas geringere Facharbeiterbedarf die Anschaffung der NC-Maschinen stark beeinflusste.

Heidelberger setzte die NC-Technik im Untersuchungszeitraum am konsequentesten ein und war den beiden anderen Firmen bei der Einführung weit voraus. Dies lag an der Geschäftsleitung, die gegenüber technischen Neuerungen sehr aufgeschlossen war, wenn sie Produktivitätsfortschritte versprachen. Es lag aber auch am Produktspektrum und den Stückzahlen von Heidelberger, die zum damaligen Stand der NC-Technik sehr gut passten und an der klaren Fokussierung des Unternehmens auf Druckmaschinen. Auf Befindlichkeiten und Probleme in anderen Sparten und Werken musste keine Rücksicht genommen werden. Auch nach den gravierenden personellen Änderungen in der Geschäftsleitung Ende 1972/Anfang 1973 erfolgte kein grundsätzlicher Strategiewechsel. Wurden in den 1960er Jahren wegen des geringen Angebots noch viele Sonder-NC-Maschinen beschafft und teilweise selbst entwickelt, setzte Heidelberger in den 1970er Jahren immer mehr auf Standard-NC-Maschinen, da das Angebot größer geworden war und die Preise gesunken waren.¹⁴²¹ Damit konnte noch konsequenter das Rationalisierungspotenzial durch Teilefamilien gehoben werden.¹⁴²² Durch seine konsequente Vorgehensweise wurde Heidelberger das europäische Unternehmen, das im Untersuchungszeitraum am stärksten auf die NC-Technik setzte. Angeblich war im Werk Wiesloch zeitweise etwa ein Drittel aller europäischen NC-Maschinen in Betrieb.¹⁴²³ Allerdings waren im Rückblick nicht alle Heidelberger NC-Konzepte nach den üblichen Kriterien wirtschaftlich, sondern dienten dazu, Erfahrungen zu sammeln. Auf der NC-Tagung 1980 in Böblingen formulierte Hecker das so:

Die Firma, die ich hier vertrete, hat die Entwicklung auf dem NC-Sektor in allen Phasen seit Beginn der 60iger Jahre dank einer aufgeschlossenen progressiven Einstellung der Unternehmensführung gegenüber technologischem Fortschritt mitgemacht und dabei Erfahrungen machen müssen, die im Einzelfall einer kritischen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mitunter kaum standhalten, die in ihrer Gesamtheit heute jedoch dem Unternehmen eine sichere Entscheidungsbasis für zukünftige Entwicklungen und Investitionen liefert.¹⁴²⁴

GHH bzw. die Tochter M.A.N. war im Untersuchungszeitraum ein Maschinenbau-Mischkonzern, dessen Produkte im niedrigen Stückzahlbereich angesiedelt waren und

¹⁴²¹ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 26–27.

¹⁴²² Vgl. Moormann (2000), S. 77.

¹⁴²³ Vgl. Moormann (2000), S. 77. Leider ist nicht angegeben, auf welches Jahr sich die Aussage bezieht und wieviel NC-Maschinen Heidelberger zu diesem Zeitpunkt hatte.

¹⁴²⁴ Hecker (1980), S. 3.

sich bei den Druckmaschinen mit Heidelbergern überschneiden. Aufgrund der Konzerngröße und den produktbedingt unterschiedlichen Fertigungsverfahren der einzelnen Werke wurde 1933 die Betriebskommission zum Erfahrungsaustausch der Werkleiter ins Leben gerufen. Diese befasste sich mit allen Fragestellungen rund um die Fertigungstechnik. Dazu gehörte ab 1960 auch die NC-Technik, die ein Tagesordnungspunkt auf vielen Sitzungen war. Den Sitzungsprotokollen zufolge waren die Mitglieder der Betriebskommission über den aktuellen technischen Stand der NC-Technik immer sehr gut informiert, zögerten aber mit größeren Investitionen in NC-Maschinen. Vor jeder Investition wurde die Wirtschaftlichkeit gründlich geprüft und wenn Zweifel bestanden, wurde sie oft nicht freigegeben. Das führte dazu, dass zwar immer wieder NC-Maschinen beschafft wurden, im GHH Konzern aber nach Neipp Mitte der 1970er Jahre der Anteil der NC-Maschinen am Maschinenpark im Vergleich zu anderen Unternehmen unterdurchschnittlich war.¹⁴²⁵ Dies galt ganz besonders für den Bereich Druckmaschinen im Vergleich mit Heidelbergern. Allerdings ist unklar, inwieweit M.A.N. über Details der Heidelberger Fertigung informiert war.¹⁴²⁶

Auch Daimler beschäftigte sich früh mit der NC-Technik, allerdings wurde darüber nicht wie bei Heidelbergern und M.A.N. auf der Vorstandsebene diskutiert, sondern nach den gesichteten Unterlagen fast nur auf der Werkleiterebene bzw. in der Verfahrensentwicklung. Dies obwohl es bei Daimler wie bei M.A.N. Fertigungsbereiche gab (z. B. die LKW-Fertigung¹⁴²⁷), die kleine Stückzahlen hatten. Ähnlich wie bei M.A.N. wurde die NC-Technologie zögerlich über Einzelprojekte ohne Gesamtstrategie eingeführt. Am Ende des Untersuchungszeitraums waren bezogen auf die Unternehmensgröße nur wenige NC-Maschinen in Betrieb, obwohl es mit dem BEZ bzw. der VEN sogar eine Abteilung zur Förderung der NC-Technik gab. Aus Gesprächen und Unterlagen entstand der Eindruck, dass sich im Untersuchungszeitraum Daimler bei der NC-Technik auf Sonderanwendungen für Versuch und Prototypen fokussierte, nicht aber auf die Serienproduktion. Das änderte sich erst in den späten 1980er Jahren, als die Bearbeitungseinheiten der Transferstraßen nach und nach mit (einfachen) NC-Steuerungen ausgerüstet wurden.

Bei der NC-Einführung arbeiteten alle drei Firmen mit den Werkzeugmaschinenherstellern zusammen, da jede Maschinenbestellung intensive Beratungsgespräche erforderte. Dabei war der Einfluss von Heidelbergern auf die Werkzeugmaschinenhersteller am größten, da Heidelbergern viele NC-Sonder- und Standardmaschinen bei diversen

¹⁴²⁵ Vgl. Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983 Renk Augsburg; Neipp (22.04.1983), S. 2–3.

¹⁴²⁶ In keinem Protokoll der BK-Sitzungen bei M.A.N. wurde die hohe NC-Durchdringung beim Mitbewerber Heidelbergern Druckmaschinen erwähnt. Es kann deshalb vermutet werden, dass die von den Heidelbergern Druckmaschinen praktizierte Geheimhaltung erfolgreich war.

¹⁴²⁷ Lastkraftwagen.

Herstellern bestellte. Bei der Auswahl der Werkzeugmaschinenhersteller ging Heidelberger sehr gezielt vor. Wurden Sondermaschinen bestellt, machte Heidelberger genaue Vorgaben, die teilweise wegweisend waren und z. B. bei Burr dazu führten, dass aus dem Sondermaschinenhersteller auch ein führender Anbieter von Bearbeitungszentren wurde. Sollten Standardmaschinen bestellt werden, testete die Maschinenerprobungsstelle im Vorfeld Maschinen verschiedener Hersteller. Wer den Test bestand und bereit war, festgestellte Schwächen zu beseitigen, bekam den Zuschlag, wenn der Preis passte. Bei M.A.N. und Daimler wurden keine Belege für ein derart konsequentes Vorgehen gefunden. Nur bei der Vergabe eines großen Rahmenvertrags über 62 NC-Drehmaschinen von M.A.N. Ende der 1970er Jahre fanden sich in den BKS-Protokollen Hinweise auf eine in Ansätzen vergleichbare Vorgehensweise.

Die drei Firmen arbeiteten bei der NC-Einführung an mehreren Stellen mit dem produktionstechnischen Innovationssystem zusammen. Eine war die Zusammenarbeit mit den Werkzeugmaschinenherstellern mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen durch eine bessere Anpassung an die Anforderungen der Betriebe zu erhöhen. Eine andere waren besonders bei GHH/M.A.N. Vorträge von Hochschulprofessoren auf den BK-Sitzungen, durch die sich Werkleiter und Teile des Vorstands über den aktuellen Stand der NC-Technik und die erwarteten Entwicklungen informierten, um geplante Investitionen abzusichern oder Anstöße für neue zu erhalten. Dabei erfuhren die Professoren sicher auch, welche Bedenken die Teilnehmer der BK-Sitzungen gegenüber einer forcierten NC-Einführung hatten und konnten das bei ihren weiteren Forschungen berücksichtigen.¹⁴²⁸

Eine Besonderheit war die Zusammenarbeit von Heidelberger über Kuhnert mit dem WZL. Obwohl Heidelberger auf strenge Geheimhaltung seiner Fertigungstechnologie achtete, war Kuhnert Co-Autor mehrerer Vorträge auf den AWKs von 1965, 1968 und 1971.¹⁴²⁹ Dadurch konnte er seine Vorstellungen über die Vorteile und Weiterentwicklung der NC-Technik in die Fachwelt tragen, ohne selbst zu stark in Erscheinung zu treten bzw. den Stand der Heidelberger Fertigungstechnik zu veröffentlichen.¹⁴³⁰ Dass Kuhnert sich in gewisser Weise als Missionar für die NC-Technik sah, wurde aus seinem Beitrag in der Abschlussdiskussion des AWK 1971 deutlich, auf der er sagte: „Die

¹⁴²⁸ Ob es zusätzlich auf den unteren Ebenen (z. B. in den Ausschüssen der ADB) zu einer Zusammenarbeit/einem Informationsaustausch zwischen den Firmen und Hochschulen kam, lässt sich wegen fehlender Besprechungsprotokolle nicht beantworten.

¹⁴²⁹ Es handelte sich um folgende Vorträge: Bohle u. a. (1965); Backé u. a. (1968); Boese u. a. (1968); Eich u. a. (1968); Engelskirchen u. a. (1968); Baum u. a. (1971); Brankamp u. a. (1971); van Amstel u. a. (1971). Den Vortrag über „Projektierung flexibler Fertigungssysteme“ hielt Kuhnert 1971 selbst, vermied aber, darin seine eigenen Anlagen vorzustellen. Goebel u. a. (1971).

¹⁴³⁰ Es kann vermutet werden, dass Heidelberger über Kuhnert seine Ideen einer automatisierten Fertigung mit dem WZL diskutierte und die Realisierung vom WZL zumindest beeinflusst war. Belege wurden dazu aber nicht gefunden.

NC-Steuerung, die scheinbar immer noch in der Einführungsphase steckt, wird eigentlich immer noch nicht richtig in ihrer Bedeutung gewürdigt.“¹⁴³¹

Abschließend lässt sich feststellen, dass Heidelberger von den untersuchten Firmen die Entwicklung der westdeutsche NC-Technologie sicher am stärksten beeinflusste, einmal durch die vielen Impulse für produktivere Maschinen in Richtung der Werkzeugmaschinenhersteller wegen der vielen Maschinenkäufe, zum anderen durch die frühe Realisierung eines flexiblen Fertigungssystems und durch die intensive Mitarbeit bei der Entwicklung der NC-Programmierung mit EXAPT. Daimler und GHH gingen bei der NC-Einführung deutlich langsamer vor. Bei Daimler widmete die Leitungsebene der NC-Technik nicht so viel Aufmerksamkeit, weil sie aus ihrer Sicht für die bei Daimler üblichen Stückzahlen noch nicht geeignet war. Bei GHH war zwar die Leitung bestens informiert, scheute aber aus wirtschaftlichen Überlegungen bis zum Ende des Untersuchungszeitraums große Investitionen in die NC-Technik. Welche Strategie aus unternehmerischer Sicht die bessere war, lässt sich nicht abschließend beurteilen, da über die Wirtschaftlichkeit der getätigten bzw. nicht getätigten Investitionen summarisch keine Zahlen vorliegen und sich auch nicht mehr ermitteln lassen. Keines der Unternehmen machte aber mit seiner Gesamtstrategie grobe Fehler, denn alle drei Unternehmen existieren heute noch.

¹⁴³¹ O. V. (1971b), S. 1771.

7 Zubehör für NC-Maschinen

Die Erfindung der numerischen Steuerung war der Schlüssel für den Bau einer NC-Maschine. Um aber aus einer handbedienten Maschine eine industriell einsetzbare NC-Maschine zu machen, wurden neben der Steuerung weitere neuartige mechanische und elektrische Aktoren und Sensoren benötigt, deren technische Details die Praxistauglichkeit der NC-Maschinen entscheidend beeinflussten. Der grundsätzliche Sachverhalt soll kurz am Beispiel der NC-Achse einer Bahnsteuerung veranschaulicht werden.

Beim Positionieren einer NC-Achse gibt die NC-Steuerung einen Geschwindigkeitssollwert an das Steuergerät der Achse aus. Der Sollwert ändert sich während des Positioniervorgangs mehrfach, abhängig von der programmierten Geschwindigkeit, der zu verfahrenen Wegstrecke, dem Restweg zur Zielposition und der zugelassenen Beschleunigung. Damit es beim Positionieren der Achsen zu keiner Abweichung von der Sollkontur kommt, muss der Antrieb den Änderungen des Geschwindigkeitssollwerts möglichst schnell (dynamisch) folgen. Hierfür werden ein dynamischer Antriebsregler und ein dynamisches Stellglied (Leistungsverstärker und Motor) benötigt. Zur Kontrolle, und um den Geschwindigkeitsregelkreis zu schließen, muss die aktuelle Geschwindigkeit kontinuierlich über einen Geschwindigkeitssensor (Tachometer) dem Antriebsregler zurückgemeldet werden. Zusätzlich benötigt die NC-Steuerung über ein Wegmesssystem die aktuelle Achsposition, um den überlagerten Lageregelkreis zu schließen und um den Geschwindigkeitssollwert rechtzeitig vor Erreichen der Zielposition so zu reduzieren, dass diese nicht überfahren wird.

Etwa seit Mitte der 1970er erfolgt die Positionierung einer NC-Achse überwiegend mit elektrischen Vorschubmotoren, deren Rotation mechanisch in eine Linearbewegung der Achsen umgewandelt wird. Vorher wurden insbesondere bei größeren Antriebsleistungen oft hydraulische Antriebe (z. B. Hydraulikmotoren oder Hydraulikzylinder) eingesetzt. In beiden Fällen muss die Mechanik über eine möglichst lange Betriebszeit sehr genau und stabil sein.

Kurz zusammengefasst werden für die Positionierung einer NC-Achse ein dynamischer Regler mit Stellglied, Messsysteme für Geschwindigkeit und Position der Achse und eine mechanische Umwandlung der Motorrotation in eine Linearbewegung benötigt. Diese Komponenten waren in der Anfangszeit der NC-Technik nicht mit der benötigten Qualität und Leistungsfähigkeit verfügbar, was den Bau praxistauglicher NC-Maschinen erschwerte. Wie diese Probleme gelöst wurden, wird in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

Neben den gerade beschriebenen Problemen des Antriebsstranges mussten für industrietaugliche NC-Maschinen noch eine Vielzahl weiterer Detailfragen gelöst werden. Dazu gehörte auch die Anpassung der NC-Steuerung an die NC-Maschine (Anpassteil)

und die Handhabung und Überwachung der an NC-Maschinen eingesetzten Werkzeuge (vgl. Kapitel 7.2, 7.3 und 7.5).

Ein weiteres Thema war die Programmierung der NC-Steuerungen, d. h. der Prozess, aus der Werkstückzeichnung ein lauffähiges und korrektes Programm für die NC-Maschinen zu erstellen. Wie im Kapitel über die Anfänge der NC-Entwicklung in den USA (Kapitel 3.4) beschrieben, gab es schon in den 1950er Jahren große Anstrengungen, Methoden zu finden, mit denen nicht nur Spezialisten NC-Steuerungen programmieren konnten. Auch in Westdeutschland gab es entsprechende Entwicklungen, die im Kapitel 4.13 für die Anfangsphase der NC-Steuerungen ausführlich erläutert werden. Ihre Weiterentwicklung zur Werkstattprogrammierung und zu den CAD/CAM-Systemen wird im Kapitel 7.6 behandelt. Den Abschluss bildet Kapitel 7.7., das einen Überblick über die Kopplung der NC-Steuerung mit übergeordneten Rechnern zur Programmversorgung und zur Fertigungssteuerung gibt.

7.1 Mechanische Komponenten

Von den mechanischen Komponenten ist der Kugelgewindetrieb eines der wichtigsten Bauteile von NC-Maschinen. (Abbildung 57). Er wandelt die Rotation der Antriebsmotoren über seine Spindel in eine translatorische Bewegung der Verfahrachsen um. Sein großer Vorteil ist, dass er im Gegensatz zu den anfangs bei Werkzeugmaschinen eingesetzten Trapez-Gewindespindeln weitgehend spielfrei¹⁴³², reibungsarm und genau arbeitet.¹⁴³³



Abbildung 57: Kugelgewindetrieb¹⁴³⁴

¹⁴³² Mit spielfrei ist gemeint, dass sich bei Drehrichtungswechsel fast kein Fehler aufbaut, bis sich die Achse in die Gegenrichtung bewegt.

¹⁴³³ Vgl. Schmid u. a. (2017), S. 193.

¹⁴³⁴ Bildquelle: Bosch Rexroth AG (2019a).

Der Kugelgewindetrieb wurde 1897 von Daniel Glenn¹⁴³⁵ und H. M. Stevenson¹⁴³⁶ erfunden. Er wurde wahrscheinlich erst in den 1950er Jahren bei Werkzeugmaschinen verwendet, wie Anfang 1958 eine Veröffentlichung über programmgesteuerte Großfräsmaschinen nahelegt.¹⁴³⁷

Bei Anwendungen mit etwas geringeren Anforderungen an die Genauigkeit und/oder großen Verfahrwegen kommen oft auch Systeme aus Ritzel und Zahnstange zur Anwendung (Abbildung 58). Zu Maschinen dieser Gattung gehören z. B. Stanz- und Laserschneidmaschinen, wie sie von der Firma Trumpf (vgl. Kapitel 5.5) angeboten werden.

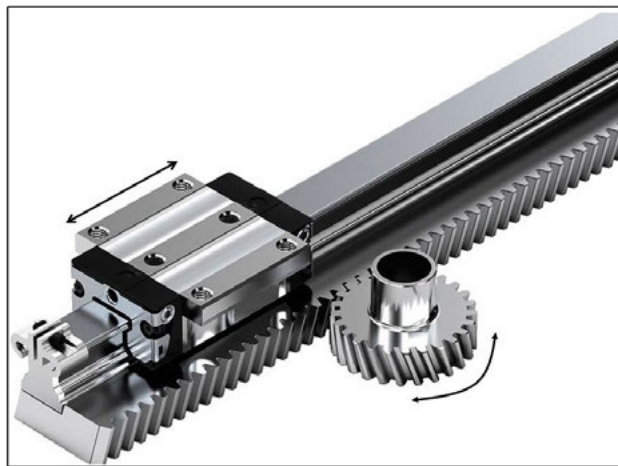


Abbildung 58: Zahnstange mit Ritzel¹⁴³⁸

Da der Kugelgewindetrieb bei NC-Maschinen in größeren Stückzahlen benötigt wurde und die Herstellung besonderes Know-how und spezielle Maschinen erforderte, entstanden spezialisierte Zulieferbetriebe. Der erste Hersteller von Kugelgewindetrieben auf dem europäischen Festland war ab Anfang der 1960er Jahre die mittelständische Firma A. Mannesmann in Remscheid-Bliedinghausen.¹⁴³⁹

Seit einigen Jahren, also nach dem Untersuchungszeitraum, kommen für spezielle und/oder hochdynamische Anforderungen auch elektrische Direktantriebe (Linearmo-

¹⁴³⁵ Patent von Glenn, Daniel. 1898, US610044A.

¹⁴³⁶ Patent von Stevenson, H. M. 1898, US601451.

¹⁴³⁷ Behrendt beschrieb Anfang 1958 in einem in der VDI-Zeitung erschienen Artikel über „Programmgesteuerte Großfräsmaschinen im Flugzeugbau der Vereinigten Staaten“ die Vorschubantriebe: „Man verwendet für die Richtungen y und z zur Kraftübertragung von den Vorschubspindeln auf die Schlitten Stahlkugeln, die in den als halbrunden Nut geschliffenen Gewinden der Spindelwelle und der Mutter laufen. Die Mutter ist zweiteilig ausgeführt und vorgespannt. Behrendt (1958b). Diese Beschreibung entspricht einem Kugelgewindetrieb, obwohl Behrendt diese Bezeichnung nicht verwendete.

¹⁴³⁸ Bildquelle: Bosch Rexroth AG (2019b).

¹⁴³⁹ Vgl. Schenck (2014), S. 131. Burr bezog die ersten Kugelgewindetriebe Anfang der 1960er Jahre von der englischen Fa. (Lucas) Rotax, weil noch kein westdeutscher Hersteller ein vergleichbares Produkt anbot. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 21.

toren) zum Einsatz. Da die Linearbewegung direkt durch den Motor erzeugt wird, entfällt der Kugelgewindetrieb. Wegen höherer Kosten ist diese Technologie auf Anwendungen beschränkt, bei denen Produktivitätsvorteile den Mehraufwand kompensieren.¹⁴⁴⁰

7.2 Werkzeuge für NC-Maschinen

Das wichtigste mechanische Zubehör einer Werkzeugmaschine sind die Werkzeuge zur Bearbeitung der Werkstücke. Schon bei konventionellen Maschinen bestand die Forderung, dass sie einfach gewechselt und auf unterschiedlichen Maschinen verwendet werden können. Um das zu erreichen, wurde die Schnittstelle zwischen Maschine und Werkzeugaufnahme standardisiert. Für Fräs- und Bohrmaschinen war das der sogenannte Steilkegel, der im November 1952 in der DIN 2080 genormt wurde.¹⁴⁴¹

Ende der 1950er Jahre kamen die ersten Bearbeitungszentren auf den Markt. Eines ihrer Hauptmerkmale war das automatische, programmgesteuerte Einwechseln der Werkzeuge. Dabei stellte sich die Frage, ob Werkzeugaufnahmen mit dem genormten Steilkegel auch für das automatische Einwechseln der Werkzeuge in die Maschine geeignet waren. Leider kann hierzu keine eindeutige Antwort gegeben werden, weil in den durchgesehenen Prospekten/Angeboten für Bearbeitungszentren auf die Werkzeugschnittstelle nicht eingegangen wurde. Dies erlaubt den Umkehrschluss, dass bei den damaligen Maschinen die Steilkegelschnittstelle der Normalfall war und dass Werkzeuge mit Steilkegel an den Bearbeitungszentren automatisch eingewechselt werden konnten.¹⁴⁴²

Diese Einschätzung deckt sich auch mit den Erinnerungen von Stolz.¹⁴⁴³ Danach waren die Werkzeughalter mit Steilkegel auch für die Anforderungen der NC-Maschinen geeignet. Erst nach und nach kamen Aspekte hinzu, die eine leichte Modifizierung der

¹⁴⁴⁰ Elektrische Linearmotoren benötigen deutlich mehr teure Permanentmagnete als rotatorische Vorschubmotoren, da nicht nur der Rotor des Motors, sondern die ganze zu verfahrenen Wegstrecke mit den Magneten bestückt werden muss. Außerdem ist ein leistungsfähiger Umrichter mit einem höheren Nennstrom erforderlich, da die fehlende mechanische Untersetzung elektrisch kompensiert werden muss. Der elektrotechnische Mehraufwand kann durch wegfallende mechanische Bauelemente wie den Kugelgewindetrieb meistens nur teilweise kompensiert werden. Direktantriebe sind deshalb nur sinnvoll, wenn sich der Mehraufwand durch Zugewinn an Maschinendynamik, also kürzere Stückzeiten, kompensieren lässt.

¹⁴⁴¹ Die Erstausgabe der DIN-Norm über Steilkegelschäfte für Werkzeuge und Spannzeuge erfolgte im November 1952. Vgl. DIN 2080-1:2011-11, S. 3.

¹⁴⁴² Im Nachtragsangebot des Werkzeugmaschinenhändlers Schütte an die Heidelberger Druckmaschinen für eine Milwaukee Matic gibt es z. B. keinen Hinweis auf die Werkzeugschnittstelle, sondern lediglich die Anmerkung, dass die Werkzeuge für das automatische Einwechseln durch Kodierringe am Werkzeughalter identifiziert werden. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Milwaukee Matic 1964; Alfred H. Schütte GmbH & Co. KG (26.06.1964), S. 5.

¹⁴⁴³ Vgl. Stolz (19.11.2014), S. 25.

Werkzeugaufnahme sinnvoll erschienen ließen, ohne die Steilkegelschnittstelle grundsätzlich zu verändern. Einer war die Werkzeugkodierung zur eindeutigen Identifizierung der Werkzeuge im Werkzeugmagazin.¹⁴⁴⁴ Diese wurde für die „flexible Platzkodierung“ der Werkzeuge benötigt, bei der beim automatischen Werkzeugwechsel das Werkzeug in der Spindel mit dem Werkzeug am Wechselplatz im Magazin ausgetauscht wurde. Beim Werkzeugwechsel wurde das Werkzeug in der Spindel beim Auswechseln auf den Platz des eingewechselten Werkzeugs gelegt, also auf einen definitiv anderen Platz als den, von dem es beim Einwechseln entnommen wurde. Wurde dasselbe Werkzeug noch einmal benötigt, musste es vor dem Einwechseln identifiziert werden. Dies erfolgte über eine Kodierung am Werkzeug. In den Anfängen der numerischen Steuerungstechnik erfolgte die Kodierung durch mechanische Elemente (z. B. Kodierringe), die vor dem Einwechseln während eines Suchlaufs mit Sensoren gelesen wurden. Die Kodierungen benötigten Platz am Werkzeugschaft und führten zu Modifikationen der Werkzeugaufnahme. Weitere Modifizierungen, die nach und nach kamen, waren eine Greiferrille am Bund des Werkzeugs zum sicheren Greifen durch den Werkzeugwechsler und eine Indexkerbe für die Werkzeugorientierung, auch „Deutsches Eck“ genannt.¹⁴⁴⁵

Leider entwickelten viele Werkzeugmaschinenhersteller eigene Modifikationen, sodass die Werkzeuge trotz Steilkegelschaft unter den NC-Maschinen nicht austauschbar waren.¹⁴⁴⁶ Um diese Problematik zu entschärfen, wurde 1975 zur Normung der Greiferrille die VDI-Richtlinie 2814 veröffentlicht.¹⁴⁴⁷ Diese wurde dann 1982 in die DIN-Norm 69871-1 überführt, die 2011 zur DIN ISO 7388-1 wurde.¹⁴⁴⁸ Werkzeuge mit Steilkegel werden also auch heute noch an NC-Maschinen eingesetzt.

Trotz ihrer großen Verbreitung hatte die Steilkegelschnittstelle bei hohen Drehzahlen die Schwäche, dass die axiale Position des Werkzeugs relativ zur Spindelnase wegen der zulässigen Maßtoleranzen für manche Anforderungen nicht genau genug eingehalten wurde. Die Anwender verlangten deshalb ab Mitte der 1980er Jahre eine verbesserte Schnittstelle, die eine genauere axiale Position des Werkzeugs ermöglichte. Die Anbieter reagierten mit der Entwicklung von mehreren Schnittstellenvarianten, die aber

¹⁴⁴⁴ Die Werkzeugkodierung führte 1979/1980 zu einem Patentstreit zwischen Molins und den westdeutschen Werkzeugmaschinenbauern. Der Patentstreit wurde durch nachweislich vergleichbare Lösungen, die bei Heidelberger schon in den 1960er Jahren in Betrieb waren, zugunsten der deutschen Werkzeugmaschinenhersteller entschieden. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 10.

¹⁴⁴⁵ Vgl. Stolz (19.11.2014), S. 13. Die erste VDI-Richtlinie für Werkzeuge an NC-Maschinen war die VDI 2814 „Werkzeugschäfte für automatischen Werkzeugwechsel“ vom November 1975. VDI-Richtlinie 2814:1975-11.

¹⁴⁴⁶ Die Werkzeugmaschinenhersteller wollten durch ihre speziellen Modifikationen erreichen, dass die Kunden die Werkzeuge über sie bezogen. Stolz stellte einmal für den Werkzeughersteller Kommet eine Dokumentation über die unterschiedlichen Steilkegelschäfte zusammen. Er kam auf 30 bis 50 Varianten. Vgl. Stolz (19.11.2014), S. 23.

¹⁴⁴⁷ VDI-Richtlinie 2814:1975-11.

¹⁴⁴⁸ Vgl. DIN ISO 7388-1:2014-7, S. 3.

die Austauschbarkeit der Werkzeuge einschränkten, was die Anwender auch nicht wollten. In der verfahrenen Situation schlug das WZL dem VDW einen Arbeitskreis zur Bewertung der Varianten vor. Dieser kam zu dem Ergebnis, dass sich der Hohl-schaftkegel (HSK) des Werkzeugherstellers Gühring am besten zur Normung eignete. Er wurde deshalb als Basis für Optimierung und Normung verwendet. Heute ist der HSK internationaler Standard und in der ISO 12164 international genormt.¹⁴⁴⁹

Zusammengefasst waren die Werkzeuge kein Hindernis bei der Einführung der NC-Technik, da die schon seit Anfang der 1950er Jahre genormte Steilkegel-Werkzeugschnittstelle bei Fräs- und Bohrmaschinen den Anforderungen prinzipiell genügte, auch wenn der Werkzeugschaft für Werkzeugkodierung, Greifer und Indexierung nach und nach modifiziert wurde. Erst ab den 1980er Jahren wurde intensiv nach grundsätzlichen Verbesserungen gesucht, die dann zur HSK-Schnittstelle führten. Bei Drehwerkzeugen, auf die hier nicht eingegangen wurde, war die Situation ähnlich.

7.3 Werkzeugvoreinstellgeräte

Ein wichtiges Hilfsmittel für den produktiven Einsatz von NC-Werkzeugmaschinen sind Werkzeugvoreinstellgeräte. Ihre Entwicklung wird am Beispiel der Fa. Zoller¹⁴⁵⁰ betrachtet.

Vor der Einführung von Werkzeugkorrekturen bei NC-Steuerungen erleichterten Werkzeugvoreinstellgeräte die genaue Einstellung der Werkzeuge nach den Vorgaben des Programmierers. Nach der Einführung der Werkzeugkorrekturen (vgl. Kapitel 4.13) konnte der Einstellungsaufwand verringert werden.¹⁴⁵¹ Es war dann ausreichend, die genauen Maße der montierten Werkzeuge mithilfe der Werkzeugvoreinstellgeräte zu ermitteln, und sie vor der Bearbeitung in die CNC-Steuerung einzugeben. Die Eingabe konnte in mehreren Varianten erfolgen:

- Von Hand durch den Bediener. Dabei besteht die Gefahr von Tippfehlern, die bei der Abarbeitung des NC-Programms zur Zerstörung des Werkstücks, im Extremfall sogar zu Kollisionen mit Beschädigung der Maschine führen können.

¹⁴⁴⁹ Vgl. Butz u. a. (2006), S. 236–239. Die am WZL durchgeführten Arbeiten sind dokumentiert in Lembke (1993). Die erste DIN-Norm 69893-1 des HSK erschien im Juli 1993. Vgl. DIN 69893-1:2011-04, S. 3.

¹⁴⁵⁰ Im Jahr 2018 erzielte die E. Zoller GmbH einen Umsatz von 103,7 Mio. €. Vgl. GBI-Genios (2020a) Ein weiterer Hersteller von Werkzeugvoreinstellgeräten in Baden-Württemberg ist die Fa. Kelch in Weinstadt. Mit einem Umsatz von 13,96 Mio. € in 2018 ist Kelch deutlich kleiner. Vgl. GBI-Genios (2020b).

¹⁴⁵¹ Das Werkzeug musste in die Werkzeugaufnahme (Steilkegel) montiert werden. Die Länge von Werkzeug und Werkzeugaufnahme musste vor Einführung der Werkzeugkorrektur genau den Vorgaben des Programmierers entsprechen.

- Über ein Netzwerk. Nach dem Vermessen werden die Werkzeugdaten zusammen mit der Identnummer des Werkzeugs über ein Netzwerk gespeichert. Beim Einbringen des Werkzeugs in die Maschine werden die Werkzeugdaten über die Identnummer abgerufen und in den Werkzeugkorrekturspeicher der Steuerung übertragen.
- Durch einen Datenträger am Werkzeug. In diesem werden die Werkzeugdaten nach dem Vermessen gespeichert. Beim Einbringen des Werkzeugs in die Maschine werden die Daten automatisch ausgelesen und in den Werkzeugkorrekturspeicher der Steuerung übertragen.¹⁴⁵²

Alfred Zoller entwickelte 1958 eines der ersten Werkzeugvoreinstellgeräte für die Drehwerkzeuge eines Drehautomaten mit mehreren produktiven Schneiden.¹⁴⁵³ Bei diesen musste die Position der Schneiden zueinander exakt stimmen. Die Einstellung erfolgte ursprünglich durch aufwendig herzustellende Schablonen. Um diese einzusparen erfand Zoller ein Pantographensystem, mit dem die Werkzeugpositionen von einer Zeichnung auf die Einstellpositionen für das Werkzeug übertragen wurden.¹⁴⁵⁴ Später wurde das System für Einzelwerkzeuge weiterentwickelt, bei dem die Maße des fertig montierten Werkzeugs von einem mit einem optischen Heidenhain-Messsystem ausgestatteten Koordinatenschlitten per Mikroskop abgelesen werden konnten.

Ab etwa 1965 wurden die Zoller Werkzeugvoreinstellgeräte auch in Verbindung mit NC-Drehmaschinen eingesetzt. Bei diesen mussten die Werkzeuge sehr genau eingestellt sein, da damals bei den meisten NC-Steuerungen nur eine Werkzeugkorrektur im Bereich $\pm 0,9$ mm möglich war.¹⁴⁵⁵

Die anfänglichen Stückzahlen der Werkzeugvoreinstellgeräte für NC-Drehmaschinen waren klein. Der Vertrieb erfolgte indirekt auf Provisionsbasis über die Werkzeugmaschinenhersteller. Deren Verkäufer konzentrierten sich wegen der höheren Provision auf den Verkauf der Werkzeugmaschinen und hatten wegen der geringen Zusatzprovision nur eine geringe Motivation, den Kunden die Vorteile der Voreinstellgeräte für die Wirtschaftlichkeit der NC-Drehmaschinen zu erklären.¹⁴⁵⁶

1978 war ein entscheidendes Jahr für Zoller, da sich die CNC-Maschinen im Markt durchsetzten. Diese konnten fast beliebige Werkzeugmaße korrekt mit dem NC-Programm verrechnen. Es war jetzt fast immer möglich, NC-Programme mit den Werkzeugmaßen „0“ zu erstellen und das NC-Programm durch Eingabe der Werk-

¹⁴⁵² Diese Variante setzte sich erst in den 1980er Jahren durch. Die Fa. Balluff brachte 1983 hierfür das System BIS (Balluff Ident-System) auf den Markt. Vgl. Balluff GmbH (2018).

¹⁴⁵³ Nach Zoller bot die Firma Kelch in Weinstadt (früher in Leonberg und Schorndorf) für Bohrstan-gen vor der Firma Zoller Werkzeugvoreinstellgeräte an. Vgl. Zoller (10.04.2018), S. 5.

¹⁴⁵⁴ Vgl. Zoller (10.04.2018), S. 3.

¹⁴⁵⁵ Vgl. Zoller (10.04.2018), S. 4.

¹⁴⁵⁶ Vgl. Zoller (10.04.2018), S. 7.

zeugkorrekturen an die realen Werkzeuge anzupassen. Das vereinfachte die Programmierung und das Werkzeug-Handling erheblich und erhöhte die Nachfrage nach Werkzeugvoreinstellgeräten, die Zoller immer häufiger auch direkt vertrieb.¹⁴⁵⁷ Für einen Betrieb mit einem hohen Einstellvolumen entwickelte Zoller 1978 auch das erste NC-gesteuerte Werkzeugvoreinstellgerät, bei dem die Grobposition der Werkzeuge zur Beschleunigung der Vermessung mit einer NC-Steuerung angefahren werden konnte.¹⁴⁵⁸ Ab 1981 erweiterte Zoller sein Programm um Werkzeugvoreinstellgeräte für Bohr- und Fräsmaschinen.¹⁴⁵⁹

Die Werkzeugvoreinstellgeräte in Kombination mit den Werkzeugkorrekturen der CNC-Steuerungen sind ein Beispiel dafür, dass sich rund um die NC-Maschine eine Vielzahl ergänzender Lösungen und Dienstleistungen entwickelte, um die Fertigung mit NC-Maschinen zu vereinfachen und wirtschaftlicher zu machen. Diese Produkte trugen nicht unwesentlich zur Etablierung der NC-Technik bei. Mit Produkten und Dienstleistungen rund um die NC-Maschinen werden heute erhebliche Umsätze erzielt, die in den Anfangsjahren der NC-Technik niemand realistisch abschätzen konnte.

7.4 Elektrische Komponenten

7.4.1 Anpassteuerung

Jede NC-Steuerung hat Schnittstellen zur Maschine. Da die NC-Steuerung aus Sicherheitsgründen die Maschine nicht direkt steuern durfte, benötigte die Maschine eine separate Steuerung, die mit der NC-Steuerung kommunizieren musste.¹⁴⁶⁰ Für diese Maschinensteuerung bürgerte sich der Begriff „Anpassteuerung“ ein. Damit wurde ausgedrückt, dass sie die NC-Steuerung an die Maschine anpasst. Ihr Grundprinzip wird an einem einfachen Beispiel erläutert.

Eine Grundfunktion jeder NC-Maschine ist der Start des NC-Programms über eine Taste. Bevor das NC-Programm gestartet werden darf, muss überprüft werden, ob die Startvoraussetzungen erfüllt sind. So müssen z. B. alle Schutzvorrichtungen der Ma-

¹⁴⁵⁷ Vgl. Zoller (10.04.2018), S. 5.

¹⁴⁵⁸ Die ersten NC-gesteuerten Werkzeugvermessungsgeräte von Zoller waren mit der Acramatic-Steuerung von Cincinnati ausgerüstet. Da die Acramatic-Steuerung teuer war, entwickelte Zoller für seine Einstellgeräte Anfang der 1980er Jahre eine eigene NC-Steuerung. Diese wurde in den 1990er Jahren, ausgelöst durch die Wirtschaftskrise, durch eine Neuentwicklung ersetzt, die „NC-Steuerung“, Bildbearbeitung und Bedienoberfläche kombinierte. (Vgl. Zoller (10.04.2018), S. 9). Diese Innovation trug durch ihre einfache Handhabung entscheidend zur heutigen Position von Zoller bei den Werkzeugvoreinstellgeräten bei.

¹⁴⁵⁹ Vgl. Zoller (10.04.2018), S. 5.

¹⁴⁶⁰ Die NC-Steuerung konnte direkt nur die Antriebe ansteuern, wenn diese von der Anpassteuerung freigegeben waren. Alle Maschinenfunktionen (wie z. B. der Werkzeugwechsel oder Sicherheitsverriegelungen) waren Aufgabe der Anpassteuerung.

schine aktiviert sein und kein NOT-AUS-Taster darf betätigt sein. Die Überprüfung erfolgt durch eine elektrische oder elektronische Logik, die der Maschinenhersteller realisieren muss, im einfachsten Fall über eine logische „Und-Verknüpfung“, wie gerade für den „NC-Start“ beschrieben.

In der Anfangszeit der Automatisierungstechnik und bei den ersten NC-Maschinen wurde die Anpassteuerung mit den in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Schaltgeräten aufgebaut, anfangs meistens mit Schützen. Mit zunehmender Komplexität der Maschine und damit der Anpassteuerung erfolgte aus Platz- und Kostengründen der Übergang zur Relaislogik. Ein Pionier dieser Technologie war die Firma Heller, deren „Idee“, Relais statt Schütze zu verwenden (vgl. Kapitel 5.3 und Abbildung 59), nach und nach von den anderen Maschinenherstellern übernommen wurde.



Abbildung 59: Heller-Schaltschrank mit Relaisrahmen¹⁴⁶¹

Die Relais-technologie für die Anpassteuerung war etwa bis Mitte/Ende der 1970er Jahre Stand der Technik. Ab Mitte der 1970er Jahre begann die Migration auf die in den USA entwickelte PLC- bzw. SPS-Steuerung, eine programmierbare Logiksteuerung mit elektronischen Bauteilen.¹⁴⁶² Diese hatte ihre Wurzeln in der Entwicklung „elektronischer Relais“, die durch die Erfindung des Transistors¹⁴⁶³ möglich wurden.

Schon in den 1950er Jahren hatten die Entwickler bei Siemens und der AEG die Idee, mit Transistoren elektronische Relais zu bauen und als Elektronikbaugruppen anzubie-

¹⁴⁶¹ Bildquelle: Swiridoff (1969), gez. S. 40. Fotograf: Paul Swiridoff; © by Archiv/Museum Würth, Künzelsau.

¹⁴⁶² PLC bedeutet Programmable Logic Controller; die deutsche (nicht wörtliche) Übersetzung ist „Speicherprogrammierbare Steuerung“ (SPS). Bis Anfang der 1980er Jahre war auch der Begriff PC (Programmable Controller) verbreitet. Da ab Mitte der 1980er Jahre die Abkürzung PC zunehmend für Personal Computer verwendet wurde, setzte sich der Begriff PLC durch.

¹⁴⁶³ Den Transistor, einen auf Halbleitern basierenden Schalter, erfanden am 23.12.1947 in den Bell Laboratorien J. Bardeen, W. Brattain und W. Shockley. Vgl. Gross/Marx (2014), S. 540.

ten. Siemens stellte sein Simatic genanntes System in der Siemens-Zeitschrift im Oktober 1959 vor, darunter auch ein Anwendungsbeispiel an einer Revolverdrehbank.¹⁴⁶⁴ Die AEG veröffentlichte Details zu ihrem vergleichbaren LOGISTAT-System kurz danach in den AEG-Mitteilungen im Januar 1960.¹⁴⁶⁵ Die AEG hatte ihr System aber schon auf der Hannover-Messe im Frühjahr 1959 gezeigt,¹⁴⁶⁶ also noch vor Siemens. Nach und nach eroberten diese kontaktlosen Steuerungen¹⁴⁶⁷ immer mehr Anwendungen, wobei Werkzeugmaschinen zuerst nicht im Fokus standen, sondern Anwendungen, die hohe Schaltgeschwindigkeiten benötigten. Begünstigt wurde die Verbreitung durch die technische Weiterentwicklung, die Erfahrung im Umgang mit der neuen Technologie und kontinuierlich sinkende Kosten. Basierte z. B. die erste Generation der Simatic noch auf Germaniumtransistoren, wurde die zweite Generation (Simatic N und H ab 1964) in Siliziumtechnik realisiert, was eine Reihe von Vorteilen hatte. So hatte die Siliziumtechnik trotz höherer Empfindlichkeit eine höhere Störsicherheit.¹⁴⁶⁸ Außerdem konnten die Baugruppen – wie bei den Relaissteuerungen – mit einer positiven Steuerspannung gespeist werden.¹⁴⁶⁹ Mit den Simatic-Baugruppen wurden später große Teile der Sinumerik-Steuerungen aufgebaut, z. B. die der Sinumerik B.¹⁴⁷⁰ Die dritte Generation der verbindungsprogrammierten Steuerungen (Simatic C1, C2 und C3 ab 1971) nutzte integrierte Schaltkreise, was zu einem nochmals kleineren Bauvolumen bei gleichzeitig größerem Funktionsumfang und höherer Verarbeitungsgeschwindigkeit führte.¹⁴⁷¹ Ein Nachteil war, dass wie bei Relaissteuerungen die Logik fest verdrahtet war. Außerdem waren durch den kompakten Aufbau die Verbindungsdrähte dünner und lagen sehr dicht, was ihre Verfolgung bei Verdrahtungsfehlern erschwerte und die Störempfindlichkeit erhöhte. Auch war je nach Verdrahtungskonzept Spezialwerkzeug für Änderungen erforderlich. Dies relativierte die Vorteile gegenüber Relaissteuerungen, wenn nicht die höhere Schaltgeschwindigkeit und der geringere Platzbedarf entscheidend waren.

¹⁴⁶⁴ Freymann/Hofmann (1959).

¹⁴⁶⁵ Zentrales Thema des Heftes 1/2 der AEG-Mitteilungen von 1960 war der Transistor als Schalter. Dazu gehörte auch der Aufsatz über die kontaktlose Steuerung Logistat. Schinze (1960).

¹⁴⁶⁶ Vgl. Hahn (2001), S. 31. Hahn erwähnt an gleicher Stelle auch, dass Ende der 1950er Jahre weltweit etwa ein Dutzend ähnliche Systeme bekannt waren.

¹⁴⁶⁷ Eine andere Bezeichnung für diese Art von Steuerungen war „verbindungsprogrammierte Steuerung“, was ausdrücken sollte, dass die logische Funktion durch Drahtverbindungen fest programmiert wurde.

¹⁴⁶⁸ Vgl. Hahn (2001), S. 47–48.

¹⁴⁶⁹ In der Germaniumtechnik standen nur PNP-Transistoren zur Verfügung, was im eingeschalteten Zustand (Logisch 1) einen Stromfluss von Minus (N) zum Bezugspotenzial (M) erzwang. Deshalb benötigten Logikbaugruppen mit Germaniumtransistoren zusätzlich eine negative Spannung. Siliziumtransistoren hatten einen NPN-Aufbau, d. h. der Stromfluss im eingeschalteten Zustand erfolgt von Plus (P) zum Bezugspotenzial M.

¹⁴⁷⁰ Vgl. Geyer/Waller (1966), S. 60.

¹⁴⁷¹ Vgl. Hahn (2001), S. 25 und 66–87.

Es war eigentlich nur eine Frage der Zeit, bis jemand auf die Idee kam, die aufwendige, maschinenspezifische Verdrahtung der Logiksteuerungen durch einen programmierbaren Rechner zu ersetzen. Schon im Mai 1967 entwarf der Siemens-Mitarbeiter Sedlmeier ein erstes Konzept für eine programmierbare Logiksteuerung mit Magnetkernspeichern. Wegen der damals hohen Kosten der Magnetkernspeicher wurde das Konzept nicht einmal prototypisch umgesetzt, was Hahn im Rückblick als Fehler bezeichnete.¹⁴⁷²

So wurde der US-Ingenieur Dick Morley Erfinder der programmierbaren Logiksteuerung, für die sich später die Bezeichnung PLC durchsetzte. Morley, einer der Gründer von Bedford Associates, hatte die entscheidende Idee an Neujahr 1968. Seine Überlegung war, die Logik einer Steuerung nicht mehr durch Umverdrahten, sondern durch Umprogrammieren ändern zu können. Morley diskutierte die Idee mit seinen Kollegen. Sie beschlossen, sie als Projekt Nr. 84 auszuarbeiten, und es gelang ihnen, für die Entwicklung Geldgeber zu finden. Die Entwicklung und Fertigung wurden in die im Oktober 1968 neu gegründete Firma Modicon ausgelagert. Die Steuerung erhielt analog zur ursprünglichen Projektbezeichnung den Namen Modicon 084.¹⁴⁷³

Wahrscheinlich wäre Modicon – wie viele andere Start-ups – am mangelnden Erfolg gescheitert. Zufällig aber wurde die „Hydramatic Division of General Motors Corporation“ auf das Modicon-Konzept aufmerksam, da sie eine programmierbare, industrietaugliche Steuerung suchte. Modicon bekam einen Auftrag über 1 Mio. USD und die ersten Modicon 084 Steuerungen wurden im November 1969 an Hydramatic geliefert.¹⁴⁷⁴

Um die Akzeptanz der neuartigen Steuerungen zu erleichtern, wurden sie groß und robust aufgebaut. Dadurch kamen sie ohne Kühlung aus. Die entscheidende Innovation der Steuerung war jedoch ihre Programmierung. Um eine Ablehnung durch die Elektriker zu vermeiden und den Umstieg von den verbindungsprogrammierten Steuerungen zu erleichtern, entwickelte Modicon für die Programmierung die sogenannte „Ladder-Programmierung“ (Kontaktplanprogrammierung).¹⁴⁷⁵ Diese orientierte sich an den Schaltplänen („Kontaktplänen“) der Relaissteuerungen, d. h. das „Programm“ sah ähnlich aus wie der Schaltplan einer Relaissteuerung. Es wurde von einem Elektri-

¹⁴⁷² Vgl. Hahn (2001), S. 64.

¹⁴⁷³ Vgl. Dunn (2008), S. 17–18.

¹⁴⁷⁴ Vgl. Dunn (2008), S. 16–18; bezüglich des genauen zeitlichen Ablaufs der Erfindung von Dick Morley finden sich in der Literatur mehrere Varianten. Am wahrscheinlichsten erscheint die zitierte, da sie auf einem Interview mit Dick Morley aufsetzt.

¹⁴⁷⁵ Vgl. Dunn (2008), S. 17.

ker nach kurzer Einarbeitung verstanden. Das reduzierte die üblichen Vorbehalte gegenüber der neuen Technik und trug zu ihrem Erfolg bei.¹⁴⁷⁶

Westdeutsche Steuerungshersteller, die die Grundidee von Modicon aufgriffen, versuchten bei der Programmierung zuerst einen anderen Weg einzuschlagen. Die ersten PLC-Steuerungen z. B. von Siemens (Simatic S3¹⁴⁷⁷) wurden mit einer „Anweisungsliste“ programmiert, einer verbalen Kurznotation für logische Verknüpfungen. Diese Programmierung hatte gegenüber der Kontaktplanprogrammierung den Vorteil, dass mit ihr auch komplexe Logikschaltungen und höherwertige Funktionen (z. B. Rechenoperationen) programmiert werden konnten. Dafür war die Programmierung deutlich schwerer zu erlernen und die Visualisierung des logischen Zustands der programmierten Logik fehlte fast ganz. Darunter litt die Akzeptanz bei Facharbeitern und Elektrikern und führte sogar dazu, dass Siemens-Steuerungen aus einigen Betriebsmittelvorschriften der Automobilhersteller entfernt wurden.¹⁴⁷⁸ Siemens zog Konsequenzen und bot ab 1979 seine neue Steuerungsgeneration Simatic S5 auch mit Kontaktplan- und Funktionsplanprogrammierung¹⁴⁷⁹ an. Ein im Vergleich zum Mitbewerb neues Feature war, dass das PLC-Programm in mehreren Darstellungsarten angezeigt werden konnte, wenn bestimmte Regeln eingehalten wurden.¹⁴⁸⁰

Als erste Maschinenhersteller begannen, PLC-Steuerungen als Anpasssteuerung für eine NC-Steuerung einzusetzen, kommunizierte die PLC-Steuerung mit der NC-Steuerung wie eine Relaissteuerung über Ein- und Ausgänge.¹⁴⁸¹ Die CNC-Steuerungen ermöglichten etwa ab Mitte der 1970er Jahre die Integration der PLC-

¹⁴⁷⁶ Ein weiterer Vorteil der Kontaktplanprogrammierung neben der guten Lesbarkeit ist die einfache Visualisierung bei der Inbetriebnahme. Als für die Programmierung und Inbetriebnahme der Steuerungen Bildschirmgeräte aufkamen, konnten aktive und inaktive logische Verknüpfungen auf dem Bildschirm durch eine unterschiedliche Darstellung (Stromfluss, kein Stromfluss) visualisiert werden. Auch heute ist die Kontaktprogrammierung noch weit verbreitet.

¹⁴⁷⁷ Die ersten PLC-Steuerungen Simatic S30 von Siemens wurden 1971 ausgeliefert. Vgl. Hahn (2001), Bild 9 S. 25.

¹⁴⁷⁸ Vgl. Hahn (2001), S. 24.

¹⁴⁷⁹ Der Funktionsplan orientierte sich an den Funktionssymbolen, die z. B. in DIN-Normen festgelegt waren. Vgl. Hahn (2001), S. 23–24. Auf S. 24 (Bild 8) werden die Programmierarten verglichen.

¹⁴⁸⁰ Bei der Simatic S5 konnte mit Anweisungsliste, Kontaktplan oder Funktionsplan programmiert werden. Fast jedes Programm im Kontaktplan konnte alternativ in Anweisungsliste oder Funktionsplan angezeigt werden. Umgekehrt nur, wenn bestimmte Restriktionen eingehalten wurden. Nach Hahn war dies ein Feature, das nur Siemens hatte. Bei der Entwicklung war die grafische Programmierung die größte Herausforderung, da es in der Bundesrepublik dafür noch keine Erfahrungsträger gab. Vgl. Hahn (2001), S. 24. AEG, BBC und Siemens einigten sich darauf, die Programmiermethoden Kontaktplan, Funktionsplan und Anweisungsliste als DIN Vorschlag 19239 einzubringen. Vgl. Hahn (2001), S. 23. Der erste Entwurf wurde 1979 eingereicht. Vgl. DIN 19239 (Entwurf):1979-01.

¹⁴⁸¹ 1976 hatten etwa 9 % der NC-Steuerungen einen Anpassteil mit einer PLC-Steuerung, 10 % mit einer Steuerung aus Logikbaugruppen und 80 % mit einer Relaissteuerung. Bei 1 % war die Anpasssteuerung direkt in der CNC-Steuerung realisiert. Vgl. Baisch (1977), S. 75.

Steuerung in den Baugruppenrahmen der CNC-Steuerungen. Diese Lösung hatte mehrere Vorteile, die nach und nach realisiert wurden:

- Reduzierter Verdrahtungsaufwand durch Wegfall der hardwarebasierten Ein- und Ausgängen bei der NC-Steuerung und der SPS-Steuerung. Der Hardwareaufwand für die elektronische „Buskopplung“ der beiden Steuerungen war deutlich geringer.
- Schnellere Kommunikation und damit eine performantere Maschine, da „Entprellfilter“ zur Störunterdrückung zwischen den Steuerungen entfallen konnten.
- Ohne zusätzlichen Hardwareaufwand konnten bei einer Buskopplung mehr Signale und sogar Daten zwischen den Steuerungen ausgetauscht werden. Dadurch hatten die Maschinenhersteller zusätzliche Möglichkeiten, die Abläufe in der CNC-Steuerung zu beeinflussen bzw. in der PLC-Steuerung NC-Daten auszuwerten.

Die erste NC-Steuerung mit „integrierter PLC-Anpasssteuerung“ wurde vermutlich 1974 von der AEG für eine Drehmaschine realisiert. NC und PLC waren zwar im gleichen Baugruppenträger untergebracht, kommunizierten aber noch über Ein- und Ausgänge.¹⁴⁸² Eine ähnliche Lösung bot 1977 auch Bosch für sein System 5 (Bendix-Lizenzbau) an.¹⁴⁸³ Eine CNC-Steuerung, bei der NC und PLC kompakt in einem Baugruppenträger integriert waren und über eine Buskopplung kommunizierten, stellte Siemens im Sommer 1979 mit dem Sinumerik System 8 vor.¹⁴⁸⁴

Wegen ihrer Vorteile hatten CNC-Steuerungen mit integrierter PLC-Steuerung ab Ende der 1970er Jahre einen kontinuierlich steigenden Marktanteil. Die technische Realisierung unterschied sich jedoch abhängig vom Hersteller und der Preisklasse der Steuerung. Bei CNC-Steuerungen für größere Maschinen (z. B. das Sinumerik System 8) wurde meistens eine busgekoppelte PLC-Steuerung eingesetzt, da der Anpasseteil sehr komplex werden konnte. Die für kleinere Maschinen angebotenen Steuerungen (z.B. ab 1984 die Sinumerik 810) hatten dagegen oft eine in die NC-Software integrierte PLC-Steuerung.¹⁴⁸⁵ Diese hatte gegenüber einer busgekoppelten PLC-Steuerung einen deutlich reduzierten Leistungsumfang. Beide Varianten werden heute noch angeboten.

7.4.2 Antriebstechnik

Eine zentrale Komponente jeder NC-Maschine sind die Achs- und Spindelantriebe. Wie in der Einleitung dieses Kapitels beschrieben, wandeln die Vorschubantriebe die vom Interpolator der NC-Steuerung berechneten Geschwindigkeitssollwerte in Achsbewegungen um. Zusätzlich müssen die Hauptspindelantriebe bei Drehmaschinen das

¹⁴⁸² Vgl. Götz/Mühlenkamp (1974).

¹⁴⁸³ Vgl. Stich (2013), S. 46. Leider sind technische Details zur Integration der PIC-PLC-Anpasssteuerung nicht angegeben.

¹⁴⁸⁴ Das Sinumerik System 8 hatte eine busgekoppelte PLC-Steuerung. Vgl. Gast u. a. (1979), S. 497–498.

¹⁴⁸⁵ Vgl. o. V. (2010b), S. 4 und vgl. Schirdewahn/Sollmann (1985), S. 23.

Werkstück bzw. bei Fräsmaschinen das Werkzeug in Rotation versetzen. Durch das Zusammenwirken der Vorschub- und Hauptspindelantriebe wird dann mit den Werkzeugen das Werkstück nach der programmierten Vorgabe zerspant. Je nachdem, ob es sich bei der Steuerung um eine Punkt-, Strecken- oder Bahnsteuerung handelt, unterscheiden sich die Anforderungen an Qualität und Leistungsfähigkeit der Antriebe.

Bei Maschinen mit NC-Positioniersteuerungen waren die Anforderungen an die Vorschubantriebe relativ niedrig, da sowohl beim Positionieren als auch beim Bearbeiten nur eine Achse bewegt wurde; es mussten keine Abhängigkeiten zwischen den Achsen beachtet werden. Eine typische Bearbeitung für NC-Maschinen mit einer NC-Positioniersteuerung war das Bohren von Löchern, bei dem die Anforderungen an die Genauigkeit des Geschwindigkeitsprofils zum Anfahren der Bohrposition gering waren. In den meisten Fällen konnten die Anforderungen mit preiswerten umschaltbaren Drehstromnormmotoren in Kombination mit Getrieben erfüllt werden. Es standen verschiedene Geschwindigkeitsstufen zur Verfügung, die abhängig vom Restweg zur Zielposition ausgewählt wurden. Kurz vor der Zielposition wurde auf eine langsame Geschwindigkeit (Schleichgang) umgeschaltet und unmittelbar vor der Zielposition wurde der Antrieb abgeschaltet. Die Zielposition wurde normalerweise sehr genau erreicht. Aus Kostengründen wurde ein Antrieb oft für mehrere Achsen verwendet und über Kupplungen auf die anderen Achsen umgeschaltet. Die gerade nicht mit dem Antrieb gekoppelten Achsen wurden über Bremsen in ihrer Position gehalten. Da beim Bohren in der Zielposition kein Geschwindigkeitsprofil eingehalten werden musste, waren NC-Maschinen mit Positioniersteuerungen die preisgünstigste NC-Maschinenvariante.

Maschinen mit Streckensteuerungen stellten höhere Anforderungen an Antriebe und NC-Steuerung, da beim Verfahren der Achsen das Werkstück bearbeitet werden konnte. In diesem Fall musste ein Geschwindigkeitsprofil eingehalten werden, da sich Geschwindigkeitsschwankungen oder -sprünge während der Bearbeitung negativ auf die Werkstückoberfläche auswirken konnten. NC-Maschinen mit Streckensteuerungen wurden daher meistens mit geregelten elektrischen oder hydraulischen Antrieben ausgerüstet, wobei der Antrieb aus Kostengründen wie bei den Positioniersteuerungen oft auf mehrere Achsen umgeschaltet werden konnte.

Die höchsten Ansprüche an Antriebe und Steuerungen hatten die Bahnsteuerungen, da sowohl beim Positionieren als auch beim Bearbeiten mehrere Achsen gleichzeitig verfahren wurden. Für eine Gerade im Raum müssen z. B. drei Achsen im Raum mit einem genau definierten Geschwindigkeitsverhältnis verfahren, bei einem Kreis in der Ebene zwei Achsen, bei denen die eine ein Sinusprofil abfahren muss und die andere ein Cosinusprofil. Damit die programmierte Kontur möglichst genau eingehalten wird, müssen die Antriebe die von der Steuerung vorgegebenen Geschwindigkeitssollwerte unter allen Bedingungen einhalten, was hohe Anforderungen an ihre Dynamik stellt. Hierzu ein einfaches Beispiel: Sollen die Achsen x und y in der Ebene eine Schräge

von 45 Grad verfahren, müssen die beiden Achsen exakt ein Drehzahlverhältnis von 1:1 einhalten. Schon kleinste Ungenauigkeiten führen zu einer Abweichung von der Sollkontur und – wenn dabei ein Werkstück zerspant wird – zu Fehlern am Teil.

Speziell die Anforderungen der Bahnsteuerungen an die Dynamik der Vorschubantriebe konnten diese in der Anfangsphase der NC-Technik nur schwer erfüllen. Am wirtschaftlichsten wurden sie bei höheren Antriebsleistungen von hydraulischen Antrieben abgedeckt. Bei diesen konnte über Servoventile¹⁴⁸⁶ der Durchfluss des Hydrauliköls und damit die Geschwindigkeit proportional zu einem analogen Sollwert schnell und genau auch bei hohen Leistungen geregelt werden.¹⁴⁸⁷ Da geregelte elektrische Antriebe höherer Leistung bis in die zweite Hälfte der 1960er Jahre praktisch nicht zur Verfügung standen,¹⁴⁸⁸ waren hydraulische Antriebe für die Vorschubachsen bei Bahnsteuerungen lange Zeit die erste Wahl.¹⁴⁸⁹ Ein weiterer Vorteil der hydraulischen Antriebe war, dass fast alle Werkzeugmaschinenhersteller von den konventionellen Maschinen her Erfahrung mit hydraulischen Antrieben hatten.¹⁴⁹⁰

Als Zwischenlösung – bis kleine, kostengünstige elektrische Antriebe zur Verfügung standen – wurden bei manchen Maschinen elektrohydraulische Schrittmotoren¹⁴⁹¹ ein-

¹⁴⁸⁶ Bei einem hydraulischen Servoventil wird ein Schieber proportional zu einer angelegten Spannung verstellt und damit der Öldurchfluss proportional zur angelegten Spannung verändert. Nichtlinearitäten können durch einen überlagerten Regelkreis innerhalb gewisser Grenzen durch die Steuerung ausgeregelt werden. Die Firma Burr beispielsweise setzte in ihren ersten NC-Maschinen hauptsächlich amerikanische Moog-Ventile zusammen mit einem Hartmann-Hydraulikmotor ein. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 20.

¹⁴⁸⁷ Um Störungen zu vermeiden, musste das Hydrauliköl permanent gefiltert werden. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 20.

¹⁴⁸⁸ Regelbare, dynamische elektrische Antriebe konnten bis zur Verfügbarkeit größerer steuerbarer Umrichter mit Thyristoren nur sehr aufwendig mit Leonardsätzen realisiert werden. Bei einem Leonardsatz wird über einen Drehstrommotor ein Gleichstromgenerator angetrieben. Am dadurch aufgespannten „Gleichstromzwischenkreis“ ist dann ein drehzahlregelbarer Gleichstrommotor angeschlossen. Es handelt sich um eine technisch sehr aufwendige Lösung, die an Werkzeugmaschinen aus Kostengründen nur ungern eingesetzt wurde. Eine andere, ebenfalls teure Variante waren Quecksilberdampfgleichrichter. Ein guter Überblick über den Stand der elektrischen Antriebstechnik um 1963 findet sich im Doppelheft 4/5 der BBC-Nachrichten von 1963. Vgl. o. V. (1963a), S. 217–324. Ein Antriebssystem für Werkzeugmaschinen aus einem Gleichstrom-Servomotor und einem Thyristorumrichter wurde von Siemens erstmals im September 1964 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover gezeigt. Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 13.

¹⁴⁸⁹ Bei der in Kapitel 6.1 beschriebenen Anlage von Heidelberger mit Burr-Bearbeitungszentren waren die umfangreichen Anlagen für die Hydraulikantriebe der Maschinen unter den Bearbeitungszentren untergebracht. Vgl. Privatarhiv Michael Geiger, DVD Fertigungssysteme Heidelberger Druckmaschinen AG; Heidelberger Druckmaschinen AG (ca. 1979), 32min 22s bis 32min 40s.

¹⁴⁹⁰ Heller war in den 1930er Jahren einer der führenden Anbieter hydraulisch gesteuerter Maschinen. Vgl. Mistele (1994), S. 13. Ähnliches gilt für Boehringer in Göppingen, die ihre Hydraulikkompetenz 1987 in der Firma Hydrokraft bündelte. Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (2017).

¹⁴⁹¹ Ein elektrischer Schrittmotor dreht sich bei einer Umschaltung der Phasen um einen durch die Motorkonstruktion definierten Winkel weiter. Eine Funktionsbeschreibung findet sich z. B. in Simon (1971), S. 182–186.

gesetzt.¹⁴⁹² Diese Kombination hatte den Vorteil, dass auf teure Messsysteme (siehe nächstes Unterkapitel) verzichtet werden konnte, aber auch den Nachteil, dass die maximale Schrittfrequenz vom Motor vorgegeben war und zusammen mit der vorgegebenen Genauigkeit die maximale Achsgeschwindigkeit begrenzte.¹⁴⁹³ Eine hohe Achsgeschwindigkeit (durch eine hohe Übersetzung) vergrößerte das kleinste Weginkrement. Die elektrohydraulischen Schrittmotoren waren also auch für Maschinen mit höheren Achsgeschwindigkeiten, aber geringeren Genauigkeitsanforderungen geeignet. Dazu zählten z. B. die Nibbelmaschinen der Firma Trumpf (vgl. Kapitel 5.5), die niedrigere Genauigkeitsanforderungen als Dreh- oder Fräsmaschinen hatten.

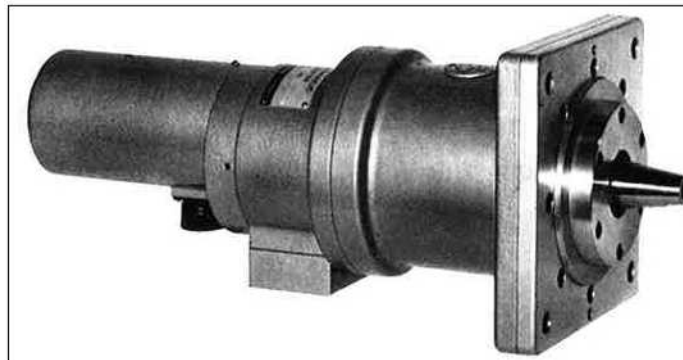


Abbildung 60: Elektrohydraulischer Schrittmotor von Fanuc/Siemens¹⁴⁹⁴

Den Antrieb (Abbildung 60) hatte die japanische Fujitsu Limited entwickelt, mit der Siemens im Oktober/November 1965 einen Lizenzvertrag schloss. Dieser erlaubte Siemens Nachbau und Vertrieb der elektrohydraulischen Schrittmotoren.¹⁴⁹⁵ Siemens stellte diese noch vor der offiziellen Vertragsunterzeichnung auf der 9. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung im September 1965 in Brüssel vor.¹⁴⁹⁶

Wie schon erwähnt war der Gleichstrommotor der ideale Antrieb für die Vorschubachsen einer NC-Werkzeugmaschine, da er theoretisch die besten Regeleigenschaften hat-

¹⁴⁹² Technologisch waren ein elektrischer Schrittmotor und ein hydraulischer Schrittmotor kombiniert. Der elektrische, leistungsarme Schrittmotor wurde von der Steuerung über ein Antriebsregelgerät mit Impulsen angesteuert. Jeder Impuls entsprach einem genau definierten Weginkrement. Die Weginkremente des Schrittmotors wurden über eine mechanische Anpassung in wesentlich drehmomentstärkere hydraulische Weginkremente (eine genau definierte Menge Hydrauliköl) umgesetzt und bewirkten so den Vorschub. Solange das Lastmoment nie höher als das Antriebsmoment war, arbeiteten die elektrohydraulischen Schrittmotoren zuverlässig und genau. Es konnte auf ein Messsystem zur Wegkontrolle verzichtet werden. Das fehlende Messsystem war jedoch ein prinzipieller Schwachpunkt, der zu Fehlern an der Maschine führen konnte. Zusammen mit der begrenzten Schrittfrequenz war dies der Grund, dass diese Antriebe vom Markt verschwanden, sobald rein elektrische Antriebe mit vergleichbarer Leistung wirtschaftlicher waren. Eine Beschreibung des Schrittmotorprogramms von Fanuc (Stand 1973) findet sich in Winkler, Helmut (1973).

¹⁴⁹³ Die Schrittweite muss kleiner sein, als die Genauigkeit der Maschine. Die maximale Geschwindigkeit errechnet sich aus dem Produkt von Schrittfrequenz und Schrittweite.

¹⁴⁹⁴ Bildquelle: Siemens Historical Institute, SAA 41.A 1; Siemens AG (1969-1970), gez. S. 3.

¹⁴⁹⁵ Vgl. Siemens Historical Institute, SAA 22542.2; Fujitsu Limited/Siemens AG (22.02.1972), S. 1.

¹⁴⁹⁶ Vgl. Siemens Historical Institute, SAA LS 473; Siemens AG (September 1965), gez. S. 6.

te. Das Problem waren die fehlenden preiswerten Regelgeräte. Das änderte sich langsam, nachdem 1957 bei General Electric der Thyristor, eine durch einen Zündimpuls einschaltbare Diode, erfunden wurde. Diese ging beim Nulldurchgang des Stroms wieder in den Sperrzustand über.¹⁴⁹⁷ Die Weiterentwicklung des Thyristors in Richtung höherer Spannungsfestigkeit und Ströme ermöglichte es, die von den Quecksilberdampfgleichrichtern bekannten Gleichrichterschaltungen mit Thyristoren aufzubauen.¹⁴⁹⁸ So berichtete beispielsweise BBC 1961 von einem gesteuerten Silizium-Stromrichter mit einem „Halbleiter-Thyatron“.¹⁴⁹⁹ Siemens stellte drei Jahre später (1964) einen für Werkzeugmaschinen geeigneten Thyristor-Stromrichter zusammen mit einem für Vorschubantriebe neu entwickelten Gleichstrom-Servomotor¹⁵⁰⁰ auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover aus.¹⁵⁰¹

Durch die technische Weiterentwicklung, ihre Flexibilität und problemlose Handhabung hatten die Gleichstrom-Servuantriebe die hydraulischen und elektrohydraulischen Vorschubantriebe bis zur zweiten Hälfte der 1970er Jahre weitgehend verdrängt.¹⁵⁰² Die anfangs für Gleichstromantriebe hauptsächlich eingesetzten Thyristor-umrichter hatten aber den Nachteil, dass die Thyristoren nicht aktiv ausgeschaltet werden konnten. Sie schalten sich erst bei einem Richtungswechsel des Stromflusses selbst aus, d. h. beim üblichen 50 Hz Stromnetz nur alle 20 Millisekunden (ms) pro Phase. Dadurch resultiert eine regelungstechnische Totzeit von bis zu 20 ms, die für hochdynamische Antriebe zu groß ist. Gelöst wurde das Problem in den 1970er Jahren durch Leistungstransistoren. Mit ihnen konnten hohe Leistungen (d. h. hohe Ströme

¹⁴⁹⁷ Vgl. Agrawal (2001), S. 115.

¹⁴⁹⁸ Der Thyristor und die Diode unterscheiden sich dadurch, dass bei einem Thyristor in einer Gleichrichterschaltung der Stromfluss in der positiven Halbwelle zu einem beliebigen Zeitpunkt eingeschaltet werden kann (die Diode ist in der positiven Halbwelle immer leitend). Dadurch kann die gleichgerichtete Spannung eingestellt werden. Abhängig von Einschaltzeitpunkt und Last kann die gleichgerichtete Spannung Werte zwischen 0 V und der Spitzenspannung der Sinushalbwelle annehmen. Durch Veränderung der gleichgerichteten Spannung können Drehzahl und Drehmoment eines Gleichstrommotors beeinflusst werden. Mit Beginn der negativen Halbwelle gehen Diode und Thyristor in den Sperrzustand über.

¹⁴⁹⁹ Vgl. Faust (1961).

¹⁵⁰⁰ Servomotoren sind drehzahlregelbare Motoren zum Positionieren, die ein Lagemesssystem benötigen.

¹⁵⁰¹ Vgl. Privatarhiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 13.

¹⁵⁰² Vgl. Stof/Vogt (1977), S. 762. In Nischen werden hydraulische Antriebe bei NC-Werkzeugmaschinen bis heute eingesetzt, z. B. wenn Antriebe mit hoher Leistung auf kleinstem Raum untergebracht werden müssen. Hydraulische Antriebe benötigen in Bearbeitungsnähe nur einen relativ kleinen Hydraulikzylinder; das Hydraulikaggregat kann relativ weit davon entfernt installiert sein.

und Spannungen) zu einem beliebigen Zeitpunkt ein- und ausgeschaltet werden.¹⁵⁰³ Einer der ersten westdeutschen Transistorumrichter für elektrische Servoantriebe, der Selektor-Servoregler von Indramat, erschien 1975 auf dem Markt.¹⁵⁰⁴ Dieser Servoregler war bei Indramat die technische Grundlage für den nächsten Innovationsschritt zu den Drehstromservoantrieben.¹⁵⁰⁵ Diese wurden 1979 vorgestellt und sind heute noch Stand der Technik.¹⁵⁰⁶

Eine weitere Voraussetzung für den Technologiesprung waren neuartige Vorschubmotoren.¹⁵⁰⁷ Die 1964 von Siemens auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover vorgestellten Gleichstrom-Servomotoren für Vorschubantriebe waren im Prinzip optimierte Gleichstrom-Nebenschlussmotoren. Ihr Nachteil war, dass der Strom sowohl im Ständer (Erregung) als auch im Läufer geregelt werden musste. Außerdem waren die Motoren relativ groß. Demgegenüber setzten amerikanische Firmen wie Inland¹⁵⁰⁸ und Gettys¹⁵⁰⁹ und die japanische Firma Yaskawa¹⁵¹⁰ schon früh auf die Erregung durch

¹⁵⁰³ Der entscheidende Vorteil des Leistungstransistors gegenüber dem Thyristor ist, dass er zu jedem beliebigen Zeitpunkt ein- und ausgeschaltet werden kann. Die regelungstechnisch ungünstige Totzeit von max. 20 ms des Thyristors entfällt. Die ersten Leistungstransistoren reagierten aber sehr empfindlich auf Überspannungen und mussten durch eine aufwendige Beschaltung vor Zerstörung geschützt werden. Am Ende des Untersuchungszeitraums wurden Spannungen im Gleichstromzwischenkreis um die 200 V beherrscht. Ab Ende der 1980er Jahre gab es zuverlässige Transistorumrichter, die mit einer Spannung von mindestens 540 V arbeiteten. Diese ergibt sich aus der gleichgerichteten Spannung des 400 V Drehstromnetzes. Moderne Antriebssysteme arbeiten heute mit geregelten Zwischenkreisspannungen von über 700 V. Vgl. Dr. Johannes Heidenhain GmbH (2021b), S. 5. Die Vorteile einer hohen Zwischenkreisspannung sind reduzierte Stromstärken und Verluste bei gleicher elektrischer Leistung.

¹⁵⁰⁴ Vgl. Privatarhiv Thomas Wissert, Indramat 1; Indramat GmbH (4/91), S. 6. Schon auf der 2. EMO in Hannover (1977) wurden Transistor-Antriebsverstärker von mehreren Herstellern angeboten. Die Geräte zeichneten sich im Vergleich zu Thyristorumrichtern durch geringere Größe und ein günstigeres dynamisches Verhalten aus. Vgl. Stof/Vogt (1977), S. 762.

¹⁵⁰⁵ Der Unterschied zwischen Gleichstrom- und Drehstromservomotoren, der auch Auswirkungen auf die Detailausprägung der Regler hat, wird später erläutert.

¹⁵⁰⁶ Vgl. Privatarhiv Thomas Wissert, Indramat 1; Indramat GmbH (4/91), S. 6 und vgl. Keppler/Swoboda (1980). Mit Stand der Technik ist gemeint, dass heute an Werkzeugmaschinen fast nur noch Drehstromservoantriebe verbaut werden.

¹⁵⁰⁷ Wissert (2017a) gibt einen gut verständlichen Überblick über den aktuellen technischen Stand der Werkzeugmaschinenantriebe.

¹⁵⁰⁸ Über Inland (heute Tochterfirma von Kollmorgen) sind leider nur wenig belastbare Informationen verfügbar. Inland beschäftigte sich schon früh mit permanentmagnetenerregten Servomotoren für Werkzeugmaschinen und baute hierfür 1973 eine Fabrik in Irland. Vgl. Callan Technology (2015). Die Firma Hüller setzte z. B. an ihren Werkzeugmaschinen Inland-Antriebe ein. Vgl. Roßkopf (29.10.2014), S. 11. Burr setzte Inland-Motoren ab ca. 1968 ein. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 20.

¹⁵⁰⁹ Die US-Firma Gettys behauptet in ihrer Chronik von 1979, dass ihre 1969 eingeführten permanentmagnetenerregten Gleichstromservomotoren die einzigen speziell für den industriellen Servomarkt konstruierten Motoren gewesen seien. Sie seien nie erfolgreich kopiert worden. Nur Fujitsu Fanuc Ltd. habe die Motoren im Rahmen eines Lizenzabkommens nachbauen dürfen. Vgl. Privatarhiv Thomas Wissert, Gettys 1; Gettys Manufacturing Company (9/1979), S. 3.

¹⁵¹⁰ Der Vertrieb der Minertia-Motoren von Yaskawa erfolgte in West-Europa durch BBC. Vgl. Stüben/Thron (1967), S. 482.

Permanentmagnete, was die Motorkonstruktion und -regelung vereinfachte. Außerdem waren die Motoren „Langsamläufer“, was kleinere Getriebe ermöglichte.

Indramat war der erste westdeutsche Hersteller, der die Idee der permanentmagneterregten Servomotoren für Werkzeugmaschinen notgedrungen konsequent aufgriff. Indramat hatte Anfang der 1970er Jahre gerade ein neues Servoventil für elektrohydraulische Antriebe an Werkzeugmaschinen entwickelt, als sich der Trend zu elektrischen, permanenterregten Servoantrieben abzeichnete. Zuerst verhandelte Indramat mit amerikanischen Anbietern über eine Lizenzfertigung. Nach dem Scheitern der Verhandlungen wurde 1972 mit einer eigenen Entwicklung begonnen.¹⁵¹¹ Schon 1973 konnten eigene permanentmagneterregte Gleichstromservoantriebe mit Thyristorreglern vorgestellt werden.¹⁵¹² Der Mitbewerber Siemens brauchte deutlich länger für die Umsetzung und zeigte erst 1975 ein vergleichbares Produkt, die Vorschubmotorenreihe 1HU3.¹⁵¹³

Die ersten angebotenen permanenterregten Gleichstromservomotoren hatten trotz vieler Vorteile aber auch einige prinzipielle Nachteile:

- Die Permanentmagnete waren im Motorständer.¹⁵¹⁴ Der Strom floss durch den Läufer und musste abhängig vom Drehwinkel über einen verschleißbehafteten Kommutator zwischen den Wicklungen umgeschaltet werden. Die Motoren waren deshalb nicht wartungsfrei.
- Die Verlustwärme entstand hauptsächlich im schlecht kühlbaren Läufer, was die Motorleistung begrenzte. Außerdem wanderte ein Teil der Verlustwärme über die Motorwelle in die Maschine.
- Durch seinen massiven Aufbau mit viel Kupfer hatte der Läufer ein relativ hohes Trägheitsmoment, was die Motordynamik begrenzte.

Der Durchbruch bei der Lösung dieser Probleme gelang 1979 wieder Indramat mit der Vorstellung des „wartungsfreien AC-Servoantriebs“ für Werkzeugmaschinen.¹⁵¹⁵ Bei diesem weltweit zuerst von Indramat¹⁵¹⁶ präsentierten Antriebskonzept für Werkzeugmaschinen war gegenüber den bisherigen Gleichstromservoantrieben die Funktion von Ständer und Läufer vertauscht. Die Permanentmagnete waren jetzt im Läufer und die

¹⁵¹¹ Vgl. Schroll (2015), S. 175.

¹⁵¹² Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Indramat 1; Indramat GmbH (4/91), S. 5. Ein weiterer Vorteil der Indramat-Antriebe war der modulare Aufbau der Umrichter.

¹⁵¹³ Vgl. Privataarchiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 28.

¹⁵¹⁴ Die Feldstärke der Permanentmagnete aus Ferrit war für die Unterbringung im Läufer zu gering.

¹⁵¹⁵ Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Indramat 1; Indramat GmbH (4/91), S. 7. Etabliert hat sich schon bald nach der Vorstellung der Begriff AC-Servos, weil der Motor ähnlich wie bei einem Drehstrommotor mit einem Drehfeld beaufschlagt wird. Technisch korrekter ist aber die Bezeichnung „elektronisch kommutierter Gleichstrommotor“.

¹⁵¹⁶ Vgl. Schroll (2015), S. 176.

Wicklungen (und damit der Stromfluss) im Ständer.¹⁵¹⁷ Möglich wurde der „Tausch“ durch folgende Maßnahmen:

- Verwendung von Magneten mit einer höheren spezifischen Feldstärke im Läufer. Damit änderte sich die Feldstärke für die Erregung trotz weniger Magnetmaterial nicht. Die neuen Motoren hatten keinen Leistungsverlust und waren leichter. Der Läufer hatte ein niedrigeres Trägheitsmoment, die Motoren waren dynamischer.
- Die mechanische, verschleißbehaftete Stromkommutierung am Motorläufer konnte durch eine verschleißfreie elektronische Kommutierung im Umrichter ersetzt werden. Zur Steuerung der Kommutierung hatten die Motoren zusätzlich einen verschleißfreien Rotorlagegeber, der von der Umrichterelektronik ausgewertet wurde.
- Die meiste Verlustwärme fiel im Ständer an, der besser und einfacher zu kühlen war.

Ab 1980 wurde dieses Antriebskonzept von Indramat mit dem Begriff „Drehstrom-Servos“ stark beworben (vgl. Abbildung 61).



Die neuen Indramat-Permanentmagnet-Drehstrom-Servoantriebe der Baureihe MAC zeichnen sich durch wesentliche Vorteile aus:

- absolut verschleißfrei, weil bürstenlos
- hochdynamisch
- 4-Quadranten-Betrieb
- besonders geeignet für numerisch gesteuerte Produktionsmaschinen (Geschwindigkeits- und Ortsregelung)
- überlegenes Kosten-Leistungsverhältnis durch einfache und robuste Konstruktion
- Bauform nach IEC-Normalabmessungen für Drehstrommotore nach DIN 42 673/77

INDRAMAT
Indramat GmbH · Postfach 505/506 · D-8770 Lohr/Main
Telefon 093 52/18-1 · Telex Nr. 06 89 421

**Indramat-
Antriebstechnik**
**Vorsprung mit
Drehstrom-Servos**

Abbildung 61: Ausschnitt aus einer Werbeanzeige von Indramat aus dem Jahr 1980¹⁵¹⁸

Schon Anfang der 1980er Jahre begannen intensive Diskussionen, ob die Drehstromservomotoren die Gleichstromservomotoren ablösen werden. Die Wenigsten sahen voraus, dass die technischen Vorteile aus Anwendersicht so überzeugend waren, dass sich die Drehstromservomotoren überraschend schnell durchsetzten. Nach einer Aufstellung von Indramat gab es Mitte 1983 schon elf Anbieter von AC-Servoantrieben, von denen aber noch keiner diese Antriebe in Serie baute. Indramat hingegen hatte bis 1983 schon 1500 AC-Servoantriebe ausgeliefert und fertigte schon

¹⁵¹⁷ Das Grundprinzip dieses Antriebs war keine Erfindung von Indramat. Schon 1954 erfanden Lavet und Dietsch eine „Schaltungsanordnung für kollektorlose Motoren“. Vgl. Soc. An. des Etablissements Leon Hatot, Paris. 1960, DE10078678B. Es wurde ab 1958 in der Flug- und Weltraumtechnik erstmals angewandt. Ab Mitte der 1960er Jahre kamen erste kommerzielle Kleinantriebe nach diesem Prinzip auf dem Markt. Vgl. Stölting (1998), S. 139–140. Hinweis: Stölting gibt für die Patenterteilung fälschlicherweise das Jahr 1951 an. Auch die Patentnummer ist nicht korrekt.

¹⁵¹⁸ Bildquelle: Privataarchiv Thomas Wissert, Indramat 2; Indramat GmbH (1983), gez. S. 4.

200 Stück im Monat.¹⁵¹⁹ Das Siemens-Elektromotorenwerk in Bad Neustadt/Saale begann dagegen erst 1983 mit der Serienproduktion von Drehstromservomotoren, lieferte aber vier Jahre später, also im Geschäftsjahr 1987/1988, mit über 40.000 Drehstromservomotoren 1FT5 schon mehr Drehstrom- als Gleichstromservomotoren aus.¹⁵²⁰

Auch die Institute des produktionstechnischen Innovationssystems beschäftigten sich mit Antriebsthemen. Dies galt besonders für das ISW in Stuttgart, das in den 1970er Jahren für die Antriebstechnik der Werkzeugmaschinen eine eigene Forschungsgruppe hatte. Sie untersuchte hauptsächlich das statische und dynamische Verhalten von Lageregelkreisen und die Auswirkungen der mechanischen Übertragungsglieder auf die Regelung.¹⁵²¹

Für den VDW machte schon Anfang der 1970er Jahre das ISW „Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Gleichstrommaschinen als Vorschubantriebe für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen“, die deren prinzipielle Eignung bestätigten.¹⁵²² Dabei wies das ISW mit dem Prototyp eines Transistorumrichters nach, dass ein solcher Umrichter die Dynamik von Werkzeugmaschinenantrieben deutlich verbessert.¹⁵²³

Ab Ende der 1970er Jahre untersuchte das ISW dann zusammen mit dem Stuttgarter Institut für Leistungselektronik und Anlagentechnik, ob sich auch Antriebe mit den schwerer regelbaren, aber kostengünstigeren Asynchronmotoren für Werkzeugmaschinen eignen.¹⁵²⁴

Seine antriebstechnischen Forschungsergebnisse kommunizierte das ISW durch das ab 1972 regelmäßig abgehaltene Lageregelseminar¹⁵²⁵ und das in Zusammenarbeit mit Siemens entstandene praxisnahe Standardwerk „Elektrische Vorschubantriebe für Werkzeugmaschinen“¹⁵²⁶. Es bleibt aber festzuhalten, dass die Forschungsarbeiten über Antriebssysteme der Werkzeugmaschinen bei Weitem nicht den Umfang der Arbeiten über die Steuerungstechnik erreichten und hardwarenahe Entwicklungen für Antriebe am ISW die Ausnahme waren.

¹⁵¹⁹ Vgl. Privatarchiv Thomas Wissert, Indramat 3; Indramat GmbH (22.06.1983). Nach der Übersicht von Indramat stellte Siemens seine AC-Servos 1982 vor; die Serienproduktion begann aber erst 1983.

¹⁵²⁰ Vgl. Privatarchiv Thomas Wissert, Siemens 1; Kessler (02.01.2018 und 04.01.2018).

¹⁵²¹ Vgl. Universität Stuttgart / Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1976), S. 8–9.

¹⁵²² Die Untersuchungen kamen u. a. zu dem Ergebnis, dass Gleichstrom-Nebenschlussmotoren den hydraulischen Antrieben nicht nachstehen. Vgl. Stute (1971a), S. 99.

¹⁵²³ Vgl. Stute (1971b), S. 33–34. Zur Untersuchung gehören auch noch zwei ergänzende Hefte mit Kenndaten elektrischer Vorschubantriebe: Stute (1974b) und Stute (1974c).

¹⁵²⁴ Publiziert wurden die Untersuchungsergebnisse u. a. in Dissertationen von Würslin (1984) und Schwarz (1986). Wegen der schwierigen Regelung setzten sich Asynchronmotoren als Vorschubantriebe für Werkzeugmaschinen nicht durch. Sie sind heute aber Standard bei Hauptantrieben.

¹⁵²⁵ Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1972), S. 19.

¹⁵²⁶ Groß/Stute (1981).

Zusammengefasst hemmte durch ihre hohen Kosten die Antriebstechnik in den Anfangsjahren die Verbreitung der NC-Technik. Besonders davon betroffen waren NC-Maschinen mit Bahnsteuerungen, da in der Anfangsphase für geregelte Antriebe fast nur Hydraulikantriebe geeignet waren. Erst ab Mitte der 1960er Jahre gab es ausgehend von kleineren Leistungen kostengünstigere Alternativen durch elektrohydraulische Schrittmotoren und elektrische Servoantriebe mit thyristorgesteuerten Umrichtern. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraums setzten sich die kontinuierlich weiterentwickelten elektrischen Servoantriebe bis auf wenige Nischen durch. Entscheidend waren die Entwicklungen vom fremderregten Gleichstrom-Servomotor über den permanentmagnetregten Gleichstrom-Servomotor zum permanentmagnetregten Drehstrom-Servomotor auf der Motorseite und beim vom thyristorgesteuerten zum transistorgesteuerten Umrichter auf der Geräteseite. Von den westdeutschen Antriebsherstellern leistete im Untersuchungszeitraum Indramat bei der Markteinführung der permanentmagnetregten Gleichstrom- und Drehstrom-Servoantriebe wichtige Innovationsbeiträge, denen die anderen Anbieter mit einem zeitlichen Verzug folgten. Dass Indramat in den 1970er Jahren die innovativsten Antriebe für Werkzeugmaschinen in Westdeutschland entwickelte, kann darauf zurückgeführt werden, dass sich Indramat auf den Ersatz hydraulischer durch elektrische Servoantriebe konzentrieren musste, um seine Existenz zu sichern. Bei den großen Anbietern wie AEG, BBC und Siemens waren in dieser Zeit Antriebe für Werkzeugmaschinen bezogen auf ihr gesamtes Antriebsgeschäft mehr oder weniger ein Mitnahmegeschäft, für das nur ungern Entwicklungskapazitäten geopfert wurden. Erst als nach dem Untersuchungszeitraum elektrische Servoantriebe auch in vielen anderen Applikationen angewendet wurden und die Stückzahlen und Umsätze stiegen, erhöhten die großen Antriebshersteller deutlich ihre Entwicklungsanstrengungen für elektrische Servoantriebe.

Ähnlich sah es auch an den Hochschulen aus. Einen Lehrstuhl, der sich ausschließlich mit Servoantriebstechnik befasste, gab es nicht. Am intensivsten beschäftigte sich noch das ISW in Stuttgart mit Fragestellungen zu Werkzeugmaschinenantrieben, konzentrierte seine Untersuchungen aber hauptsächlich darauf, wie sich am Markt verfügbare Antriebe am besten in Werkzeugmaschinen integrieren und optimieren ließen. Entwicklungen zu Umrichtern waren die Ausnahme.

7.4.3 Lagemesssysteme für NC-Maschinen

NC-Maschinen benötigen zur Erfassung und Regelung der Achspositionen Lagemesssysteme. Die NC-Steuerung berechnet dann aus der Differenz zwischen der programmierten Sollposition und der Istposition unter Berücksichtigung der programmierten Verfahrgeschwindigkeit kontinuierlich den Drehzahlsollwert für den Antrieb.

Messsysteme sind ein Kernelement jeder NC-Maschine. Ihre Entwicklung ist bis heute

noch nicht abgeschlossen.¹⁵²⁷ Immer wieder wurden Details verbessert, gegenüber dem Stand Anfang der 1960er Jahre kamen aber keine grundlegend neuen Messverfahren mehr dazu. Die Messsysteme wurden aber durch verbesserte Fertigungsverfahren und eine leistungsfähigere elektronische Signalauswertung immer preiswerter, zuverlässiger und genauer. Da die Weiterentwicklung der verschiedenen Verfahren nicht im Gleichschritt erfolgte, verschoben sich die Marktanteile der einzelnen Verfahren immer wieder. Heute haben sich optische Messsysteme bei Werkzeugmaschinen weitgehend durchgesetzt.¹⁵²⁸

Die Positionserfassung einer NC-Achse kann prinzipiell auf zwei Arten erfolgen. Eine Methode ist, die Position absolut zu erfassen, d. h. das Messsystem kann über den ganzen Verfahrweg der Achse deren Position als absoluten Digital- oder Analogwert erfassen und an die Steuerung übertragen. Diese Methode ist technisch aufwendig und teuer, hat aber den Vorteil, dass die Steuerung auch nach einem Spannungsverlust die Achsposition kennt. Ein Messsystem mit diesen Eigenschaften wird als „absolutes Messsystem“ bezeichnet.

Die zweite Methode ist, den Verfahrweg einer Achse in viele kleine, gleich große „Weginkremente“ aufzuteilen. Beim Verfahren der Achse werden dann ausgehend von einem Startpunkt (Referenzpunkt¹⁵²⁹) die Weginkremente richtungsabhängig gezählt und die Position der Achse in der Steuerung elektronisch „nachgeführt“. Diese Methode hat den Vorteil, dass das Messsystem deutlich kostengünstiger ist, aber den Nachteil, dass durch Störungen Weginkremente falsch gezählt werden können.¹⁵³⁰ Die Steuerung rechnet dann mit einer falschen Istposition. Dies führt in günstigen Fällen „nur“ zu Fehlern am Werkstück, in ungünstigen aber zu einer Kollision. Diese Messvariante wird als inkrementales Messsystem bezeichnet.¹⁵³¹

Beide Messmethoden werden heute noch angewandt. Durch die technische Weiterentwicklung sind Zählfehler fast vollständig eliminiert, sodass heute überwiegend inkrementale Messsysteme eingesetzt werden. Dennoch haben die absoluten Messsysteme immer noch ihre Berechtigung. Sie werden immer dann verwendet, wenn das Referen-

¹⁵²⁷ Z. B. stellte Bosch Rexroth 2014 das neue hoch genaue Messsystem IMS-I vor, das sich durch eine hohe Schmutzunempfindlichkeit auszeichnet. O. V. (2014). Das Messsystem arbeitet magnetisch und lässt sich gut in Linearführungen integrieren.

¹⁵²⁸ Heidenhain schätzt, dass zwischen 2018 und 2021 etwa 80–90 % der an Werkzeugmaschinen eingesetzten Messsysteme auf optischen Verfahren basieren. Privatarhiv Thomas Wissert, Heidenhain 1; Braasch (01.06.2021).

¹⁵²⁹ Der Referenzpunkt einer NC-Maschine kann eine beliebige Achsposition sein und muss nicht mit dem Ursprung des Koordinatensystems übereinstimmen. Er wird typischerweise so gewählt, dass er nach einem Spannungsausfall oder nach dem Einschalten der Maschine möglichst einfach angefahren werden kann.

¹⁵³⁰ Weitere Nachteile sind, dass bei Spannungsverlust die Position verloren geht und Positionsänderungen nicht erfasst werden, wenn z. B. im ausgeschalteten Zustand Achsen bewegt werden. Bei diesen Messsystemen muss deshalb nach Spannungsverlust immer der Referenzpunkt angefahren werden. Dabei werden die Zähler auf einen definierten Anfangswert gesetzt.

¹⁵³¹ Vgl. Simon (1971), S. 42–44.

zieren zur Eichung des Messsystems nach einer Störung oder dem Aus- und Einschalten der Maschine nicht immer möglich oder schwierig ist.

Die wichtigsten Messsystemausführungen im Untersuchungszeitraum teilten sich in mehrere Varianten auf. Neben der Unterscheidung zwischen einem absoluten und inkrementalen Messsystem kamen auch unterschiedliche physikalische Prinzipien zur Anwendung. Außerdem wurde unterschieden, ob sich das Messsystem am Motor (indirektes Messsystem) oder möglichst nah am Werkstück (direktes Messsystem) befand um mechanische Ungenauigkeiten der Übertragungsstrecke möglichst auszuschließen.

Mit welchen Messsystemen die erste Versuchsmaschine am MIT in den USA ausgerüstet war, beschrieb Mitentwickler Reintjes etwas ungenau. Er erläuterte an einem Blockschaltbild, dass die Motorumdrehungen digitalisiert und rückgekoppelt wurden und dass Impulse je nach Drehrichtung ein Register herauf- oder herunterzählten. Das dahinterstehende physikalische Prinzip wurde von Reintjes nicht erläutert, die Beschreibung deutet aber auf ein inkrementales Messsystem hin.¹⁵³²

Etwa zehn Jahre später waren Messsysteme auf dem Markt, die auf verschiedenen physikalischen Prinzipien basierten.¹⁵³³ Unterschieden wurden analoge, induktive Verfahren¹⁵³⁴ (Inductosyn für die direkte, Drehmelder bzw. Resolver für die indirekte Wegmessung¹⁵³⁵), optische Verfahren (Abtasten von Strichmarkierungen), magnetische Verfahren (Abtasten strukturierter Magnetfelder)¹⁵³⁶ und einfache analoge Verfahren (z. B. Abgreifen einer positionsabhängigen Potentiometerspannung). Jedes Verfahren

¹⁵³² Vgl. Reintjes (1991), S. 55–57.

¹⁵³³ Einen guten Überblick über den Entwicklungsstand der Messsysteme für NC-Steuerungen Mitte der 1960er Jahre gibt es z. B. im Kapitel 4.7 von Kohring (1966), S. 91–113. Simon beschreibt ausführlich den Stand Anfang der 1970er Jahre. Er widmet den verschiedenen Varianten und Ausführungen der Messsysteme in seinem Buch 111 Seiten. Vgl. Simon (1971), S. 39–150.

¹⁵³⁴ Die induktiven Verfahren geben über eine Messperiode eine Sinus- bzw. Cosinusspannung aus. Höhe und Vorzeichen der Spannung sind ein Maß für die Position innerhalb der Messperiode. Je nach Ausführung und benötigter Genauigkeit konnte eine Messperiode einer Wegstrecke zwischen einem Millimeter und mehreren Metern entsprechen.

¹⁵³⁵ Unter einem Drehmelder bzw. Resolver wird die rotatorische Variante eines induktiven Messsystems verstanden, die sich typischerweise am oder im Motor befindet (indirekte Messung). Resolver und Drehmelder unterscheiden sich bezüglich der Anzahl der Sekundärwicklungen (Resolver zwei, Drehmelder drei). Die lineare, abgewinkelte Variante zur direkten Erfassung der Achspositionen ist unter dem Namen Inductosyn bekannt, ein Handelsname der US-Firma Farrand von 1960. Vgl. Hesse/Schnell (2008), S. 273. Der Drehmelder (Resolver) ist wegen seiner geringen Auflösung (damit ist die Anzahl der aus dem Analogwert gewinnbaren Impulse pro Umdrehung gemeint) relativ ungenau im Vergleich zu den optischen Systemen. Er hat aber den Vorteil, ohne Elektronik im Geber auszukommen. Dies prädestiniert ihn für Anwendungen unter ungünstigen Umgebungsbedingungen (z. B. hohe Temperaturen) am Messpunkt.

¹⁵³⁶ Magnetische Verfahren spielten lange Zeit bei Werkzeugmaschinen eine geringe Rolle. Aktuell ist bei ihnen jedoch eine Zunahme zu beobachten, da sich ihre Auflösung in den letzten Jahren deutlich verbessert hat. Vgl. hierzu auch das neue Messsystem von Bosch Rexroth. O. V. (2014).

hatte Vor- und Nachteile bezüglich Robustheit (Verschleiß, Störuneempfindlichkeit) und Kosten.¹⁵³⁷

Zu den optischen Verfahren leistete Heidenhain¹⁵³⁸ aus Traunreut (vgl. hierzu auch Kapitel 4.11.4) wichtige Beiträge und ist heute in Deutschland Marktführer für Wegmesssysteme bei NC-Maschinen.¹⁵³⁹ Heidenhain stellte 1957 (Serienlieferung ab 1961) sein erstes photoelektrisches rotatorisches Messsystem (Winkelmesssystem) ROD 1 mit 10.000 Strichen/Umdrehung vor. Das erste direkte Längenmesssystem nach dem gleichen Prinzip folgte 1961. Im Rückblick brachte das 1966 vorgestellte Längenmesssystem LIDA 6 den Durchbruch für die direkten optischen Messsysteme, denn es löste durch seine Kapselung das Verschmutzungsproblem.¹⁵⁴⁰ Das LIDA 6 war der Wegbereiter für den Siegeszug der optischen Heidenhain-Längenmesssysteme an Werkzeugmaschinen, auch wenn bis zur breiten Anwendung noch mehrere Jahre vergingen.¹⁵⁴¹

Siemens stand wegen möglicher Zählfehler inkrementalen Wegmesssystemen lange skeptisch gegenüber und zog absolute Messsysteme auf induktiver Basis vor (Inductosyn¹⁵⁴² bzw. Drehmelder).¹⁵⁴³ So experimentierte Siemens Anfang der 1960er Jahre mit einem Dreifach-Inductosyn als direktem Messsystem, das für jede Zehnerpotenz eine eigene Spur hatte. In der Praxis funktionierte diese Lösung damals nicht gut, da die mechanische Justierung an der Maschine zu kompliziert und instabil war.¹⁵⁴⁴ Ausgelieferte Maschinen wurden deshalb nachträglich auf eine elektrisch kompatible Kombination aus Dreifachdrehmelder mit Messgetriebe umgebaut.¹⁵⁴⁵ Aus dieser Problematik entstand dann die Variante, hochgenaue Maschinen mit einem Inductosyn für die Fein-

¹⁵³⁷ Eine tabellarische Übersicht über den Stand der verschiedenen Verfahren um 1970 veröffentlichte Simon. Vgl. Simon (1971), S. 50.

¹⁵³⁸ Heidenhain wurde 1889 in Berlin als Metallätzerei gegründet und siedelte 1948 nach Traunreut in Bayern um. Dort erfand 1950 Heidenhain das Diadur-Verfahren, das die Grundlage für die Herstellung von Präzisionsteilungen auf Maßstäben wurde. Vgl. Dr. Johannes Heidenhain GmbH (1998), S. 9, 25 und 51.

¹⁵³⁹ Eine ausführliche prinzipielle Funktionsbeschreibung der digitalen (optisch/magnetisch) Messsysteme findet sich bei Simon. Vgl. Simon (1971), S. 47–100.

¹⁵⁴⁰ Das Inductosyn hatte als induktives Messsystem prinzipbedingt kein Verschmutzungsproblem.

¹⁵⁴¹ Vgl. Dr. Johannes Heidenhain GmbH (1998), S. 43.

¹⁵⁴² Da Siemens vom Prinzip des Inductosyns überzeugt war, schlossen im April 1960 Siemens und Farrand einen Lizenzvertrag, nach dem Siemens das Längenmesssystem von Farrand (Inductosyn) anbieten durfte. Vgl. Privataarchiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 5 und 7.

¹⁵⁴³ Vgl. Simon (1971), S. 104–118.

¹⁵⁴⁴ Mit zunehmender Erfahrung wurden die Probleme beherrschbar, wenn die Maschine entsprechend vorbereitet war (z. B. geschliffene Auflageflächen bei einer von BBC-Mannheim ausgerüsteten Maschine). Vgl. Simon (1966), S. 234–235.

¹⁵⁴⁵ Vgl. Brömer u. a. (25.05.2015), S. 12. Bei den Systemen mit mehreren Inductosynen bzw. über Messgetriebe gekoppelten Drehmeldern wurde geschwindigkeitsabhängig zwischen den Messsystemen umgeschaltet. Bei hohen Geschwindigkeiten wurde das grob auflösende Messsystem verwendet, bei niedrigen das fein auflösende. Das grob auflösende Messsystem deckte den ganzen Verfahrbereich einer Achse absolut ab. Die Variante mit mehreren über Messgetriebe gekoppelten Drehmeldern wurde mehrere Jahre angeboten. Vgl. Basilowski/Wiehn (1967), S. 731.

positionierung und mit einem über Messgetriebe angekoppelten Zweifachdrehmelder für die Grobpositionierung auszurüsten.¹⁵⁴⁶

Zusätzlich bot Siemens spätestens ab 1964 mit Einführung des Markennamens Sinumerik auch Schnittstellen zu digitalen, inkrementalen Messsystemen an,¹⁵⁴⁷ favorisierte aber weiter den Drehmelder bzw. das Inductosyn.¹⁵⁴⁸ Da alle Messsystemvarianten teuer waren, wurden ab 1965 einige Steuerungen alternativ mit einer Schnittstelle für Antriebe mit (elektrohydraulischen) Schrittmotoren angeboten, da bei diesem Antriebskonzept auf die Messsysteme verzichtet werden konnte (vgl. Kapitel 7.4.2).

In einer Veröffentlichung über das Sinumerik System 500 erwähnte Siemens erstmals die Variante eines zyklisch-absoluten Lagemessgebers mit Drehmelder/Inductosyn, vermutlich, weil die Elektronik zuverlässiger geworden war. Bei dieser Variante wurde auf die Messgetriebe und Drehmelder für die höheren Geschwindigkeiten verzichtet. Diese wurden durch eine richtungsabhängige Aufsummierung der abgefahrenen Perioden des feinauflösenden Inductosyns oder Drehmolders als „Grobimpuls“ ersetzt, d. h. nur innerhalb einer Messperiode war das Messsystem noch absolut. Als weitere mögliche Variante wurde für diese Steuerung ein digital-inkrementaler Wegmessgeber (also typischerweise ein optischer) genannt, allerdings ohne dass hierauf näher eingegangen wurde.¹⁵⁴⁹

1965 untersuchte Viersma den aktuellen Stand der Messsysteme. Viersma sah einen Trend zu den optischen Systemen, die damals von Heidenhain, Zeiss und Leitz angeboten wurden, wies aber auch auf das Verschmutzungsproblem bei den direkten Messsystemen hin.¹⁵⁵⁰ Tabellarisch gab er einen Überblick über die auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1963 an den NC-Maschinen verwendeten Messsysteme. Danach

¹⁵⁴⁶ Bei höheren Genauigkeitsanforderungen wurde der Drehmelder für die niedrigste Dekade durch einen an der Maschine direkt montierten Inductosyn-Maßstab ersetzt (direktes Messsystem). Vgl. Eberle/Waibel (1964), S. 669.

¹⁵⁴⁷ Bis zum Ende des Untersuchungszeitraums benötigten die NC-Steuerungen für jedes Messsystem eine spezielle Schnittstellenbaugruppe. Die Hersteller beschränkten sich deshalb auf eine bestimmte Anzahl von unterstützten Messsystemen.

¹⁵⁴⁸ Vgl. Geyer/Waller (1964), S. 664. Daran änderte sich lange nichts, denn Siemens favorisierte das Inductosyn bzw. den Drehmelder noch nach dem Untersuchungszeitraum. So hatte die 1979 vorgestellte Sinumerik 8 noch Schnittstellen zum Inductosyn. Vgl. Siemens AG (1988), S. 3. Röhrle war noch 1981 von den Vorteilen dieses Messsystems überzeugt: „Als Meßmittel werden der Drehmelder und induktive Längenmeßsysteme seit den Anfängen der NC-Technik eingesetzt. Seit einigen Jahren verwendet man teilweise auch optische Meßsysteme, z. B. Pulscoder oder optische Längenmaßstäbe, da sich der Schaltungsaufwand für die Meßsignalverarbeitung hier wesentlich vereinfacht. Die immer höher werdenden Anforderungen bezüglich Zuverlässigkeit und Lebensdauer sowie auch die Forderung nach Drehzahlen der Antriebe bis 10000 min⁻¹ rechtfertigen jedoch wegen des robusten Aufbaus des schleifringlosen Drehmolders weiterhin dessen Einsatz.“ Vgl. Röhrle (1981), S. 262.

¹⁵⁴⁹ Vgl. Baisch u. a. (1970), S. 3. Drei Jahre später erschien in der Siemens-Zeitschrift ein Artikel, in dem sich Siemens immer noch zu den zyklisch absoluten Messsystemen mit Drehmeldern oder Inductosyns bekannte und die digitalen optischen Messsysteme ablehnte. Vgl. Appt u. a. (1973).

¹⁵⁵⁰ Vgl. Viersma (1965), S. 104–105.

hatte die Mehrzahl der Maschinen schon optische Messsysteme in unterschiedlichen Ausführungen, eine starke Minderheit verwendete Drehmelder und Inductosyn, darunter Maschinen mit Siemens-Steuerungen.¹⁵⁵¹

Abschließend stellt sich noch die Frage, inwieweit die westdeutschen Hochschulen in die Entwicklung der Messsysteme eingebunden wurden. Abgesehen von der Habilitation Simons¹⁵⁵² und der Promotion von Politsch¹⁵⁵³ Anfang der 1960er Jahre in Darmstadt fanden die Forschungen und Weiterentwicklungen zu Messsystemen allem Anschein nach fast ausschließlich in der Industrie statt. Das könnte daran gelegen haben, dass die benötigten hoch präzisen Fertigungsanlagen für Hochschulen zu teuer waren. Auch auf den Kolloquien wurden – soweit durchgesehen – keine speziellen Vorträge zu Messsystemen gehalten.

Zusammengefasst war die Suche nach zuverlässigen und preiswerten Wegmesssystemen ein wichtiges Detail bei der Einführung der NC-Technik, lief jedoch weitgehend ohne große Beteiligung der Hochschulen ab. In den 1960er Jahren kristallisierten sich die optischen Messsysteme langsam als die optimale Messsystem-Technologie für die meisten NC-Werkzeugmaschinen heraus. Zuerst für rotatorische Geber und ab Mitte der 1960er Jahre auch für die direkten Messsysteme, als sich Lösungen für das Verschmutzungsproblem abzeichneten. Heute haben sie bei NC-Maschinen einen Marktanteil zwischen 80 und 90 %. Als einer der wenigen Hersteller unterstützte Siemens bis in die 1980er Jahre noch die induktiven Messsysteme, da sie für besonders zuverlässig gehalten wurden. Durch neue technische Entwicklungen ist zurzeit wieder eine leichte Zunahme bei den magnetischen und induktiven Messsystemen zu beobachten. Im Unterschied zum Untersuchungszeitraum müssen dafür die Schnittstellen der numerischen Steuerungen nicht mehr angepasst werden. Die notwendigen Anpassungen sind durch die Fortschritte der Elektronik messsystemseitig möglich.

7.5 Werkzeugüberwachung

Werkzeuge verschleßen während der Bearbeitung. Bei bekannten Werkstücken in der Serienfertigung, wie z. B. mit Automaten, konnte der Werkzeugverschleiß gut abgeschätzt werden. Es genügte, die Werkzeuge nach einer empirisch festgelegten Anzahl gefertigter Werkstücke auszutauschen (Stückzahlüberwachung), um die geforderten Toleranzen einzuhalten. Trotzdem konnte es z. B. bei Werkzeugbruch durch einen Materialfehler zu Kollisionen und Maschinenschäden kommen. Insgesamt waren die Probleme aber beherrschbar.

¹⁵⁵¹ Vgl. Viersma (1965), S. 107–109.

¹⁵⁵² Simon (1960b).

¹⁵⁵³ Politsch (1961b).

Bei NC-Maschinen war die Situation aber vollkommen anders. Durch höhere Schnittgeschwindigkeiten veränderte sich die Belastung der Werkzeuge in Bereiche, für die noch keine Erfahrungswerte vorlagen. Außerdem wurden mit NC-Maschinen oft unterschiedliche Teile in kleinen, wechselnden Stückzahlen bearbeitet, sodass es schwierig war, den Werkzeugverschleiß abzuschätzen. Um Folgeschäden durch nicht mehr ganz intakte Werkzeuge möglichst zu vermeiden, wurden diese sicherheitshalber öfter als erforderlich ausgewechselt, was die Kosten erhöhte. Es gab deshalb schon in den 1970er Jahren Überlegungen, wie das Problem der Werkzeugüberwachung gelöst werden könnte. Zusätzlicher Druck, eine Lösung zu finden, entstand durch die ab Anfang der 1970er Jahre aufkommenden flexiblen Fertigungssysteme (vgl. Kapitel 7.7.2), bei denen die menschliche Überwachung zu bestimmten Zeiten reduziert war.

Eine der ersten Alternativen zur „Stückzahlüberwachung“ war die „Standzeitüberwachung“, bei der die Bearbeitungszeit jedes Werkzeugs in der NC-Steuerung aufsummiert wurde. Bei Überschreiten eines festgelegten werkzeugspezifischen Grenzwerts wurde beim nächsten Einwechseln ein Ersatzwerkzeug eingewechselt. Das Konzept wurde schon in den 1970er Jahren diskutiert, erste Anwendungen in der industriellen Anwendung ließen jedoch bis Anfang der 1980er Jahre auf sich warten.¹⁵⁵⁴

Auch wenn mit der Standzeitüberwachung bei einem wechselnden Teilemix die Werkzeuge besser ausgenutzt werden konnten als mit der Stückzahlüberwachung, hatte auch diese Methode Nachteile. Zum einen waren die Erfassung der Standzeit und die Aufsummierung der Werkzeugeingriffszeit für ein bestimmtes Werkzeug beim damaligen Stand der Technik nicht einfach (z. B. bei unterbrochenen Schnitten) und zum anderen berücksichtigte die Standzeitüberwachung nicht die Bearbeitungsart, sodass auch die Standzeitüberwachung unpräzise war. Auch bei der Standzeitüberwachung mussten die Werkzeuge sicherheitshalber zu früh ausgetauscht werden.

In den USA beschäftigten sich die Entwickler schon in den 1960er Jahren mit dem Werkzeugverschleiß an NC-Maschinen aus einem anderen Blickwinkel. Ausgangspunkt ihrer Überlegungen war, dass der Zerspanungsvorgang normalerweise nicht optimal abläuft, weil sich die Bearbeitungsparameter durch Werkzeugverschleiß oder unterschiedliche Härte des Werkstücks ständig ändern. Ihre Idee war deshalb, diese Schwankungen mit Sensoren zu erfassen und auszuregeln, wofür der Begriff Adaptive Control (AC) geprägt wurde.

¹⁵⁵⁴ In einem Aufsatz in der Siemens-Zeitschrift im Mai 1970 schlugen Geyer und Waller vor, die Erfassung der Werkzeugstandzeiten mit einem Prozessrechner zu machen. Vgl. Geyer/Waller (1970), S. 275. Der Verfasser selbst hat Anfang der 1980er Jahre an Software-Bausteinen für die Anpasssteuerung mitgewirkt, um eine Standzeitüberwachung direkt an der Werkzeugmaschine durchzuführen. Eine konkrete Umsetzung mit Strategien zum automatischen Einwechseln von Ersatzwerkzeugen ist in der Veröffentlichung von Mattheis und Wissert beschrieben. Vgl. Mattheis/Wissert (1983), S. 652–653.

In einem 1967 erstellten Forschungsbericht für den VDW beschrieb Stute die Aufgabenstellung für AC wie folgt:

Die Aufgabe einer „adaptive control“-Einrichtung an einer Werkzeugmaschine ist es, einen Bearbeitungsvorgang so zu steuern bzw. zu regeln, daß er trotz nicht optimaler Einstellung der Eingangsgrößen des Bearbeitungsprozesses und trotz nicht vorher einkalkulierbarer Änderungen sonstiger Einflußgrößen, z. B. Werkzeugverschleiß, immer auf bestmögliche Weise, d. h. optimal abläuft. Das bedeutet also nicht nur, daß irgendwelche Störgrößen (Werkzeugverschleiß, harte Stellen im Werkstückmaterial etc.) ausgeregelt werden, um einen konstanten Ablauf des Bearbeitungsvorgangs zu erreichen, sondern auch, daß ein Optimalwert der Bearbeitungsleistung aufgesucht wird. Dieses aufzusuchende Optimum liegt nicht ständig fest, sondern kann sich im Laufe der Bearbeitung verschieben.¹⁵⁵⁵

Nach Stute sollte die Praxistauglichkeit der Idee ursprünglich schon ab 1962 im Rahmen eines zweijährigen Entwicklungs- und Forschungsvertrags zwischen der US Air Force und dem amerikanischen Steuerungshersteller Bendix Corporation durch Zerspanungsversuche an hochfesten Legierungen bestätigt werden. Obwohl nach Stute die Ergebnisse vielversprechend waren und Produktivitätssteigerungen von bis zu 50 % erreicht wurden, waren zum Zeitpunkt des Forschungsberichts aber noch keine kommerziellen Maschinen mit dieser Technologie verfügbar.¹⁵⁵⁶

Ob der von Stute erstellte Forschungsbericht der konkrete Anlass für vergleichbare Forschungen in der Bundesrepublik Deutschland war, lässt sich nicht mehr feststellen. Tatsache ist aber, dass AC von den Universitätsinstituten in Berlin, Aachen und Stuttgart aufgegriffen und mehrere geförderte Forschungsprojekte begonnen wurden (vgl. hierzu auch die Kapitel 4.9.1 und 4.9.5); erste Forschungsergebnisse wurden schon auf dem FTK 1970¹⁵⁵⁷ und dem AWK 1971 vorgestellt.¹⁵⁵⁸ Die Forschungen am Institut von Spur in Berlin erfolgten teilweise in enger Zusammenarbeit mit den Gebr. Boehringer in Göppingen (vgl. Kapitel 5.1) und waren Thema der Dissertation von Pritschow, dem späteren Leiter des ISW an der Universität Stuttgart.¹⁵⁵⁹

Leider stellte sich das gewünschte Ergebnis nicht ein; es wurde keine wirklich industrietaugliche Lösung gefunden. Vitr und Weck schrieben rückblickend 2006:

Wenn auch die Idee richtig war, so scheiterte der AC-Gedanke jedoch an der technischen Umsetzbarkeit. Sensorik und steuerungstechnische Realisierung stießen auf unüberwind-

¹⁵⁵⁵ Stute (1967), S. 4.

¹⁵⁵⁶ Vgl. Stute (1967), S. 10, 11 und 17.

¹⁵⁵⁷ Spur/Pritschow (1971).

¹⁵⁵⁸ Ledergerber (1971).

¹⁵⁵⁹ Pritschow (1972).

bare Schwierigkeiten. Mittlerweile sind diese Schwierigkeiten beseitigt, sodass viele der damals gemachten Überlegungen heute erst ihre Verwirklichung finden.¹⁵⁶⁰

Auch wenn AC wegen technischer Schwierigkeiten in den 1970er Jahren nicht den Weg in die breitere industrielle Praxis fand, so waren die dabei gewonnenen Erkenntnisse wichtig und führten zu industriell umsetzbaren Konzepten für eine Werkzeugüberwachung, von denen Kluft in seiner Dissertation über „Werkzeugüberwachungssysteme für die Drehbearbeitung“¹⁵⁶¹ einige beschrieb.

Die Grundidee war, beim ersten Werkstück einer Serie mit neuwertigen Werkzeugen wichtige Bearbeitungsparameter (z. B. Schnittkraft und Drehmoment) mit Sensoren kontinuierlich zu messen und aufzuzeichnen. Bei den Wiederholungsteilen wurden die aktuellen Messwerte mit den Referenzwerten verglichen und bei größeren Abweichungen das Werkzeug als verschlissen markiert. Bei der nächsten Bearbeitung mit diesem Werkzeug wurde ein Ersatzwerkzeug eingewechselt; bei plötzlich auftretenden extremen Abweichungen, die z. B. einen Werkzeugbruch vermuten ließen, wurde die Maschine angehalten und das Bedienungspersonal informiert, um die Maschine zu überprüfen. Mit zunehmender Erfahrung wurden die Systeme nach und nach perfektioniert und so intelligent, dass sie auch bei Kleinserien eingesetzt werden konnten.

Anzumerken ist noch, dass Klufts Dissertation von 1984 zur Gründung der heute noch existierenden Firma Prometec führte, die ein Bruch- und Verschleißüberwachungssystem für Drehwerkzeuge entwickelte und auf dem Markt anbot.¹⁵⁶² Im Laufe der Jahre wurden weitere Firmen gegründet, die ähnliche Systeme zur Werkzeugüberwachung anboten. Genannt seien beispielhaft die Firmen Artis und Nordmann.¹⁵⁶³ Aus der vom produktionstechnischen Innovationssystem mit viel Aufwand betriebenen AC-Forschung entstand durch die nach und nach in die Fertigung eingeführten Werkzeugüberwachungssysteme doch noch ein praktischer Nutzen nach dem Untersuchungszeitraum. Für weniger anspruchsvolle Anwendungen werden auch heute noch steuerungsintegrierte Standzeit- und Stückzahlüberwachungssysteme eingesetzt.

7.6 Programmiersysteme

Die Programmierung der NC-Steuerungen war anfangs der Schwachpunkt der NC-Technologie, da sie sehr aufwendig war. Das MIT begann deshalb schon in der ersten Hälfte der 1950er Jahre mit der Entwicklung einer Programmiersprache. Dies gelang erst nach mehreren Fehlschlägen mit der Programmiersprache APT (vgl. Kapitel 3.4).

¹⁵⁶⁰ Vittr/Weck (2006), S. 329–330.

¹⁵⁶¹ Kluft (1983).

¹⁵⁶² Vgl. Kompe (2006a), S. 126.

¹⁵⁶³ Auch Nordmann (1990) vermarktete seine Dissertation in einer eigenen Firma.

Damit APT in der Breite eingesetzt werden konnte, war eine möglichst standardisierte Schnittstelle zu den NC-Steuerungen nötig. Diese bestand aus zwei Komponenten: der Physik des Datenträgers und der Kodierung der Daten.

Bei der physikalischen Schnittstelle setzte sich schnell der Lochstreifen durch, da er trotz seiner Nachteile in der Werkstatt am einfachsten zu handhaben war.¹⁵⁶⁴ Nur über die konkrete Ausführung, d. h. ob ein Lochstreifen mit fünf oder acht Spuren (Bits) der richtige ist (vgl. Kapitel 4.12), gab es in der Bundesrepublik Deutschland wegen der weitverbreiteten Fernschreiber Diskussionen. Letztlich setzte sich der Lochstreifen mit acht Spuren wegen des größeren Zeichenvorrats durch.¹⁵⁶⁵

Die Festlegung einer einheitlichen Programmkodierung auf dem Lochstreifen, der sogenannte G-Code, benötigte mehrere Normungsschritte. Er trat erst 1972 in Kraft, ist aber noch heute in fast allen NC-Steuerungen als Basisprogrammiersprache nach DIN 66025 bzw. ISO 6983 implementiert (vgl. Kapitel 4.12).

Die in den USA entwickelte Programmiersprache APT beschränkte sich darauf, die Geometrie des Werkstücks im NC-Programm zu hinterlegen. Die technologischen Werte, wie z. B. den korrekten Vorschub und die Spindeldrehzahl, mussten nachträglich in die Programme eingepflegt werden, was sehr aufwendig sein konnte. Um diese Problematik abzumildern, wurde in Westdeutschland Mitte der 1960er Jahre nach einer Initiative der produktionstechnischen Hochschulinstitute und der ADB damit begonnen, die Programmiersprache EXAPT zu entwickeln. Sie stand Ende der 1960er Jahre in ersten Ausprägungen zur Verfügung, fand aber erst in den 1970er Jahren eine größere Verbreitung, als die Software eine gewisse Reife hatte und die erforderlichen Großrechner in ausreichender Zahl verfügbar waren (vgl. Kapitel 4.13).

Mit dem G-Code konnten auch ohne Rechner einfache Programme manuell erstellt werden. Dazu musste der Programmierer das NC-Programm im G-Code strukturiert niederschreiben und dann selbst oder mithilfe einer Datentypistin z. B. an einem Fernschreiber den Lochstreifen erzeugen. Da sich kleinere Firmen keine Großrechner leisten konnten, gab es ab Mitte der 1960er Jahre Überlegungen, die manuelle Programmierung durch die aufkommenden Kleinrechner¹⁵⁶⁶ zu erleichtern. Aus diesen Überlegungen heraus entstanden dann Programmierplätze wie der Autoprogrammer von Boehringer, die vom Markt sehr gut aufgenommen wurden (vgl. Kapitel 4.13 und 5.1).

¹⁵⁶⁴ Ein Nachteil des Lochstreifens war, dass er bei häufiger Nutzung verschliss und im Vergleich zum Magnetband eine geringe Datendichte hatte. Sein Vorteil war, dass er robust und im Vergleich zum Magnetband unempfindlich war. Profis konnten sogar den Programmcode des Lochstreifens direkt ablesen.

¹⁵⁶⁵ Einen guten Überblick über den Diskussionsstand in der Bundesrepublik Deutschland um 1963 gibt ein Aufsatz von Opferkuch. Vgl. Opferkuch (1963), S. 357–366.

¹⁵⁶⁶ In einer der ersten Veröffentlichung gab Kasischke an, dass der Autoprogrammer als Hardware den Olivetti-Rechner „Programma 101“ verwendete. Vgl. Kasischke (1967), S. 531. Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 25.

Etwa acht Jahre nach der Vorstellung des Autoprogrammers begann der Siegeszug der CNC-Steuerungen, die die NC-Hardwaresteuerungen ablösten. Plötzlich standen mit der CNC-Steuerung maschinennahe Rechner und Speicher zur Verfügung, die zumindest theoretisch auch für die Programmierung an der Maschine genutzt werden konnten. Die Chance wurde schnell genutzt. So stellte z. B. Siemens 1976 die CNC-Steuerung Sinumerik System 7 vor und ergänzte sie ein Jahr später durch die Sprint-Variante. Bei dieser konnten die Geometriedaten aus nicht zu komplexen Zeichnungen direkt in ein NC-Programm übernommen werden. Die Steuerung konnte mit speziellen Befehlen, z. B. aus den Winkelangaben, die Schnittpunkte von Geraden berechnen.¹⁵⁶⁷ Dieses Konzept, zusammen mit ähnlichen Ansätzen der Mitbewerber, führte mittelfristig zu einer neuen Generation von NC-Steuerungen, den sogenannten Handeingabesteuerungen für die Werkstattprogrammierung (vgl. Kapitel 4.13), über deren Nutzen bald heftig diskutiert wurde. Das Für und Wider gegenüber Handeingabesteuerungen entfachte nach Kief einen „Glaubenskrieg“,¹⁵⁶⁸ der aber erst nach dem Untersuchungszeitraum richtig begann. Im Kern ging es darum, ob es sinnvoll ist, eine teure Maschine als „Programmierplatz“ zu benutzen.

Trotz des heftigen Gegenwindes setzte sich die Werkstattprogrammierung als eine weitere Programmiervariante durch, nicht zuletzt, weil sie z. B. auch für Programmänderungen beim Einfahren von NC-Programmen hilfreich war. Sie hatte also auch dann einen Nutzen, wenn das NC-Programm beim Einfahren an der Maschine nur korrigiert wurde. Wie schon am Ende von Kapitel 4.13 erläutert, bekam sie immer mehr Zuspruch. Nach einer Untersuchung des ISF wurde sie 1986/1987 schon in 72 % der untersuchten Betriebe angewandt.¹⁵⁶⁹

Der Vollständigkeit halber muss noch erwähnt werden, dass die Werkstattprogrammierung für Europa und speziell für die Bundesrepublik Deutschland ein nicht zu unterschätzender Wettbewerbsvorteil war und zur Akzeptanz der NC-Technologie einen wichtigen Beitrag leistete. So war etwa der Messsystemanbieter Heidenhain erst 1976 als Steuerungshersteller in den Markt eingetreten,¹⁵⁷⁰ hatte jedoch mit seiner innovativen „Klartextprogrammierung“¹⁵⁷¹ für Fräsmaschinen sehr schnell große Beachtung erlangt. Heute ist Heidenhain einer der führenden deutschen NC-Hersteller und stück-

¹⁵⁶⁷ Vgl. o. V. (1977a) und vgl. Schröder (1995), S. 219.

¹⁵⁶⁸ Vgl. Kief u. a. (2020), S. 38.

¹⁵⁶⁹ Vgl. Nuber/Schultz-Wild (1990), S. 172.

¹⁵⁷⁰ 1976 stellte Heidenhain mit der TNC 110 seine erste Streckensteuerung mit einem Programmspeicher vor. Die erste Bahnsteuerung TNC 145 folgte 1981. Vgl. o. V. (1996b), S. 2.

¹⁵⁷¹ Der Begriff Klartextprogrammierung wurde von Heidenhain zusammen mit der Vorstellung der beiden Steuerungen TNC131/135 auf der internationalen Werkzeugmaschinenausstellung 1979 in Mailand (EMO 1979) geprägt. Mit dem Begriff „Klartextprogrammierung“ wollte Heidenhain ausdrücken, dass für den Maschinenbediener die G-Programmierung durch leichter verständliche Begriffe ersetzt wurde. Vgl. O. V. (1996b), S. 2.

zahlmäßig Marktführer bei NC-Steuerungen für kleinere Fräsmaschinen in Deutschland (vgl. Kapitel 4.11.4.).

Der Weg zur Handeingabesteuerung/Werkstattprogrammierung wurde in Westdeutschland von vielen Akteuren beeinflusst. Auch Hirsch-Kreinsen beschrieb ausführlich diesen Weg. Nach ihm war die westdeutsche NC-Entwicklung mehr durch Praxisnähe und – im Gegensatz zu den USA – weniger durch komplexe Automatisierung gekennzeichnet. Zur Praxisnähe gehörte für Hirsch-Kreinsen auch das Konzept der Handeingabesteuerung, das mehr den Interessen der Anwender entsprach. Seine Ausführungen können auch so verstanden werden, dass die mangelnde Anwendernähe der NC-Steuerungen in den USA ein wichtiger Grund für den ab Mitte der 1980er Jahre einsetzenden Niedergang der US-Werkzeugmaschinenindustrie gewesen sein könnte.¹⁵⁷²

Am Ende des Untersuchungszeitraums begann die CAD/CAM-Technologie das Labor zu verlassen und in die industrielle Praxis außerhalb des Flugzeugbaus vorzudringen. Auch das hatte Einfluss auf die NC-Programmierung, wie am Beispiel Daimler (vgl. Kapitel 6.1) schon kurz angesprochen wurde.

Nach Vajna u. a. wurde der Begriff CAD schon 1956 auf einem Vortrag auf der „Western Joint Conference“ der AFIPS¹⁵⁷³ in San Francisco von Ross (damals Leiter der APT-Entwicklung) geprägt und das „rechnergestützte Konstruieren und Entwerfen“ in die Diskussion eingeführt.¹⁵⁷⁴

Die Grundidee von CAD/CAM war, komplexe Teile computergestützt zu konstruieren (CAD) und die Konstruktionsdaten auch für die (NC-)Programmierung und die (NC-)Fertigung zu verwenden (CAM).

Ein 1960 von Ross verfasstes Memorandum zu CAD¹⁵⁷⁵ brachte in den USA eigenständige Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Gang, die noch in den 1960er Jahren zum ersten praktischen CAD-Einsatz führten. Ein wichtiger erster Meilenstein war 1963 die Vorstellung der Software „Sketchpad“ durch Sutherland, mit der erstmals ein grafischer Bildschirm in Verbindung mit einem Lichtgriffel interaktiv genutzt werden konnte.¹⁵⁷⁶

¹⁵⁷² Vgl. Hirsch-Kreinsen (1993), S. 134–138.

¹⁵⁷³ American Federation of Information Processing Societies.

¹⁵⁷⁴ Vgl. Vajna u. a. (1994), S. 2. Vajna nennt hierzu als Beleg den Vortrag von Ross „Gestalt Programming: A New Concept in Automatic Programming auf der Western Joint Computer Conference Anfang Februar 1956. Ross (1956). Der Vortrag von Ross benannte wesentliche Elemente von dem, was wir heute unter CAD verstehen, allerdings ohne den Begriff CAD zu verwenden. Bechmann und Vahrenkamp formulieren es vorsichtiger. Sie beziehen sich auf ein Gespräch mit Spur, der sagte, der Begriff CAD sei von Ross zwischen 1957 und 1959 am MIT bei den Arbeiten am Programmiersystem APT geprägt worden. Vgl. Bechmann u. a. (1979), S. 20. Opitz u. a. schrieb etwas unpräziser, dass die Entwicklung von grafischen Datenverarbeitungssystemen mit angeschlossenen Bildschirmeinheiten schon Anfang der 1950er Jahre in den USA unter dem Begriff CAD begann. Vgl. Opitz u. a. (1971), S. 7.

¹⁵⁷⁵ Ross (1960).

¹⁵⁷⁶ Sutherland (1963).

In den Folgejahren wurden dann für den Hochtechnologiebereich des Flugzeugbaus die ersten kommerziellen Systeme entwickelt. Deren Namen wie Unigraphics (McDonnell Douglas USA) oder CATIA¹⁵⁷⁷ (Dassault Frankreich) waren lange in Fachkreisen die Synonyme für führende CAD/CAM-Systeme.¹⁵⁷⁸ Da die CAD/CAM Systeme leistungsfähige Großrechner verlangten, wurden sie fast nur im Flugzeugbau eingesetzt.

Allerdings dauerte es sehr lange, bis aus CAD-Daten auch NC-Programme erzeugt werden konnten. 1975 gelang es Alan Grayer von der CAD-Gruppe der Universität Cambridge in England erstmals, aus einem 3-D-Teilemodell ein NC-Programm für eine 2½-D-Fräsmaschine zu erzeugen.¹⁵⁷⁹

Ende der 1970er Jahre waren die ersten CAD/CAM-Systeme für den Einsatz in kleineren und mittleren Unternehmen geeignet.¹⁵⁸⁰ Daimler-Benz setzte ab 1980 das CAD/CAM System DUCT¹⁵⁸¹ ein und arbeitete für dessen Weiterentwicklung direkt mit der Universität Cambridge in England zusammen.¹⁵⁸²

Arbeitete ein Betrieb ab den 1980er Jahren mit CAD/CAM-Software, war es prinzipiell möglich, deren Daten für die NC-Programmierung zu verwenden. Die NC-Programmierung war dann quasi ein „Abfallprodukt“ der Konstruktion, was sich einfacher anhört, als es war, da das CAD/CAM-System nur die reinen Geometriedaten lieferte. Der NC-Programmierer musste dann immer noch wie bei APT die Technologiewerte wie Drehzahl, Vorschub und Werkzeuge hinzufügen und abhängig vom Rohteil die Zerspanungsstrategien festlegen. Tatsache aber war, dass durch die Übernahme von CAD/CAM-Daten in das NC-Programmiersystem Teile der NC-Programmierung von der Konstruktion übernommen wurden.

Interessant ist noch, ab wann sich die Institute des produktionstechnischen Innovationssystems mit CAD befassten. Letztlich ist das eine Definitionsfrage. Vanja¹⁵⁸³ und Spur¹⁵⁸⁴ zählen auch schon die EXAPT-Entwicklung dazu. Das WZL, das selbst an der

¹⁵⁷⁷ Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application

¹⁵⁷⁸ Vgl. Vajna u. a. (1994), S. 2.

¹⁵⁷⁹ Vgl. Weisberg (2008), S. 2-14.

¹⁵⁸⁰ Vgl. Vajna u. a. (1994), S. 3.

¹⁵⁸¹ Design Using Computer Technology.

¹⁵⁸² Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 194.

¹⁵⁸³ Vgl. Vajna u. a. (1994), S. 2–3.

¹⁵⁸⁴ Vgl. Spur (1979), S. 465. Weitere CAD-Entwicklungen in den 1970er Jahren am IWF waren z. B. CAPSY (Computer Aided Planing System) und das COMPAC-System zur automatisierten Zeichnungserstellung für dreidimensionale Darstellung. Vgl. Spur (1979), S. 466.

EXAPT-Entwicklung beteiligt war, sah den Beginn seiner intensiven Forschung zu CAD erst ab etwa 1973.¹⁵⁸⁵

Zusammengefasst waren am Ende des Untersuchungszeitraums mehrere Programmiermethoden für NC-Maschinen eingeführt. Für komplexe Teile war die Teileprogrammierstellung auf Großrechnern mit Softwarepaketen wie APT und EXAPT in der Arbeitsvorbereitung die erste Wahl. Die CAD/CAM Technologie, die Teile der Programmierung in die Konstruktion verlagerte, steckte noch in den Anfängen. Die einfacheren Teile wurden meistens manuell, oft aber auch mit Unterstützung von Programmierplätzen auf Kleinrechnerbasis (wie z. B. dem Autoprogrammer) programmiert. In der zweiten Hälfte der 1970er Jahre kamen dann erste CNC-Steuerungen mit „Werkstattprogrammierung“ auf den Markt, mit denen einfachere Teile direkt an der Maschine programmiert werden konnten.

Insgesamt standen den Anwendern mehrere Möglichkeiten der Programmierung zur Verfügung. Sie standen vor der schweren Aufgabe, für ihre Betriebs- und Fertigungsstruktur und für ihre Mitarbeiter die beste Lösung auszuwählen.

7.7 Fertigungssteuerung

Schon früh wollten größere Anwender von NC-Steuerungen das umständliche und prinzipiell fehleranfällige Handling mit dem Lochstreifen vermeiden.¹⁵⁸⁶ Ein weiteres Problem war, dass Lochstreifen für komplexe Werkstücke sehr lang waren; sie mussten an geeigneten Stellen geteilt werden, damit der aufgewickelte Lochstreifen in den Leser passte. Der Gedanke war also naheliegend, auf den Lochstreifen zu verzichten und die Daten elektronisch zur NC-Steuerung zu übertragen. Für diese Methode der Programmübertragung, die produktionsnahe Rechner benötigte, setzte sich die Bezeichnung Direct Numerical Control (DNC) durch.

Stand für die Programmversorgung der über DNC gekoppelten Werkzeugmaschinen ein produktionsnaher Rechner zur Verfügung, war der nächste logische Schritt, diesen Rechner auch für die Betriebsdatenerfassung und/oder die Fertigungssteuerung der über DNC gekoppelten Werkzeugmaschinen zu nutzen. Damit ist gemeint, dass der Rechner die Maschinenbelegung für die einzelnen Fertigungsschritte plant und vorgibt, in welcher Reihenfolge die Werkstücke auf den Maschinen bearbeitet werden, um die Fertigungsanlage möglichst optimal auszunutzen. Erfolgte der Werkstücktransport zwischen den Maschinen nicht manuell, sondern automatisch durch ein (rechnerge-

¹⁵⁸⁵ Vgl. Kompe (2006a), S. 98. Diese Einschätzung ist mit der Berufung von Walter Eversheim auf den Lehrstuhl für Produktionssystematik verknüpft. Vgl. Kompe (2006a), S. 92. Allerdings beschäftigt sich das WZL schon unter Opitz mit CAD-Themen, machte die CAX-Themen aber erst 1984 zu einem Schwerpunkt des AWK. Vgl. Kompe (2006a), S. 100.

¹⁵⁸⁶ Das DNC-Projekt des ISW für die Heidelberger Druckmaschinen AG wurde 1968 begonnen. Vgl. Kenn (28.01.2017), S. 4 und vgl. Nann (01.10.2014), S. 3–4.

steuertes) Transportsystem, wurde von einem „Flexiblen Fertigungssystem“ (FFS) gesprochen.

7.7.1 Direct Numeric Control (DNC)

Wann und wo erstmals ein Rechner mit einer NC-Steuerung zur Übertragung von NC-Programmen erfolgreich gekoppelt wurde, ist nicht eindeutig dokumentiert. Behrendt schrieb in einem Rückblick auf die NC-Entwicklung, dass in den USA schon 1963 erkannt wurde, dass eine direkte Kopplung zwischen Rechnern und NC-Maschinen möglich war, um das Programmhandling mit Lochstreifen oder Magnetbändern zu vermeiden. Er wies aber auch darauf hin, dass es bis zur praktischen Umsetzung noch einige Zeit dauerte, ohne einen Zeitpunkt zu nennen.¹⁵⁸⁷ Die amerikanische Zeitschrift „American Machinist“ berichtete 1966 von der erfolgreichen Kopplung eines Computers über Telefon mit einer Maschine von Cincinnati Milacron. Etwa eineinhalb Jahre später berichtete die gleiche Zeitschrift über eine Entwicklung der Firma Sundstrand Corporation, die den Begriff „direct numerical control“ verwendete. Danach konnte Sundstrand einen Standardrechner, mit dem die NC-Programme erstellt wurden, über ihre zentrale „Omnicontrol unit“ mit bis zu 16 NC-Maschinen verbinden. Für den Datenempfang benötigte jede Maschine zusätzlich eine „Omnicontrol machine logic unit“, an die alternativ auch ein Lochstreifenleser angeschlossen werden konnte.¹⁵⁸⁸ Damit hatte die Lösung von Sundstrand schon fast alle Merkmale eines DNC-Systems. Der wesentliche Unterschied bestand darin, dass bei den DNC-Systemen fast immer Rechner mit Echtzeit-Betriebssystemen (Prozessrechner) eingesetzt wurden und der Rechner und die zentrale „Omnicontrol unit“ zusammengefasst wurden. Außerdem konnten Prozessrechner systembedingt mit den Maschinen schneller kommunizieren.

Etwa zweieinhalb Jahre später, im September 1970, war DNC auf den kurz hintereinander stattfindenden großen Werkzeugmaschinenausstellungen in Hannover (IHA 1970) und Chicago (IMTS 1970) ein wichtiges Thema. Allerdings hatten nach Stute und Victor die beiden Ausstellungen bzgl. DNC unterschiedliche Schwerpunkte. Auf der IHA ging es „nur“ um den Anschluss der Maschinen an „eine Datenbank mit den Steuerungsprogrammen“, während DNC auf der IMTS teilweise schon zusätzlich den Datentransfer für die Fertigungssteuerung und -kontrolle (und damit auch Diagnose) beinhaltete. Damit die Bediener einen besseren Überblick über die Daten hatten, waren die Maschinen in Chicago teilweise sogar schon mit Bildschirmen ausgestattet. Nach Meinung der Autoren waren die amerikanischen Lösungen aber zu heterogen. Sie hielten deshalb eine Standardisierung für wichtig. Von den auf der IHA gezeigten Systemen wurden besonders die DNC-Systeme der AEG (sechs angeschlossene Maschinen)

¹⁵⁸⁷ Vgl. Behrendt (1982), S. 21.

¹⁵⁸⁸ Vgl. o. V. (1968b).

und die Demonstration von Siemens (zehn angeschlossene Maschinen) hervorgehoben. Der gemeinsame Nenner der in Chicago und Hannover gezeigten Systeme war, dass für DNC fast nur noch Prozessrechner verwendet wurden.¹⁵⁸⁹

Siemens beschrieb sein Konzept erstmals im Mai 1970. Es beinhaltete schon Überlegungen, die deutlich über DNC hinausgingen und als Vorüberlegungen für ein flexibles Fertigungssystem (vgl. Kapitel 7.7.2) interpretiert werden konnten, das Siemens „Flexible Numerik-Transferstraße“ nannte.¹⁵⁹⁰ Ein reines DNC-System mit Siemens-Prozessrechnern beschrieb Waibel 1971. Er bezog sich auf die auf der IHA ausgestellte Anlage und sprach sogar von dreizehn angeschlossenen Maschinen. Die für den Prozessrechner benötigte Zusatzhardware bestand aus einer Schnittstellenbaugruppe für maximal 15 sternförmig anschließbare NC-Maschinen (also kein Bussystem). An jeder angeschlossenen NC-Steuerung wurde noch eine Empfängerbaugruppe benötigt.¹⁵⁹¹ Die Architektur ähnelte also der von Sundstrand. Für DNC hatte der Prozessrechner eine spezielle Software, die als Zusatzfeature auch Betriebsdaten (z. B. Programmlaufzeiten) empfangen und auswerten konnte.¹⁵⁹²

Offen bleibt die Frage, wie stark das Konzept von Siemens indirekt durch Heidelberger Druck geprägt wurde. Wie in Kapitel 6.1 beschrieben, entwickelte ab 1968 das ISW in Stuttgart ein DNC-Konzept mit Elementen eines flexiblen Fertigungssystems für Heidelberger Druck und benutzte dafür einen Siemens-Prozessrechner 301. Es ist deshalb anzunehmen, dass Siemens zumindest die Heidelberger Anforderungen kannte. Allerdings unterschied sich die Hardware der datentechnischen Anbindung.¹⁵⁹³

Nach Simon gab es im Rahmen der DNC-Entwicklung auch Überlegungen, die Rechenleistung der Prozessrechner für die Interpolation mehrerer NC-Steuerungen zu nutzen, also die Interpolatoren der NC-Steuerungen in den DNC-Rechner zu verlegen. Dies hatte jedoch den Nachteil, dass der Prozessrechner weniger NC-Steuerungen bedienen konnte und der Datenverkehr zwischen Prozessrechner und Steuerung stark zunahm, weshalb sich diese Ausprägung nicht durchsetzte.¹⁵⁹⁴

¹⁵⁸⁹ Vgl. Stute/Victor (1970), S. 689.

¹⁵⁹⁰ Vgl. Geyer/Waller (1970), S. 275.

¹⁵⁹¹ Vgl. Waibel (1971), S. 255, insbesondere Abb. 2.

¹⁵⁹² 1975 kam Pätzold in seiner Dissertation zu dem Ergebnis, dass die rechnergesteuerte Erfassung von Betriebsdaten großen Nutzen für die Fertigungssteuerung hat. Auf Betriebsstörungen kann schneller und effektiver reagiert werden und die Fertigungsplanung kann durch Speicherung und Auswertung der Betriebsdaten verbessert werden. Vgl. Pätzold (1975), S. 152–154.

¹⁵⁹³ Die Kopplung von bis zu 15 NC-Steuerungen mit dem Siemens-Prozessrechner 301 erfolgte auf der IHA 1970 sternförmig über das Prozesselement NC 15 K. Vgl. Geyer/Waller (1970), S. 272–273. Nann verwendete die Prozesselementsteuerung P1K 301 und realisierte damit quasi ein Bussystem, das 24 NC-Maschinen mit dem Prozessrechner koppeln konnte. Vgl. Nann (1972), S. 75. Ein Grund für die unterschiedliche Kopplungshardware könnten die unterschiedlichen Schnittstellen der Siemens und der Plessey-Steuerung gewesen sein.

¹⁵⁹⁴ Vgl. Simon (1971), S. 333–334.

Die von Stute und Victor kritisierte fehlende Normung der US-Systeme wurde in der BRD schnell umgesetzt. Schon 1972 wurde die VDI-Richtlinie 3424 veröffentlicht, die Empfehlungen für die Direktsteuerung von numerisch gesteuerten Arbeitsmaschinen durch Digitalrechner beinhaltet.¹⁵⁹⁵

Da DNC-Systeme ein einfacher Einstieg in die Fertigungsautomatisierung sind, werden sie auch heute noch angeboten. Stark verändert hat sich durch die PC-Technik und die Bussysteme allerdings die Ausprägung der Hardware, durch die DNC-Systeme bei gleichzeitig höherer Funktionalität heute deutlich preiswerter sind.¹⁵⁹⁶

7.7.2 Flexible Fertigungssysteme

Der technische Stand Mitte bis Ende der 1960er Jahre in der Metallbearbeitung war, dass für die Fertigung von komplexeren Werkstücken bei kleinen Stückzahlen NC-Maschinen (wenn der Betrieb sie sich leisten konnte und sie voraussichtlich wirtschaftlich waren) verwendet wurden. Für Werkstücke in Großserie (z. B. im Automobilbau) waren Transferstraßen üblich. Für die Mittelserie stand keine optimale Fertigungstechnologie zur Verfügung. Die Fertigungstechniker behelfen sich neben Einzelmaschinen mit Sondermaschinen (besonders ausgeprägt bei Heidelberger Druck, vgl. Kapitel 6.1), waren aber auf der Suche nach besseren Lösungen.

Am Stuttgarter IFF beschäftigten sich Dolezalek und sein Mitarbeiter Ropohl mit dem Problem. Sie führten nach Spur 1970 für ihren Lösungsansatz den Begriff „Flexibles Fertigungssystem“ (FFS) ein.¹⁵⁹⁷ Nach ihren Überlegungen bestand ein FFS aus mehreren NC-Maschinen, die für den Teiletransport mit Förderelementen verknüpft waren und über ein Leitsystem gesteuert wurden. Wenn die Maschinen und Förderelemente für genau definierte Teilefamilien ausgelegt waren, konnte nach Dolezalek ein hoher Produktivitätsgewinn erzielt werden.¹⁵⁹⁸ Für die Wirtschaftlichkeit war entscheidend, dass das FFS nur für die Fertigung der geplanten Teilefamilie ausgelegt war.

Die Überlegungen von Dolezalek und Ropohl wurden von Molins System 24¹⁵⁹⁹ (England 1967, Modell Abbildung 62)¹⁶⁰⁰ und der im gleichen Jahr von Cincinnati entwi-

¹⁵⁹⁵ VDI-Richtlinie 3424:1972-05.

¹⁵⁹⁶ Eine „Google-Suche“ nach Anbietern von DNC-Systemen hat viele Treffer. Die Kommunikation zwischen dem DNC-Rechner und den CNC-Steuerungen erfolgt bei Neuanlagen meistens über Ethernet-Netzwerke.

¹⁵⁹⁷ Vgl. Spur (1991), S. 567. In seinem Vortrag „Prinzipien der automatisierten Fertigung“ auf der Tagung „Automatisierung in der industriellen Fertigung“ sprach Dolezalek schon 1967 von „flexiblen Fertigungssystemen“, ohne dies als Begriff zu definieren. Vgl. Dolezalek (1968), S. 9.

¹⁵⁹⁸ Vgl. Dolezalek/Ropohl (1970), S. 447–448.

¹⁵⁹⁹ Williamson (1967b).

¹⁶⁰⁰ Dolezalek versuchte 1967 erfolglos, deutsche Industrielle für das Prinzip des Molins Systems 24 zu interessieren. Vgl. Tuffentsammer/Berger (1988b), S. XI. Vermutlich wollte Dolezalek, Forschungsgelder für ähnliche Systeme akquirieren.

ckelten „Variable Mission“¹⁶⁰¹ beeinflusst. Sie hielten diese Konzepte aber mehr für die Kleinserie und nicht für die Mittelserie geeignet; ihre Auslegung war ihnen für die Mittelserie zu flexibel und damit zu teuer und unproduktiv.¹⁶⁰² Trotzdem wird insbesondere Molins System 24 in der Literatur oft als eines der ersten Konzepte für flexible Fertigungssysteme genannt.¹⁶⁰³ Gut erkennbar ist das Transportsystem und die dahinter von ihm versorgten Maschinen. Ob die im Vordergrund dargestellten vielen Mitarbeiter für das Teilehandling in einer realen Anlage tatsächlich benötigt worden wären, darf aber bezweifelt werden.

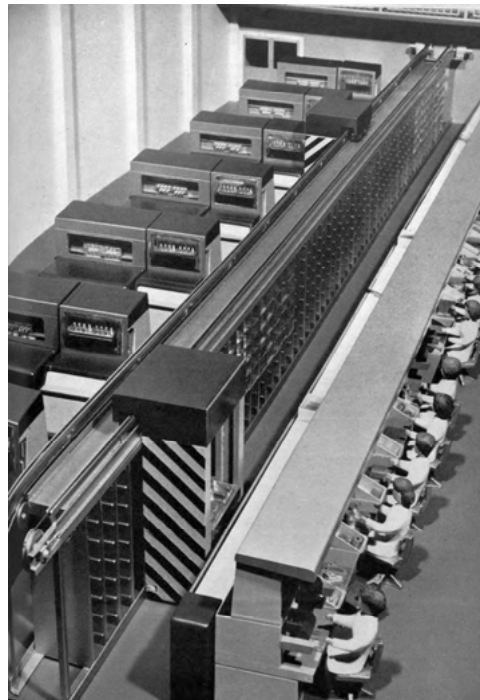


Abbildung 62: Modell einer Gesamtanlage mit Molins System 24¹⁶⁰⁴

Molins Konstruktionsleiter Williamson publizierte seine Entwicklung in mehreren Fachaufsätzen. Danach war die Grundlage für die Konzeption des System 24 die Erkenntnis, dass zwar 50 % der Frästeile für ihre Fertigung eine vierte oder sogar fünfte

¹⁶⁰¹ Gölitzer (1968) beschrieb die Cincinnati-Anlage. Danach handelte es sich um eine Transferstraße mit numerisch gesteuerten Bearbeitungsstationen, bei der mehrere Maschinen gleichartige Bearbeitungsoperationen übernehmen konnten und die Werkstücke sich eine freie Bearbeitungsstation suchten. Die Maschinen konnten sich also gegenseitig ersetzen. Die Lohnkosten betrugen wegen des geringeren Personalbedarfs im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung nur ein Fünftel. Vgl. Gölitzer (1968), S. 82. Gölitzer machte keine Angaben, wie die NC-Programme in den Maschinen angewählt wurden und wie die Programmversorgung erfolgte.

Am Anfang des Aufsatzes bemerkte die Schriftleitung, dass eine ähnliche Anlage schon 1963 für eine „variationsreiche Reihe von Dieselmotoren“ von International Harvester Co. Melrose Park, Illinois/USA, mit NC-Maschinen unterschiedlicher Hersteller aufgebaut wurde. Die Maschinen seien durch Transportanlagen miteinander verknüpft gewesen. Vgl. Gölitzer (1968), S. 78.

¹⁶⁰² Vgl. Dolezalek/Ropohl (1970), S. 447.

¹⁶⁰³ Vgl. z. B. Warnecke (2004), S. 19–20.

¹⁶⁰⁴ Bildquelle: Williamson (1967a), S. 431.

Achse benötigten (für die anderen Teile war die 3-Achs-Bearbeitung ausreichend), der zeitliche Anteil dieser Bearbeitungen aber nur 5–10 % betrug. Da damals eine NC-Maschine für die 5-Achs-Bearbeitung ungefähr das Siebenfache einer Maschine für die 3-Achs-Bearbeitung kostete, war es naheliegend, ein Fertigungssystem zu konzipieren, in dem mehrere dreiachsige Maschinen mit z. B. einer fünfachsigem Maschine so kombiniert waren, dass teure Maschinen für das geplante Teilespektrum optimal ausgenutzt wurden. Entscheidend war, dass auf den teuren Maschinen möglichst keine Bearbeitungen für dreiachsige Maschinen erfolgten. Verbunden waren die Maschinen über ein Transportsystem, das die Teile durch die Anlage transportierte und von den Bestückungsplätzen abholte. Gesteuert wurde die Anlage von einem IBM-Rechner 1130. Da um 1967 DNC noch nicht verfügbar war, wurden die NC-Programme auf speziellen Magnetbandkassetten gespeichert und bei Bedarf automatisch eingewechselt. Die für das System 24 benötigte NC-Steuerung entwickelte der englische Steuerungshersteller Ferranti speziell für das System 24.¹⁶⁰⁵

Obwohl das System 24 gut durchdacht und mit viel Aufwand entwickelt worden war, konnte es sich im Markt wegen einiger Unzulänglichkeiten nicht durchsetzen. Es war aber der Anstoß für andere Werkzeugmaschinenhersteller und Hochschulinstitute, sich mit Molins Überlegungen auseinanderzusetzen und Konzeptvarianten zu entwickeln.¹⁶⁰⁶ Vielleicht hatte das System 24 aber auch keinen Erfolg, weil es seiner Zeit zu weit voraus war. In Westdeutschland entstanden bei den Heidelberger Druckmaschinen ab Mitte der 1960er Jahre erste flexible Fertigungen, die ähnlich wie bei Cincinnati aus einer Kombination von speziellen NC-Maschinen und Transportvorrichtungen bestanden und bis Anfang der 1970er Jahre zu flexiblen Fertigungssystemen weiterentwickelt wurden (vgl. Kapitel 6.1). Auch mehrere Werkzeugmaschinenhersteller griffen die Überlegungen auf und boten in der ersten Hälfte der 1970er Jahre flexible Fertigungssysteme an. So lieferte z. B. der Reutlinger Werkzeugmaschinenhersteller Burkhardt & Weber 1975 sein erstes leitrechnergesteuertes flexibles Fertigungssystem aus.¹⁶⁰⁷ Der Ludwigsburger Maschinenhersteller Burr, der Erfahrungen mit flexiblen Fertigungssystemen bei den Heidelberger Druckmaschinen gesammelt hatte, nahm neben mehreren kleinen Anlagen für verschiedene Kunden 1975 beim Getriebemotorenhersteller Bauer in Esslingen ein großes FFS in Betrieb (vgl. Kapitel 5.4).¹⁶⁰⁸

Auch der Göppinger Drehmaschinenhersteller Gebr. Boehringer beschäftigte sich mit FFS und installierte um die gleiche Zeit eines der ersten FFS für Drehteile bei der

¹⁶⁰⁵ Die Kurzbeschreibung basiert auf der westdeutschen, etwas ausführlicheren Fassung in der Zeitschrift TZ. Williamson (1967a) und Williamson (1968).

¹⁶⁰⁶ Vgl. Warnecke (2004), S. 19–20.

¹⁶⁰⁷ Vgl. Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013), S. 57.

¹⁶⁰⁸ Vgl. Neubrand (1975). Der ehemalige Entwicklungsleiter für die Bearbeitungszentren Geiger berichtete, dass Burr bis zu seinem Ausscheiden 1975 mindestens elf FFS an unterschiedliche Kunden auslieferte. Vgl. Geiger (24.11.2016), S. 7.

Schweizer Firma Ruesch (vgl. Kapitel 5.1). Heller lieferte sein erstes FFS 1974 aus (vgl. Kapitel 5.3).¹⁶⁰⁹

Die Technischen Hochschulen bzw. Universitäten untersuchten u. a. in Sonderforschungsbereichen und PDV-Projekten FFS, deren Ergebnisse in Dissertationen, Veröffentlichungen und Vorträgen ihren Niederschlag fanden. Plattformen ihrer Forschungsergebnisse für die breite Öffentlichkeit waren vor allem die Kolloquien FTK¹⁶¹⁰ in Stuttgart, das AWK¹⁶¹¹ in Aachen und das PTK¹⁶¹² in Berlin. Ab dem FTK 1970 waren FFS direkt oder indirekt auf den großen Kolloquien immer ein Thema.

Abschließend soll noch ein Blick auf die öffentlich geförderten Forschungsprojekte für flexible Fertigungssysteme geworfen werden, an denen auch die Hochschulen beteiligt waren. Das größte Projekt war der von der DFG geförderte Sonderforschungsbereich (SFB) 155 „Flexibles Fertigungssystem“ an der Universität Stuttgart, der 13 Jahre (von 1973 bis 1986) bestand und sich mit Fragestellungen zu FFS aus verschiedenen Blickwinkeln beschäftigte.¹⁶¹³

Forschungsprojekte mit Industriebeteiligung förderte im Auftrag des Bundes die damalige Gesellschaft für Kernforschung (GfK) im Rahmen des Projekts „Prozeßlenkung mit DV-Anlagen“ (PDV) (vgl. Kapitel 4.9.5).

Der Beginn der PDV-Projekte zu FFS war eine Tagung an der TU Berlin am 27. und 28.6.1973 im Institut von Prof. Spur.¹⁶¹⁴ Ende 1973 erfolgte durch den Projektträger

¹⁶⁰⁹ Eine Übersicht über elf bis etwa Anfang 1974 realisierte, im Aufbau befindliche bzw. geplante flexible Fertigungssysteme der westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller ist in der PDV-Entwicklungsnotiz „Rahmenkonzeption „Flexible Fertigungssysteme“ zu finden. Vgl. Winkler u. a. (1974), S. 17–18.

¹⁶¹⁰ Dolezalek stellte seine grundsätzlichen Überlegungen zu Fertigungssystemen auf dem FTK 1970 noch einmal vor. Vgl. Dolezalek (1971). Die Vorträge des FTK 1973 wurden nicht in einem Sammelband veröffentlicht, sondern erschienen in verschiedenen Zeitschriften. Vorträge zu flexiblen Fertigungssystemen hielten Stute (1974a) und Stute/Bauer (1974).

¹⁶¹¹ Hier ist vor allem auf den Vortrag „Projektierung flexibler Fertigungssysteme“ auf dem AWK 1971 hinzuweisen, in dem die von westdeutschen Maschinenherstellern realisierten Anlagen vorgestellt wurden. Goebel u. a. (1971).

¹⁶¹² Auf dem 1. PTK 1975 hielt Spur einen Vortrag, in dem er allgemein auf die automatische Fabrik einging. Spur (1975).

¹⁶¹³ Der SFB 155 bestand aus vier Teilprojekten (vgl. Tuffentsammer/Berger (1988c), S. 353–356):

- Teilprojekt A: Untersuchungen zum optimierten Einsatz flexibler Fertigungssysteme in der Produktion.
- Teilprojekt B: Konstruktionskonzept und konstruktiver Aufbau von flexiblen Fertigungsanlagen
- Teilprojekt C: Informationsverarbeitung in flexiblen Fertigungssystemen – Aufbau und Betrieb einer Modellanlage.
- Teilprojekt D: Integration von Umformverfahren in flexible Fertigungssysteme.

Einen ersten ausführlichen Bericht über den Stand der Arbeiten gab Storr auf dem FTK 1976 (vgl. Storr (1976)). Zur Überprüfung des Konzepts wurde eine Modellanlage am ISW aufgebaut. Vgl. Storr (1976), S. 398. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse über die gesamte Laufzeit von 1973–1986 findet sich im Abschlussbericht. Tuffentsammer/Berger (1988c).

¹⁶¹⁴ Vgl. Spur (1974), S. 2.

noch eine ergänzende Kurzumfrage zu FFS bei Werkzeugmaschinenherstellern, Ausüstern und Hochschulinstituten zum Stand der Technik, Trends und Zukunftsaufgaben.¹⁶¹⁵ Die Tagung und die Ergebnisse der Umfrage waren dann die Basis für die vom Projektträger 1974 veröffentlichte Rahmenkonzeption,¹⁶¹⁶ die am 7.11.1974 auf dem 2. PDV-Kolloquium diskutiert wurde.¹⁶¹⁷ Zeitnah zum Kolloquium wurden dann drei PDV-Projekte für FFS in Tabelle 8 genehmigt. Die Ergebnisse wurden nach Projektende in den in der Tabelle genannten PDV-Abschlussberichten veröffentlicht.

Kurzbezeichnung	Vorhabentitel	Träger	Laufzeit	Projektkosten	PDV Abschlussbericht/Jahr
P6.2/94; S -STU/3	Prozessüberwachung in flexiblen Fertigungssystemen	ISW Stuttgart	1/75– 12/77	660.000 DM 100 %	148/1978 ¹⁶¹⁸
P6.3/15; BF-GDM/1	Realisierung eines modularen flexiblen Fertigungssystems mit automatisierter Informationsverarbeitung	Gildemeister AG Bielefeld	1/75– 12/77	931.000 DM 100 %	195/1980 ¹⁶¹⁹
P8.1/7; FH - MTU/1	Flexibles Fertigungssystem für Zylinderköpfe	MTU Friedrichshafen	1/76- 12/79	2.077.000 DM 50 %	138/1978 ¹⁶²⁰

Tabelle 8: PDV-Projekte für flexible Fertigungssysteme Stand 1976¹⁶²¹

Trotz der umfangreichen Forschung waren am Ende des Untersuchungszeitraums (1980) nach Spur weltweit erst etwa 80 FFS in Betrieb, die sich bis Ende 1984 etwa verdoppelten. Spur differenzierte die FFS noch und unterschied zwischen flexiblen Fertigungszellen (hohe Werkstückvarianz bei niedrigen Stückzahlen), flexiblen Fertigungsnetzen (mittlere Werkstückvarianz bei mittleren Stückzahlen) und flexiblen Fertigungslinien (niedrige Stückzahlvarianz bei hohen Stückzahlen). Die FFS-Varianten

¹⁶¹⁵ Vgl. Winkler u. a. (1974), S. 2.

¹⁶¹⁶ Winkler u. a. (1974) In der Rahmenkonzeption befindet sich auch eine von Storr (ISW Stuttgart) und Schüring (WZL Aachen) zusammengestellte Übersicht der bis zum 18.3.1973 bekannten FFS-Systeme. Vgl. Winkler u. a. (1974), S. 35–37.

¹⁶¹⁷ Spur (1974).

¹⁶¹⁸ Stute (1978).

¹⁶¹⁹ Kernforschungszentrum (1980).

¹⁶²⁰ Brunner (1978).

¹⁶²¹ Die Tabelle wurde nach den Daten des PDV-Berichts 1/1976 erstellt (o. V. (1976c), S. 68 und S. 70) und mit Nr. und Jahr der Abschlussberichte ergänzt.

unterschieden sich hauptsächlich in der Art der Verkettung und der Anzahl der NC-Maschinen.¹⁶²²

Zusammengefasst gab es gegen Ende des Untersuchungszeitraums mehrere Forschungsprojekte zu FFS; in einige waren über Verbundprojekte auch die Werkzeugmaschinen- und Steuerungshersteller eingebunden. So gesehen arbeiteten bei der Entwicklung von FFS mehrere Akteure des produktionstechnischen Innovationssystems eng zusammen. Unabhängig davon hatten mehrere Werkzeugmaschinenhersteller schon selbst entwickelte Systeme ausgeliefert, um sich Know-how zu erarbeiten. Der damalige Grundtenor war, dass Forschung und Anwender ab 1980 durch FFS ein hohes Rationalisierungspotenzial in der Mittelserie erwarteten. Jeder Werkzeugmaschinenhersteller, der etwas auf sich hielt, musste FFS im Angebot haben.

Wegen der noch fehlenden Langzeiterfahrung wurde in der Euphorie übersehen, dass FFS auch unwirtschaftlich werden konnten. Das hatte im Wesentlichen zwei Gründe:

- Ein FFS bestand meistens aus mehreren NC-Maschinen, die über eine Transporteinrichtung verkettet waren. Ein FFS war deshalb ein kompliziertes mechanisches Gebilde, dessen Komponenten einen unterschiedlichen Verschleiß hatten. Schon nach wenigen Jahren konnten durch den abweichenden Verschleiß die Verfügbarkeit und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlagen sinken, besonders im Vergleich zu unverketteten NC-Maschinen.
- Oft erwiesen sich die Stückzahlabschätzungen für die auf den FFS zu fertigenden Werkstücke nach kurzer Zeit als falsch. Durch die geänderte Nachfrage konnte auf den Anlagen nicht der geplante Teilemix gefertigt werden. Dadurch war die ursprünglich kalkulierte Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben.

Ein weiteres Problem war, dass die Planungsphase eines FFS oft viel Zeit in Anspruch nahm, weil sich der Endkunde über den Teilemix für das FFS unsicher war. Dieser aber war entscheidend für die Auslegung des FFS, damit es nicht zu Engpässen kam (z. B. durch zu geringe Transportkapazität, zu wenig Aufspannplätze, zu geringe Werkzeugkapazität etc.). Manche FFS wurden dann wegen der zu langen Planungsphase nicht realisiert, da sich zwischenzeitlich die Randbedingungen geändert hatten.

7.8 Zusammenfassung

Für industrietaugliche NC-Maschinen war eine Vielzahl von zusätzlichen Entwicklungen notwendig, da die NC-Steuerungen neue Anforderungen an die Werkzeugmaschi-

¹⁶²² Vgl. Spur (1987a), S. 6-7, insbesondere Bild 1 und 2. Die 1984 installierten FFS teilen sich wie folgt auf: 18 Osteuropa, 34 USA, 48 Japan und 65 Westeuropa. Zahlen für Westdeutschland nennt Spur nicht.

nen und ihr Umfeld stellten. Diese erstreckten sich bei den NC-Maschinen von mechanischen Komponenten über die Antriebe bis zur Steuerungstechnik. Beim Umfeld waren vor allem die Programmierung und das Werkzeug-Handling betroffen, aber auch die Logistik musste wegen der höheren Produktivität von NC-Maschinen angepasst werden.

Die Notwendigkeit zusätzlicher Entwicklungen bremste anfangs die Einführung der NC-Technik bei den Werkzeugmaschinenherstellern und Endanwendern, da nur größere Betriebe sich den Entwicklungsaufwand leisten konnten. Für die Endanwender waren NC-Maschinen Investitionsgüter, mit denen Geld verdient werden musste; sie erwarteten von den Werkzeugmaschinenherstellern ein möglichst komplettes Lösungspaket, das diese – auch wegen noch fehlender Erfahrung – nur schwer liefern konnten, zumal sie die Fertigungsstruktur ihrer Kunden – wenn überhaupt – nur grob kannten.

Die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen hing stark vom Maschinenpreis ab. Dieser wurde zu einem großen Teil von den Kosten für die NC-Steuerung und die Antriebe bestimmt. Erst als durch technische Weiterentwicklungen die Kosten der Steuerungs- und der Antriebstechnik bei gleichzeitiger Zunahme der Produktivität deutlich sanken, stiegen die Stückzahlen stark an. Flankiert wurde die NC-Einführung durch die Weiterentwicklung der Rechnertechnik, die die Programmierung vereinfachte und gegen Ende des Untersuchungszeitraums über die Werkstattprogrammierung an die NC-Maschinen brachte.

Anfang der 1970er Jahre gingen erste flexible Fertigungssysteme in Betrieb, die aus mehreren verketteten NC-Maschinen bestanden. Sie waren für die Fertigung von Teilefamilien in Klein- und Mittelserien ausgelegt und sollten die Automatisierungslücke zwischen der Einzel- und Großserienfertigung schließen. In den 1970er Jahren wurde in diesen Anlagen ein großes Potenzial gesehen. Es zeigte sich jedoch, dass die Komplexität dieser Anlagen viele Endanwender überforderte, sodass sich nach dem Untersuchungszeitraum die hochgesteckten Erwartungen nicht erfüllten.

Besonders bei der Entwicklung der NC-Programmierung mit EXAPT und den Forschungen zu FFS arbeiteten Hochschulen, Endanwender und Werkzeugmaschinenhersteller im produktionstechnischen Innovationssystem eng zusammen, um praxisnahe Lösungen zu finden. Die Zusammenarbeit in diesen Projekten war ein gutes Beispiel für die Leistungsfähigkeit und die Vorteile einer engen und konstruktiven Zusammenarbeit, da die Ergebnisse in der Praxis angewendet wurden.

8 Auswirkungen der NC-Technologie auf Ausbildung, Gewerkschaften und Verbände

8.1 Aus- und Weiterbildung

8.1.1 NC-Weiterbildung für Ingenieure und Führungskräfte

Entscheidend für die Einführung der NC-Technik in den metallverarbeitenden Betrieben war es, zuerst die Führungskräfte und die Verantwortlichen in der Produktion von den Vorteilen der neuen Technologie zu überzeugen, da dieser Personenkreis über die Anschaffung neuer Maschinen entschied. Es wurde deshalb schon in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre damit begonnen, diesen Personenkreis über die neue Technologie zu informieren. Dies geschah zuerst über die etablierten produktionstechnischen Fachzeitschriften. Ein Bericht mit dem Titel „Neue numerische Steuerverfahren für Werkzeugmaschinen“ erschien z. B. schon 1955 in der Fachzeitschrift *Werkstattstechnik*.¹⁶²³ Über die neue Technologie berichteten noch früher die amerikanischen Fachzeitschriften wie „*American Machinist*“, der auch in europäischen Führungskreisen oft gelesen wurde und im Oktober 1954 einen ersten ausführlichen Report über die NC-Technik abdruckte.¹⁶²⁴

Eine weitere wichtige Informationsquelle waren die Kolloquien bzw. Tagungen der traditionsreichen Hochschulen, die von den Führungskräften auch wegen der Kontaktpflege gerne besucht wurden. In Westdeutschland waren das z. B. das AWK 1956 in Aachen¹⁶²⁵ und die Automatisierungstagung 1957 in Stuttgart,¹⁶²⁶ auf denen erstmals über die NC-Technik diskutiert wurde.

Als ab 1960 auf den großen Fachmessen die ersten praxistauglichen NC-Maschinen vorgeführt wurden, wurde es für die Führungs- und Fachkräfte immer wichtiger, Basiskenntnisse über die NC-Technik zu haben und sich über ihre Vor- und Nachteile auszutauschen. Eine Möglichkeit dafür waren z. B. spezielle Vorträge, die von der

¹⁶²³ Budnik (1955).

¹⁶²⁴ Am 25. Oktober erschien in der Zeitschrift „*American Machinist*“ der 24-seitige Spezialreport Nr. 377 „NUMERICAL CONTROL“. Er wurde 1960 nochmals zusammen mit weiteren Artikeln in einem Buch abgedruckt. Stocker/Emerson (1960).

¹⁶²⁵ Shaw hielt auf dem AWK 1956 einen Vortrag mit dem Titel „Anforderungen an Werkzeugmaschinen der Zukunft“. Shaw (1956).

¹⁶²⁶ Uhrmeister hielt auf der Automatisierungstagung 1957 in Stuttgart einen Vortrag mit dem Titel „Numerisches Einstellen und Steuern von Werkzeugmaschinen mit Hilfe von Lochkarte, Lochstreifen und Magnetband“. Uhrmeister (1958). Im weiteren Jahresverlauf erschien zur Automatisierungstagung auch noch ein Sonderdruck zur Automatisierungstagung als VDI-Bericht Band 33. Darin gab der Vorsitzende der VDI-Fachgruppe Betriebstechnik, Steeger, einen Rückblick auf die Automatisierungstagung 1957 und berichtete von etwa 1500 Tagungsteilnehmern, eine beeindruckende Anzahl. Steeger (1958).

ADB im VDI organisiert wurden.¹⁶²⁷ Götz, ein ehemaliger leitender Entwicklungsingenieur bei der AEG, erinnerte sich, dass er für den VDI eine Vielzahl von Vorträgen gehalten hatte.¹⁶²⁸ Auch im Archiv des Württembergischen Ingenieurvereins fanden sich entsprechende Unterlagen. So waren etwa im Rechenschaftsbericht für 1961 über die Tätigkeit des Stuttgarter VDI-Arbeitskreises der Betriebsingenieure (ADB) zwei Vorträge von Simon über die NC-Technik hervorgehoben, die jeweils mehr als 600 Zuhörer hatten.¹⁶²⁹ Auch in den Folgejahren organisierte die ADB in Stuttgart Vorträge zur NC-Technik mit meist ähnlich hohen Teilnehmerzahlen, wie aus den Unterlagen hervorgeht. Das zeigt, dass ein großer Informationsbedarf bestand.

Hatte sich ein Betrieb für die Anschaffung von NC-Maschinen entschieden, mussten die betroffenen Mitarbeiter geschult werden. Mangels Erfahrungsträgern im eigenen Betrieb, geschah dies in der Anfangsphase vor der Inbetriebnahme durch Schulungen beim Maschinenhersteller, nach der Inbetriebnahme durch „Try and Error“ und inner- bzw. überbetrieblichen Erfahrungsaustausch.¹⁶³⁰ Erst ab etwa 1964 wurden von „neutralen“ Veranstaltern mehrtägige Kurse/Schulungen über die NC-Technik angeboten. Einer der ersten war das VDI-Bildungswerk, das erstmals vom 20. bis 22. Mai 1964 den Kurs „Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen“ in Darmstadt anbot. Die Zielgruppe waren Betriebsingenieure und Arbeitsvorbereiter, die den Einsatz von NC-Maschinen planten. Im Werbeflyer war das wie folgt formuliert:

Der Lehrgang wendet sich an Betriebsingenieure und Arbeitsvorbereiter, die eine Fertigung von Werkstücken mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen einzurichten und zu betreiben haben. Er soll darüber hinaus aber auch solche Ingenieure über die Möglichkeiten und Erfordernisse der Eingliederung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in die Fertigung unterrichten, die den Einsatz dieser Maschinen erst erwägen.¹⁶³¹

¹⁶²⁷ Manchmal informierte sich die Leitungsebene eines Unternehmens direkt bei den Fachleuten wie z. B. die Betriebskommission bei M.A.N. (vgl. Kapitel 6.3).

¹⁶²⁸ Vgl. Götz (24.11.2017), S. 14.

¹⁶²⁹ Archiv Württembergischer Ingenieurverein (WIV) Stuttgart, Ordner WIV Arbeitskreis ADB; VDI-Arbeitskreis der Betriebsingenieure (ADB) Stuttgart (1962). Nach dem Tätigkeitsbericht hielt Simon am 21.2.1961 den Vortrag „Elektronische Steuerungen an Werkzeugmaschinen“ (650 Teilnehmer) und am 14.11.1961 den Vortrag „Anwendungsgebiete und Entwicklungstendenzen von Steuerungsverfahren für Werkzeugmaschinen“ (680 Teilnehmer). Es ist davon auszugehen, dass es in anderen Regionen vergleichbare Vorträge gab.

¹⁶³⁰ Vgl. hierzu die NC-Einführung bei Daimler (Kapitel 6.1). Erst als die von Heller gekaufte NC-Maschine innerbetrieblich professionell betreut wurde und ein Erfahrungsaustausch durch die VE organisiert war, konnten die NC-Maschinen sinnvoll eingesetzt werden.

¹⁶³¹ Archiv Württembergischer Ingenieurverein (WIV) Stuttgart, Ordner: WIV Arbeitskreis; ADB 91; VDI-Bildungswerk (1964), S. 1.

Ein halbes Jahr später (im November 1964) wollte die REFA¹⁶³² einen dreiwöchigen Lehrgang „Programmierung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen“ für Programmierer anbieten. Dies veranlasste den ADB-Vorsitzenden Tully zu einem Brief an den „Württembergischen Ingenieurverein“, in dem er die Nutzung der Kursunterlagen ablehnte. Dabei grenzte er die ADB und REFA bezüglich ihrer Zielgruppen deutlich voneinander ab:

Ich habe daran erinnert, daß wir aufgrund der Vereinbarung mit Herrn Dr. Maul in Karlsruhe festgelegt haben, daß die ADB gerade auf dem Gebiet der numerischen Steuerung mit dem VDI-Bildungswerk 2 1/2 - Tageslehrgänge durchführt, um vorwiegend die Betriebsingenieure mit diesen Problemen vertraut zu machen. Wir waren uns ferner darüber im Klaren, daß Refa die Schulung auf der Ebene der Arbeitsvorbereiter übernimmt.¹⁶³³

Das Schreiben Tullys kann so interpretiert werden, dass die ADB die Mitarbeiter in der Arbeitsvorbereitung (darunter konnten auch Ingenieure sein) nicht als ihre Klientel ansah, weil sie keine Betriebsingenieure waren. Aus heutiger Sicht ist das unverständlich, da einige der ersten Programmierer, wie z. B. bei Heidelberger (vgl. Kapitel 6.1), auch Ingenieure waren.¹⁶³⁴ Das Schreiben Tullys vermittelt den Eindruck, dass sich die ADB mehr als Vertreter der Führungsebene in den Unternehmen sah und sich von den Mitarbeitern in der Produktion abgrenzen wollte.

Nach und nach kamen weitere Anbieter von NC-Schulungen dazu. Ein heute noch aktiver Anbieter ist die „Technische Akademie Esslingen“ (TAE), eine im Großraum Stuttgart etablierte Weiterbildungseinrichtung für technische Fach- und Führungskräfte. Die Referenten der TAE-Kurse waren bevorzugt erfahrene Fachleute aus der Industrie; insofern war die TAE auch ein Baustein des produktionstechnischen Innovationssystems. Erstmals 1973 organisierte die TAE einen dreitägigen Kurs „Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen“. Er wurde von Rohs und Koschnick (beide Mitarbeiter der Gebr. Boehringer in Göppingen) geleitet. Die Zielgruppe waren „Betriebs- und Abteilungsleiter, Ingenieure, Programmierer, Assistenten sowie Mitarbeiter der Planung, Organisation und Kalkulation“.¹⁶³⁵ Der mehrfach wiederholte Kurs war so erfolgreich, dass er auch als Buch mit gleichem Titel erschien. Bis 1989 gab es drei jeweils neu bearbeitete Auflagen.¹⁶³⁶ Der Schwerpunkt von Lehrgang und Buch lag aber nicht auf den technischen Details der NC-Technik wie z. B. der Programmierung. Er

¹⁶³² Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung; der heute noch verwendete Name REFA ist die Abkürzung des 1923 gegründeten „Reichsausschusses für Arbeitszeitermittlung“.

¹⁶³³ Archiv Württembergischer Ingenieurverein (WIV) Stuttgart, Ordner WIV Arbeitskreis, ADB 91; Tully (27.05.1964), S. 1.

¹⁶³⁴ Vgl. Bader (15.02.2017), S. 20.

¹⁶³⁵ Archiv Technische Akademie Esslingen, Lehrgang Nr. 1972/33.02/4; Rohs/Koschnick (09.04.1973).

¹⁶³⁶ Koschnick u. a. (1977).

vermittelte vielmehr die Grundlagen für Investitionen in NC-Maschinen und die Voraussetzungen für ihren wirtschaftlichen Einsatz in der Fertigung.

Ein weiterer Akteur bei Lehrgängen war ab 1982 die 1975 gegründete NC-Gesellschaft (vgl. Kapitel 8.4), die 1982 erstmals vier Seminare „NC-Grundlagen“ am Berufsförderungswerk Heidelberg organisierte und ihr Seminarangebot dann ausbaute. 1985 bot die NCG schon mehrere Seminare zu verschiedenen NC-Themen an: Neunmal das schon erwähnte Seminar „NC-Grundlagen“, ein „NCG-Ausbilderseminar“, vier „NCG-Managementseminare“ und sieben „CAD/CAM-Base-Seminare“. Insgesamt hatten 1985 die von der NCG organisierten Seminare 293 Teilnehmer.¹⁶³⁷

Daneben gab es auch Seminare zu technischen Spezialthemen, teilweise auch unter Mitwirkung der Universitäten. Speziell an Entwickler und Konstrukteure von Werkzeugmaschinen richtete sich das Seminar „Die Lageregelung an Werkzeugmaschinen“, das vom ISW vom 23. bis 25. März 1972 erstmals abgehalten¹⁶³⁸ und mit aktualisierten Inhalten immer wieder angeboten wurde.¹⁶³⁹ Das Ziel dieses Seminars war es, den Konstrukteuren Hinweise für die richtige Auslegung und Inbetriebnahme (Einstellung der Lage- und Drehzahlregelkreise) der Werkzeugmaschinenantriebe zu geben, da diese die Leistungsfähigkeit einer NC-Maschine bestimmten.

Auch die Steuerungs- und Antriebshersteller mischten im Ausbildungsgeschäft mit, um die Anwendung ihrer Produkte zu forcieren und zu erleichtern. Siemens z. B. gründete 1971 in Erlangen die Sinumerik-Schule.¹⁶⁴⁰ Zielgruppen waren die Entwickler und der Service der Werkzeugmaschinenhersteller und das eigene Servicepersonal. Später gab es auch Kurse für das Instandhaltungspersonal von Endkunden (vgl. Kapitel 9.3.6).

Insgesamt gab es für Entscheider und Führungskräfte ein gutes Informationsangebot über die NC-Technik in Form von Fachveröffentlichungen, Vorträgen und Schulungen. Im zweiten Schritt wurde das Angebot auf die Ingenieure und Fachleute auf der Betriebsebene erweitert, die mit den NC-Maschinen arbeiten sollten oder mussten. Anfangs wurden die Schulungen hauptsächlich von Vereinen wie dem VDI und den Werkzeugmaschinenherstellern durchgeführt. Als Anfang der 1970er Jahre die Anzahl der NC-Maschinen zunahm, wurden die Schulungen durch Anbieter wie die TAE stärker kommerzialisiert. In den 1970er Jahren kamen auch noch Schulungen dazu, die sich an die Konstrukteure und das Service- und Inbetriebsetzungspersonal der Werk-

¹⁶³⁷ Vgl. Archiv der NC-Gesellschaft Ulm, Ordner NCG-Geschichte; NC-Gesellschaft (20.05.1986), S. 11–12.

¹⁶³⁸ Vgl. Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1972), S. 19.

¹⁶³⁹ Das vorerst letzte Lageregelseminar fand am 16. 10. 2013 statt. Vgl. Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (2014), S. 166.

¹⁶⁴⁰ Vgl. Privatarchiv Jürgen Hertrumpf, Siemens AG (Februar bis April 1982), gez. S. 23.

zeugmaschinenhersteller wendeten. Ein wichtiges Schulungsthema war neben der Vermittlung von Kenntnissen über die NC-Steuerungen auch die richtige Auslegung der (elektrischen) Antriebe, mit der viele Ingenieure Probleme hatten.

8.1.2 NC-Ausbildung an Universitäten und Fachhochschulen

Die Technischen Universitäten und Hochschulen setzten sich früh mit der NC-Technik auseinander, zuerst aber in der Forschung, wie in Kapitel 4.9 ausführlich dargestellt wurde. Verzögert zur Forschung nahmen die Professoren die NC-Technik auch in ihre Vorlesungen auf. Ab wann und mit welchem Umfang das erfolgte, lässt sich nur schwer abschätzen, da Vorlesungsmanuskripte Ende der 1950er und Anfang der 1960er Jahre noch kein Standard waren und aus dem Titel einer Vorlesung nur bedingt auf deren Inhalt geschlossen werden kann.

An die TH Stuttgart wurde zum Wintersemester 1965/1966 Stute als Professor berufen, der die Steuerungstechnik für Werkzeugmaschinen mit einem eigenen Institut vertreten sollte. Da die Berufung erst kurz vor Semesterbeginn erfolgte, war im Vorlesungsverzeichnis zum Wintersemester 1965/1966 noch keine Vorlesung von Stute aufgeführt. Erst im Vorlesungsverzeichnis zum Sommersemester 1967 war die Vorlesung „Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen I“ erstmals zu finden.¹⁶⁴¹ Da der Umdruck zur Vorlesung aber schon 1966 erschien, ist anzunehmen, dass Stute die Vorlesung im Sommersemester 1966 zum ersten Mal hielt.¹⁶⁴² In den Jahren vor Stutes Berufung behandelte Dolezalek, der die Einrichtung des neuen Lehrstuhls massiv betrieben hatte (vgl. Kapitel 4.9.4), zumindest knapp die NC-Technik in seiner Vorlesung „Automatisierung in der Fertigung“¹⁶⁴³, die er seit dem Sommersemester 1961 las.¹⁶⁴⁴

¹⁶⁴¹ Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Personal- und Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1967; Technische Hochschule Stuttgart (1967), S. 155.

¹⁶⁴² Stute (1966).

¹⁶⁴³ Vgl. Dolezalek (1964), S. 31. Erstmals 1965/1966 gab es einen Umdruck zur Vorlesung. Mit 37 Seiten war er für eine zweisemestrige Vorlesung sehr knapp. Eine Aussage darüber, wie intensiv Detailthemen behandelt wurden, kann aus dem Umdruck deshalb nicht abgeleitet werden. Zur NC-Technik war im Umdruck nur eine Folie. Vgl. Dolezalek (1965/66), S. 16.

¹⁶⁴⁴ Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Personal- und Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1961; Technische Hochschule Stuttgart (1961), S. 47. Im Wintersemester 1955/1956 wurde Dolezalek erstmals im Personal- und Vorlesungsverzeichnis der TH Stuttgart als Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb aufgeführt und hielt wahrscheinlich auch Vorlesungen, die aber vermutlich wegen des Redaktionsschlusses noch nicht im Vorlesungsverzeichnis aufgeführt waren. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Personal- und Vorlesungsverzeichnis Wintersemester 1955/56; Technische Hochschule Stuttgart (1955), S. 48. Seine Hauptvorlesung Fabrikbetriebslehre stand erstmals im Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1956. Vgl. Universitätsarchiv Stuttgart, Personal- und Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1956; Technische Hochschule Stuttgart (1956), S. 40. Ob bzw. ab wann er dort am Rande die NC-Technik behandelte, lässt sich nicht mehr feststellen. Dass er sich schon früh bei der NC-Technik auskannte, zeigt 1957 deren ausführliche Beschreibung in seinem Aufsatz „Automatisierung in der industriellen Fertigung“. Vgl. Dolezalek (1957), S. 19–20.

An der TH Darmstadt war Wilhelm Simon als (Privat-)Dozent bis zu seinem Wechsel nach Berlin 1964 Mitarbeiter von Stromberger (vgl. Kapitel 4.9.2). Dort behandelte er die NC-Technik wahrscheinlich in seiner Vorlesung „Werkzeugmaschinen III: Antriebe und Steuerungen von Werkzeugmaschinen“, die er seit dem Sommersemester 1958 las.¹⁶⁴⁵ Nach dem Wechsel von Simon nach Berlin übernahm sein ehemaliger Doktorand Politsch die Vorlesung und bot zusätzlich zur Vorlesung Laborarbeiten an.¹⁶⁴⁶

Spätestens ab Simons Ruf 1964 auf den „Lehrstuhl I für Theoretischen Maschinenbau“¹⁶⁴⁷ gab es auch an der TU Berlin eine Vorlesung für Automatisierung,¹⁶⁴⁸ die mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auch die NC-Technik beinhaltete.

Auch an der RWTH Aachen gab es früh eine Vorlesung, in der die NC-Technik behandelt wurde. Gelesen wurde sie allerdings nicht von Opitz, sondern von seinem ehemaligen Mitarbeiter Rohs, der seit 1963 bei der Firma Boehringer in Göppingen arbeitete. Rohs hielt die Vorlesung „Numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen“ an der RWTH erstmals im Wintersemester 1966/67.¹⁶⁴⁹ Die Jahre vorher (spätestens ab dem Wintersemester 1961/62) las Rohs „Sonderfragen des Werkzeugmaschinenbaus“, wo er vermutlich auch auf die numerischen Steuerungen einging.¹⁶⁵⁰

Schwieriger ist eine Aussage zu den damaligen Fachhochschulen, da es dort keine Vorlesungsverzeichnisse gab. An der früheren Fachhochschule Esslingen (heute Hochschule Esslingen) etwa lässt sich die NC-Technik erst ab 1968 mit der Beschaffung einer Heller- NC-Fräsmaschine PFV 10 zeitlich einigermaßen verorten. Spätestens ab diesem Zeitpunkt war die NC-Technik Teil der Ausbildung für die Esslinger Maschinenbaustudenten.¹⁶⁵¹ Da die Fachhochschule Esslingen im Maschinenbau in Baden-Württemberg führend war, ist anzunehmen, dass die Labore der anderen Fachhochschulen in Baden-Württemberg eher später mit NC-Maschinen ausgestattet wurden. Insofern sprechen die Indizien dafür, dass an den Fachhochschulen die NC-Technik wahrscheinlich mindestens zwei bis drei Jahre später als an den Universitäten in die Lehre aufgenommen wurde.

¹⁶⁴⁵ Vgl. Universitätsarchiv der TU Darmstadt, Zs-7424; Technische Hochschule Darmstadt (1958), S. 33 und 60. Im Vorlesungsverzeichnis 1958/1959 steht Simon ab dem 1.3.1958 als Lehrbeauftragter. Politsch meint aber, dass er die Vorlesung schon um 1956 zu Beginn seiner Assistententätigkeit gelesen haben könnte. Die Vorlesung hatte nach Politsch ungefähr 30 Hörer. Vgl. Politsch (16.01.2016), S. 17.

¹⁶⁴⁶ Vgl. Universitätsarchiv der TU Darmstadt, Zs-7424; Technische Hochschule Darmstadt (1965), S. 85.

¹⁶⁴⁷ Vgl. Fußnote 82.

¹⁶⁴⁸ Die Vorlesungen hießen Automatisierung I und II und wurden von Simon ab dem WS 1964 gelesen. Vgl. Universitätsarchiv der TU Berlin, Bestand 707 VV WS 1964 und SS 1965; Technische Universität Berlin (1964), S. V 188.

¹⁶⁴⁹ Vgl. Hochschularchiv RWTH, VVZ 1966; RWTH Aachen (1966), S. 122.

¹⁶⁵⁰ Vgl. Hochschularchiv RWTH, VVZ 1961; RWTH Aachen (1961), S. 95.

¹⁶⁵¹ Vgl. Privatarchiv Thomas Wissert, Hochschule Esslingen 1; Hahn (18.03.2018).

8.1.3 Gewerbliche Ausbildung

Die gewerbliche Ausbildung vermittelt Grundlagenwissen und Grundfertigkeiten im gewählten Beruf. Sie ist deswegen eher konservativ ausgerichtet. Neue technische Entwicklungen werden erst dann in die Ausbildungsordnung aufgenommen, wenn Konsens darüber besteht, dass sie anerkannter Stand der Technik sind. Dies war auch bei der Integration der NC-Technik in die Ausbildungsordnung der industriellen Metallberufe zu beobachten.

Bevor die NC-Technik in die Ausbildungsordnung aufgenommen wurde, konnten nur Betriebe, die NC-Maschinen herstellten oder nutzten, ihren Auszubildenden eigenverantwortlich die Grundlagen der NC-Technik vermitteln. Nur sie hatten die technischen Voraussetzungen. Dies wurde auch vom einen oder anderen Unternehmen so gehandhabt. So erinnerte sich z. B. der ehemalige Leiter der Elektromontage bei den Gebr. Boehringer in Göppingen, dass er schon Anfang der 1970er Jahre seinen Auszubildenden Grundkenntnisse über die NC-Technik vermittelte.¹⁶⁵² Im GHH-Konzern, einem Anwender von NC-Maschinen, ließ man sich deutlich länger Zeit. Erst auf der 105. BK-Sitzung (1981) wurden von den Ausbildungsleitern zehn NC-Lernziele vorgeschlagen, die bei der zukünftigen Ausbildung von Zerspanungsfacharbeitern berücksichtigt werden sollten.¹⁶⁵³

Wie schon angedeutet war bei der gewerblichen Ausbildung die Anpassung der Ausbildungsordnung an die technische Weiterentwicklung ein langwieriger Prozess. 1984 beschrieben Geer und Bartel den aktuellen Arbeitsstand.¹⁶⁵⁴ Danach hatten 1978 der Arbeitgeberverband Gesamtmetall und die IG Metall erkannt, dass die Ausbildung der industriellen Metallberufe grundsätzlich neu geordnet werden musste. Sie vereinbarten Eckdaten und formulierten für die zukünftige Ausbildung die folgenden allgemein gehaltenen Zielvorstellungen:¹⁶⁵⁵

- Vermittlung der Facharbeiterqualifikation, um den Ausgebildeten zu befähigen, in unterschiedlichen Betrieben und Branchen den erlernten Beruf ausüben zu können.
- Die Ausbildung soll dazu befähigen, sich auf neue Arbeitsstrukturen, Produktionsmethoden und Technologien flexibel einstellen sowie an Maßnahmen der Weiterbildung, Fortbildung und Umschulung teilnehmen zu können.

¹⁶⁵² Vgl. Meißner (27.04.2015), S. 28–29.

¹⁶⁵³ Vgl. Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebsorganisation, Regal 8.2.2, 105. BK-Sitzung 3.4.1981 MTU München; Fernau (03.04.1981), S. 7.

¹⁶⁵⁴ Geer/Bartel (1984); die folgenden Ausführungen sind eine grobe Zusammenfassung der Seiten 7–20.

¹⁶⁵⁵ Der Einigung auf das Arbeitspapier gingen konfliktreiche Expertengespräche zwischen Gesamtmetall und der IG Metall seit November 1975 voraus. Vgl. Mignon (1976), S. 22.

- Die Ausbildung ist so zu gestalten, daß ein Auszubildender nach Absolvierung der Abschlussklasse der Hauptschule ohne zusätzliche Hilfen das Ausbildungsziel erreichen kann.
- Bei der Neuordnung sind die organisatorischen sowie die arbeits- und berufspädagogischen Voraussetzungen der Ausbildungsbetriebe zu berücksichtigen.
- Alle Möglichkeiten einer Zusammenfassung sollen genutzt werden.¹⁶⁵⁶

Zwischen 1980 und 1983 wurden dann mit Unterstützung des BIBB¹⁶⁵⁷ zwischen den Metallarbeitgebern und der IG Metall nach einer Ist-Stand-Analyse neue Tätigkeitsbeschreibungen für die einzelnen Berufsbilder entworfen. Aus diesen wurde dann die neue Ausbildungsordnung entwickelt, wobei die NC-Technik vor allem in dem neuen Beruf des Zerspanungsmechanikers zu finden war. Hierzu hatten vor allem Laur-Ernst¹⁶⁵⁸ und Buschhaus¹⁶⁵⁹ vom BIBB mit ihren Überlegungen und Untersuchungen wertvolle Anregungen gegeben.

Strittig war, welche Lerninhalte der NC-Technik die Betriebe und welche die Berufsschulen vermitteln sollten. Nach einer Pressemitteilung der IHK Stuttgart einigte sich am 16.11.1982 eine Expertenrunde im IHK-Bildungszentrum Grunbach darauf, dass die Betriebe den Schwerpunkt bei der NC-Ausbildung übernehmen sollten.¹⁶⁶⁰

Nach der 1984 grundsätzlich erzielten Einigung auf eine neue Ausbildungsordnung dauerte es dann noch bis 1987,¹⁶⁶¹ bis diese mit der Veröffentlichung der „Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen Zerspanungsmechaniker, Zerspanungsmechanikerin“ in Kraft trat.¹⁶⁶² Erst ab 1987 war die NC-Technik offiziell in der beruflichen Ausbildung der Metallberufe verankert.

Kleineren Betrieben fehlten vor allem für das erste Lehrjahr Ressourcen wie Personal und Maschinen. Um trotzdem ausbilden zu können, schlossen diese Betriebe für das erste Lehrjahr entweder einen Ausbildungsvertrag mit einem anderen Unternehmen oder mit einer überbetrieblichen Einrichtung ab. Beispiele in der Region Stuttgart für überbetriebliche Einrichtungen waren im Untersuchungszeitraum das IHK-

¹⁶⁵⁶ Geer/Bartel (1984), S. 7–8.

¹⁶⁵⁷ Bundesinstitut für Berufsbildung.

¹⁶⁵⁸ Laur-Ernst (1982).

¹⁶⁵⁹ Buschhaus (1982).

¹⁶⁶⁰ Nach einer Pressemitteilung der IHK Stuttgart vom 23.11.1982 fand am 16.11.1982 im IHK-Bildungszentrum Grunbach ein Expertengespräch zum Thema „Wie soll die NC-Ausbildung zwischen Berufsschulen und Betrieben verteilt werden?“ statt. Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16-2/102/100; IHK Stuttgart (23.11.1982).

¹⁶⁶¹ Nach Birk freute sich Ende 1984 der Ausbildungsleiter von SWF in Bietigheim, dass mit der verabschiedeten „Neuordnung der Metallberufe“ die bei SWF praktizierte Ausbildung endlich legalisiert wurde. Die SWF hatte ihre Lehrlinge im dritten Lehrjahr an CNC-Maschinen u. a. in der Werkstattprogrammierung ausgebildet. Vgl. Birk (1985).

¹⁶⁶² O. V. (1987b).

Bildungszentrum Grunbach¹⁶⁶³ und die GARP¹⁶⁶⁴ in Plochingen, die von mehreren Firmen mit Unterstützung der IHK getragen wurde. Beide Einrichtungen wurden 1969 gegründet¹⁶⁶⁵ und hatten für die NC-Weiterbildung von Facharbeitern NC-Maschinen beschafft (vgl. Kapitel 8.1.4), die auch für die gewerbliche Ausbildung genutzt werden konnten.

Für die Ausbildung in den neuen Metallberufen mussten sich auch die Berufsschulen auf die NC-Technik einstellen, was die Beschaffung von NC-Maschinen erforderte. Einigen Berufsschulen war dies schon vor der Verabschiedung der neuen Ausbildungsordnung gelungen, wie aus einem Vermerk des GARP-Mitarbeiters Frädrich Anfang 1982 hervorgeht. Konkret nannte Frädrich die Berufsschulen in Schorndorf, Waiblingen, Göppingen, Geislingen und die Max-Eyth-Schule in Stuttgart. Backnang stand kurz vor der Beschaffung. Allerdings – so hieß es –würden die NC-Maschinen nur wenig genutzt, da Lehrer und Schüler damit überfordert seien.¹⁶⁶⁶

Zusammengefasst dauerte es fast bis Ende der 1980er Jahre, bis die NC-Technik in die Ausbildungsordnungen und in die Lehrpläne verbindlich integriert war. Bis zu diesem Zeitpunkt blieb es den Betrieben überlassen, ihre Auszubildenden freiwillig zu schulen, was einige Betriebe wie z. B. die Gebr. Boehringer in Göppingen auch durchführten.

8.1.4 NC-Weiterbildung der gewerblichen Mitarbeiter

Da die Integration der NC-Technik in die gewerbliche Ausbildung sehr lange dauerte, war es umso wichtiger, die im Beruf stehenden Facharbeiter auf die NC-Technik zu schulen, wenn sie an NC-Maschinen arbeiten sollten.

Da kleinere Betriebe nur in Ausnahmefällen Erfahrungsträger hatten, konnte das notwendige Wissen nur über Schulungen und Weiterbildungen beim Werkzeugmaschinenhersteller oder einem „neutralen“ Anbieter erworben werden.¹⁶⁶⁷ Die Alternative war, auf die NC-Einführung zu verzichten oder sich das Wissen selbst beizubringen und es durch „Trial-and-Error“ und Erfahrungsaustausch zu vertiefen.

Bei der NC-Weiterbildung für gewerbliche Mitarbeiter leistete das 1969 eröffnete IHK-Bildungszentrum in Grunbach im Remstal in der Nähe von Stuttgart Pionierarbeit

¹⁶⁶³ Der heutige Name ist „IHK Bildungshaus“.

¹⁶⁶⁴ Gemeinschaftsausbildungsstätte Ruit, Plochingen; aktueller Name: GARP Bildungszentrum für die IHK Region Stuttgart e. V.

¹⁶⁶⁵ Vgl. o. V. (1969) und vgl. GARP Bildungszentrum e. V. (2021).

¹⁶⁶⁶ Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16-2/102/156; IHK Stuttgart (03.02.1982).

¹⁶⁶⁷ Nach der 1974 veröffentlichten Untersuchung von Clausnitzer hatten Anfang 1974 nur 7 % der untersuchten Betriebe bis 100 Mitarbeiter NC-Maschinen in Betrieb. (Vgl. Clausnitzer (1974), S. 8). Speziell diese kleinen Betriebe waren auf ein gutes Schulungsangebot angewiesen, wenn sie NC-Maschinen beschafften.

(vgl. Kapitel 8.1.3). Der erste Leiter Augustin war schon Anfang der 1970er Jahre davon überzeugt, dass das Bildungszentrum auch für die NC-Technik Weiterbildungen anbieten sollte. Da das Bildungszentrum die Investitionsmittel für die NC-Maschinen nicht selbst erwirtschaften konnte, versuchte Augustin mehrfach, dafür finanzielle Unterstützung vom Träger IHK Mittlerer Neckar in Stuttgart zu bekommen.¹⁶⁶⁸ In einem Brief vom 20. April 1976 begründete Augustin erneut die aus seiner Sicht notwendige Beschaffung einer NC-Maschine wie folgt:

Mit der Anschaffung einer NC-gesteuerten Werkzeugmaschine werden wir nicht nur wieder einen Vorsprung in der Aus- und Fortbildung auf diesem Gebiet erreichen, sondern die Maschine würde auch unsere gut eingeführten Seminare auf dem Gebiet der Ölhydraulik und Elektronik durch ein fachpraktisches Anwendungsgebiet noch ergänzen. Ich bin davon überzeugt, daß ich die IHK Mittlerer Neckar mit dem Vorschlag, eine NC-gesteuerte Werkzeugmaschine anzuschaffen, mit einem in die Zukunft weisenden Aus- und Fortbildungsprogramm richtig berate und die Investition wirtschaftlich vertretbar sein wird.¹⁶⁶⁹

Auch 1976 wurde die Beschaffung noch nicht genehmigt. Erst Anfang 1978 kam Bewegung in Augustins Anliegen, wahrscheinlich, weil jetzt die Möglichkeit staatlicher Förderung bestand. Am 22.2.1978 bat der IHK-Geschäftsführers Breitmeier den Vorstand Horak, die Beschaffung einer VDF-CNC-Universaldrehmaschine DN 570 der Gebr. Boehringer aus Göppingen einschließlich Zubehör zu genehmigen:

Da es bislang so gut wie keine NC-Ausbildungsstätten gibt, in denen werkstattorientiert das Programmieren und Einrichten NC-gesteuerter Werkzeugmaschinen vermittelt wird, wird auch quantitativ der Fortbildungsbedarf beträchtlich anwachsen.¹⁶⁷⁰

Breitmeier führte weiter aus, dass ein Zuschuss von 33 % durch das Land Baden-Württemberg und von 50 % durch das Landesgewerbeamt in Aussicht gestellt worden sei.¹⁶⁷¹ Jetzt ging es schnell. Schon am 29. März 1978 beantragte Horak einen Zuschuss beim Landesgewerbeamt,¹⁶⁷² der schon am 16. Mai 1978 bis zu einer Höhe von

¹⁶⁶⁸ Augustin erinnerte 1976 in seinem „Bittbrief“ zur Beschaffung einer NC-gesteuerten Werkzeugmaschine an den Hauptgeschäftsführer der IHK Mittlerer Neckar noch daran, dass er schon seit 1972 Rückstellungen für die Beschaffung einer NC-Maschine regelmäßig in den Haushaltsmitteln beantragt hatte. Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16-2/102/20; Augustin (20.04.1976), S. 1.

¹⁶⁶⁹ Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16-2/102/20; Augustin (20.04.1976), S. 1.

¹⁶⁷⁰ Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; IHK Stuttgart (22.02.1978), S. 1.

¹⁶⁷¹ Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; IHK Stuttgart (22.02.1978), S. 2.

¹⁶⁷² Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; Horak (29.03.1978).

73.590 DM genehmigt wurde.¹⁶⁷³ Zusätzlich gab das Landesarbeitsamt am 30. November 1978 noch einen Zuschuss von 115.000 DM.¹⁶⁷⁴

Die NC-Drehmaschine von Boehringer wurde im Herbst 1978 in Betrieb genommen. Erste Lehrgänge fanden noch Ende 1978 statt.¹⁶⁷⁵ Die Schulungen waren gut strukturiert und wurden gut gebucht, was weitere Maschinenbeschaffungen notwendig machte. Auf die weiteren Beschaffungsvorgänge soll hier im Detail nicht näher eingegangen werden, da sie außerhalb des Untersuchungszeitraums lagen. Genannt werden soll aber noch der Maschinen- und Gerätebestand von 1987 für die NC-Kurse.¹⁶⁷⁶

- Drehmaschine Boehringer VDF 180C (Eigentum)
- Drehmaschine Traub TNS 30 D (leihweise)
- Drehmaschine Gildemeister CT 40 (Leasing)
- CNC-Fräsmaschine Maho MH 500 C (Eigentum)
- Kelch-Werkzeugvoreinstellgerät (Eigentum)
- Acht Boehringer Programmierplätze (leihweise)
- Boehringer Simulator (leihweise)
- Traub Simulator (Eigentum)
- Programmierplätze von rwt (leihweise)

Zwischen Boehringer und dem Bildungszentrum entwickelte sich durch die Schulungen eine enge Geschäftsbeziehung, die über die Lieferung von Maschinen zu guten Konditionen hinausging. Boehringer und das Bildungszentrum vereinbarten, die Kundens Schulungen für die Boehringer-NC-Maschinen im Bildungszentrum in Grunbach durchzuführen. Für beide war das eine Win-win-Situation. Das Bildungszentrum hatte durch die Boehringer-Kundenkurse eine Grundaustlastung und Boehringer sparte sich den Aufbau eines eigenen, größeren Schulungszentrums. Die Kundens Schulungen in Grunbach begannen 1979, mussten aber 1983 beendet werden.¹⁶⁷⁷ Boehringer war in eine Krise geraten und holte die Kundens Schulungen ins eigene Haus zurück, um die eigenen Mitarbeiter besser auszulasten.¹⁶⁷⁸

¹⁶⁷³ Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; Landesgewerbeamt Baden-Württemberg (16.05.1978).

¹⁶⁷⁴ Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; Landesarbeitsamt Baden-Württemberg (30.11.1978).

¹⁶⁷⁵ Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; Industrie- und Handelskammer Mittlerer Neckar/IHK-Fortbildungszentrum Grunbach (November 1979), S. 2.

¹⁶⁷⁶ Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; IHK Stuttgart (23.02.1987), Anlage Erne vom 17.2.1987.

¹⁶⁷⁷ Vgl. Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; IHK Stuttgart (23.02.1987), Anlage Erne v. 17.2.1987.

¹⁶⁷⁸ Vgl. Erne (13.06.2014), S. 4. Erne war der Nachfolger von Augustin und leitete das IHK-Bildungszentrum Grunbach von 1983-2002. Vgl. Erne (13.06.2014), S. 3.

Wegen des guten Rufs der Weiterbildungskurse in Grunbach waren weitere Werkzeugmaschinenhersteller daran interessiert, dass in Grunbach auf ihren Maschinen geschult wurde. Sie erhofften sich wie Boehringer einen Multiplikationseffekt: Facharbeiter, die auf Boehringer-Maschinen geschult wurden, würden in ihrem Betrieb die Beschaffung einer Boehringer-Maschine unterstützen. Nachdem auch der Drehmaschinenhersteller Traub in Grunbach leihweise eine Maschine platziert hatte, fühlte sich der Mitbewerber Index benachteiligt. Die Beschwerde wurde von der IHK mit der Begründung abgelehnt, dass in der zweiten überbetrieblichen Ausbildungsstätte GARP zwei Index-Maschinen als Leihgabe wären; dem Bildungszentrum in Grunbach sei bisher von Index keine Maschine als Leihgabe angeboten worden.¹⁶⁷⁹

Das Ausbildungszentrum in Grunbach war auch ein Vorbild für vergleichbare Bildungszentren, die nach und nach in der Bundesrepublik Deutschland entstanden. Erne, der Nachfolger Augustins, erinnert sich:

Bundesweit gab es etwa sieben, acht technische IHK-Bildungszentren. Grunbach hat deshalb beim DIHK¹⁶⁸⁰ eine starke Position gehabt, was die CNC-Technik anging. Wir haben weitgehend die CNC-Lehrgangsunterlagen mitentwickelt. Sie wurden dann vom DIHK auch anderen Industrie- und Handelskammern und Bildungszentren zur Verfügung gestellt. Also wie gesagt, wir haben eine starke Vorreiterrolle innegehabt und wichtige Impulse gegeben; für die Weiterbildung von Facharbeitern in der CNC-Technik und später dann auch in der Lehrlingsausbildung. Da war Grunbach schon die Keimzelle, das kann man so schon sagen. Wir haben dann auch sehr starken Einfluss gehabt auf die CNC-Entwicklung in den Ausbildungswerkstätten im Großraum Stuttgart. Mein jetziger Schreibtisch steht ja in der IHK in Göppingen. Und im Landkreis Göppingen treffe ich immer wieder ältere 55–60-jährige Ausbilder, die noch in der Arbeit sind und die zu mir sagen: „CNC-Technik habe ich in Grunbach gelernt.“¹⁶⁸¹

Zusammengefasst entwickelte sich erst ab Ende der 1970er Jahre ein nennenswerter Markt für die Weiterbildung von Facharbeitern für die NC-Technik. Vorher fiel es auch weitsichtigen Leitern von Bildungszentren wie Augustin schwer, die notwendigen Investitionsmittel zu beschaffen. Die Geschäftsführungen befürchteten, dass sich die Investitionen nicht amortisierten. Eine wichtige Rolle hatte das IHK-Bildungszentrum in Grunbach, das auf Drängen seines Leiters als eine der ersten Einrichtungen NC-

¹⁶⁷⁹ Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, WABW A16/2/102/20; IHK Stuttgart (23.02.1987), gez. S. 1. Nach dem Vermerk von Dr. B. (vermutlich Dr. Breitmeier) hatte sich Index am 12.2.1987 beim IHK-Präsidenten darüber beschwert, dass in Grunbach keine Index-CNC-Maschine steht, aber eine Maschine des Mitbewerbers Traub.

¹⁶⁸⁰ Deutscher Industrie- und Handelskammertag. Dachorganisation der IHKs.

¹⁶⁸¹ Erne (13.06.2014), S. 6.

Weiterbildung für Facharbeiter anbot¹⁶⁸² und die NC-Schulung anderer Bildungszentren mitprägte.

Bis genügend Schulungskapazität für gewerbliche Mitarbeiter zur Verfügung stand, mussten Schulungen aber noch überwiegend durch die Werkzeugmaschinenhersteller, erfahrene Mitarbeiter oder im „Selbststudium“ erfolgen.

8.2 Die Industriegewerkschaft Metall und die NC-Technik

Die NC-Technik löste Befürchtungen aus, dass sich durch sie mittelfristig die Arbeits- und Tätigkeitmerkmale von vielen Metallfacharbeitern verändern würden. Um die Fragen der Betroffenen beantworten zu können, musste sich die Industriegewerkschaft Metall (IG Metall) mit den Chancen, Risiken und Problemen der NC-Technik auseinandersetzen und ihre Betriebsräte in den betroffenen Unternehmen so gut schulen, dass sie die Fragen der Beschäftigten beantworten und in Verhandlungen mit der Geschäftsleitung die Interessen ihrer Mitglieder vertreten konnten.

8.2.1 Automation und NC-Technik

Schon vor der NC-Technik hatten sich durch den technischen Fortschritt die Arbeitsinhalte in der metallverarbeitenden Industrie immer wieder verändert. Jobs verschwanden und neue entstanden. Mitte der 1950er Jahre beschloss deshalb die IG Metall, sich intensiver mit der fortschreitenden Automatisierung, neuen Technologien und den Konsequenzen für ihre Mitglieder auseinanderzusetzen.¹⁶⁸³ Ein wichtiger Schritt dabei war 1957 die Gründung der neuen Stabsabteilung „Automatisierung und Kernenergie“ unter der Leitung von Günter Friedrichs durch den Vorstand Otto Brenner.¹⁶⁸⁴ Der Name der neuen Abteilung deutete darauf hin, dass die IG Metall damals sowohl von der Kernenergie als auch von der Automatisierungstechnik große Auswirkungen auf ihre Mitglieder erwartete.

Im Laufe der Jahre wurde Friedrichs ein geschätzter Gesprächspartner zu Fragen und Folgen der Automatisierung. In einem Spiegelgespräch mit dem Titel „Sind 35 Stunden genug?“ nahm er 1964 dazu Stellung, dass in der Bundesrepublik Deutschland jedes Jahr etwa 1,5 Mio. Arbeitsplätze durch Automatisierung verloren gingen, was die Größenordnung des Problems noch vor der Einführung der NC-Technik verdeutlicht.

¹⁶⁸² Der erste Leiter des IHK-Bildungszentrums in Grunbach Augustin war überzeugt, dass Grunbach bundesweit die erste Bildungsstätte war, die CNC-Lehrgänge anbot. Vgl. Erne (13.06.2014), S. 4.

¹⁶⁸³ Schon die Vorgängerorganisation der IG-Metall, der Deutsche Metallarbeiter-Verband (DMV), führte zwischen 1925 und ihrer Auflösung 1933 eine Rationalisierungsdebatte. Der Vorstand des DMV stand Rationalisierungen tendenziell positiv gegenüber. Vgl. Swiniartzki (2017), S. 363.

¹⁶⁸⁴ Vgl. o. V. (1964b).

Friedrichs sah perspektivisch nur in der Einführung der 35-Stunden-Woche eine Möglichkeit, die freigesetzten Arbeitskräfte dauerhaft weiterzubeschäftigen.¹⁶⁸⁵

Friedrichs versuchte Lösungen für die Auswirkungen der Automatisierung zu finden. Dazu organisierte er drei große Automatisierungstagungen, die auf eine breite Resonanz stießen.¹⁶⁸⁶ Die erste Tagung fand vom 3. bis 5. Juli 1963 mit dem Titel „Automation und technischer Fortschritt in Deutschland und den USA“ im Frankfurter Amerika-Haus mit 250 Teilnehmern statt; die wichtigsten Beiträge der Tagung wurden als Buch veröffentlicht.¹⁶⁸⁷ Auf dieser Tagung spielte die NC-Technik noch keine große Rolle, da damals mit anderen Technologien viel größere Rationalisierungseffekte erzielt wurden. Lediglich Seligman aus den USA erwähnte in seinem Vortrag, dass die US-Werkzeugmaschinenindustrie von der Armee gezwungen wurde, moderne Verfahren für die Maschinensteuerung einzusetzen. Diese Art der Automation sei auch bei kleinen Stückzahlen wirtschaftlich, wenn die Werkstücke häufig geändert werden müssten.¹⁶⁸⁸

Zwei Jahre später, vom 16. bis 19. März 1965, folgte die zweite Tagung mit dem Titel „Automation, Risiko und Chance“ in Oberhausen. Die Beiträge wurden wieder als Buch veröffentlicht. Es wurde sogar zweimal aufgelegt, was zeigt, dass ein großes Interesse an den auf dieser Tagung diskutierten Fragestellungen bestand. Wie die wichtigsten Überschriften zeigen, war die Bandbreite der Themen groß:¹⁶⁸⁹

- Technischer Fortschritt und die Tätigkeit internationaler Organisationen
- Technischer Fortschritt und die Tätigkeit nationaler Regierungen
- Wirtschaftliche Auswirkungen
- Sozialpolitik
- Arbeitsmarktpolitik
- Gesundheitspolitik
- Automation und die Parteien
- 41 Beispiele zum technischen Fortschritt
- Bildung und Ausbildung
- Berufsvorbereitung (Schule)
- Berufsausbildung
- Betriebliche Sozialplanung
- Arbeitsorganisation

¹⁶⁸⁵ Vgl. Friedrichs/Simoneit (1964), S. 51.

¹⁶⁸⁶ Die dritte Automatisierungstagung fand vom 5. bis 8. März 1968 in Oberhausen statt. Im Unterschied zu den ersten zwei Tagungen war sie nicht technologieoffen, sondern hatte den Arbeitstitel „Computer und Angestellte“. Vgl. Friedrichs (1971) Auf sie wird nicht näher eingegangen.

¹⁶⁸⁷ Vgl. Brenner (1963).

¹⁶⁸⁸ Vgl. Seligman (1963), S. 60–61.

¹⁶⁸⁹ Vgl. Inhaltsverzeichnis Friedrichs (1965), S. 1161–1171.

- Tarifpolitik
- Gewerkschaften und technischer Fortschritt

Die Überschriften zeigen, dass die Auswirkungen der Automatisierung überwiegend gesellschaftspolitisch und allgemeingültig diskutiert wurden. Die einzelnen Technologien der Automatisierung wurden nur beispielhaft behandelt; die „numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine“ war das 13. Beispiel der „41 Beispiele zum technischen Fortschritt“.¹⁶⁹⁰ Auch 1965 hatten andere Automatisierungen noch weitaus größere Auswirkungen auf die Arbeitsplätze als die NC-Technik (z. B. die Automatisierung im Postsparkassendienst¹⁶⁹¹, Briefsortieranlagen¹⁶⁹² oder Kunststoffspritzgussanlagen¹⁶⁹³).

Auf der Tagung wurden die Auswirkungen der Automatisierung möglichst breit diskutiert, um Handlungsfelder für die IG Metall herauszufiltern. Die Ergebnisse wurden in der „EntschlieÙung über Automation und technischen Fortschritt“ zusammengefasst und auf dem 8. ordentlichen Gewerkschaftstag der IG Metall vom 6. bis 11. September 1965 in Bremen zusammen mit Forderungen an die Regierungen und Unternehmer als EntschlieÙung verabschiedet. Wichtig waren die Punkte der EntschlieÙung, in denen Forderungen zur Qualifizierung der Arbeitnehmer durch (Weiter-)Bildung und ihrer sozialen Abfederung formuliert waren:

[...]

Der 8. Gewerkschaftstag fordert von der Bundesregierung und den Länderregierungen:

[...]

g) Einführung neuer Schul-, Ausbildungs-, Weiterbildungs- und Umschulungssysteme, die eine hohe individuelle Anpassungsfähigkeit der Arbeitnehmer an veränderte Arbeitsbedingungen sichern, insbesondere:

- Beseitigung einklassiger oder wenigklassiger Schulen,
- Einführung der zehnjährigen Pflichtschulzeit,
- Einführung von betrieblichen und überbetrieblichen Weiter- und Umschulungsmöglichkeiten für Erwachsene ohne Einkommensminderung,
- Überprüfung aller Berufsbilder und betrieblicher Ausbildungssysteme auf ihre Brauchbarkeit für die Zukunft,
- Ermittlung des qualitativen und quantitativen Berufsbedarfs der Zukunft.

[...]

Der 8. Gewerkschaftstag fordert von den Unternehmern:

[...]

b) tarifliche Bestimmungen zum Schutz der Arbeitnehmer bei technischen und organisatorischen Änderungen, insbesondere

¹⁶⁹⁰ O. V. (1965b), S. 552.

¹⁶⁹¹ Durch die automatische Kontenführung (Beispiel 31) wurden 692 Arbeitsplätze eingespart. Vgl. o. V. (1965b), S. 564–565.

¹⁶⁹² Durch eine vollautomatisierte Briefsortieranlage in Pforzheim fielen mehrere hundert Arbeitsplätze weg. (Beispiel 32). Vgl. o. V. (1965b), S. 565.

¹⁶⁹³ Konnten z. B. Blech- durch Kunststoffspritzgussteile ersetzt werden, erhöhte sich die Produktivität um Faktoren (Beispiel 25). Vgl. o. V. (1965b), S. 561.

- Erarbeitung von sozialen Anpassungsplänen als Gegenstück zu den Investitions- und Umstellungsplänen unter Mitbestimmung der Arbeitnehmer,
- Lohn- und Gehaltsgarantien bei Umsetzungen oder Veränderungen am Arbeitsplatz,
- Umschulung während der Arbeitszeit mit Lohn- und Gehaltsausgleich,
- Ausgleichszahlungen bei unvermeidbaren Entlassungen oder langfristigen, nicht korrigierbaren Abgruppierungen,
- [...]
- d) Berücksichtigung des Menschen bei der Gestaltung neuer Arbeitsplätze und bei der Konstruktion neuer Maschinen.¹⁶⁹⁴

Die Umsetzung der Entschließung dauerte teilweise Jahre. Besonders deutlich wurde dies bei Neuordnung der Berufsbilder (Punkt g). Die Berufsbilder der Metallberufe waren z. B. erst 1987 (also nach über zwanzig Jahren) endgültig reformiert (vgl. Kapitel 8.1.3). Dies lag aber nicht an der IG Metall, sondern an den vielen Beteiligten, die sich abstimmen mussten.

Die Forderungen des 8. Gewerkschaftstags waren durchaus vernünftig, zeigten sie doch, dass die IG Metall gegenüber Neuerungen prinzipiell aufgeschlossen war.¹⁶⁹⁵ Sie forderte z. B. Unternehmen und Staat auf, neue und langjährige Mitarbeiter so aus- bzw. weiterzubilden, dass sie die Herausforderungen der Automatisierung bewältigen konnten. Nur wo dies nicht möglich war, sollten die Mitarbeiter sozial abgedeckt werden.¹⁶⁹⁶

Noch bevor die NC-Technik auf den ersten beiden Automatisierungstagungen eines von vielen Themen wurde, informierte die IG Metall Mitglieder und Funktionäre über die neue Technologie in ihren Publikationen. Die Information der Mitglieder erfolgte zuerst in der Zeitung „Metall“ in Berichten über die Werkzeugmaschinenausstellungen 1960 in Chicago¹⁶⁹⁷ und 1961 in Brüssel¹⁶⁹⁸. Beide Artikel berichteten sachlich über die Leistungsfähigkeit der neuartigen Maschinen, mit denen komplexe Teile mit hoher Qualität und Präzision hergestellt werden konnten. Die Frage, ob NC-Maschinen Arbeitsplätze gefährden könnten, wurde nicht angeschnitten. Einen etwas anderen Grundtenor hatte dagegen 1961 ein Artikel in der Monatsschrift „Der Gewerkschafter“ für die Funktionäre. In ihm waren mehrere Beispiele aufgeführt, wie mit NC-Maschinen drastische Zeiteinsparungen in der Fertigung erzielt wurden. So wurde z. B. bei Boeing die Arbeitszeit für ein Werkstück von 1400 Stunden auf 700 Stunden

¹⁶⁹⁴ O. V. (1965c), S. 1114–1115.

¹⁶⁹⁵ In einem Beitrag des Reports „Technischer Wandel“ schrieb 1976 das Vorstandsmitglied Karl-Heinz Janzen: „Die gewerkschaften haben bisher grundsätzlich den technischen Wandel bejaht. Zugleich haben die aber auch gefordert [...], daß Form und Tempo [...] nicht einseitig zu Lasten der Arbeitnehmer gehen dürfen.“ Janzen (1976), S. 10.

¹⁶⁹⁶ Die Forderung nach sozialer Abfederung für Verlierer technischer Entwicklungen hat sich bis heute erhalten. Insofern ist sie ein fester Bestandteil unseres Innovationssystems geworden.

¹⁶⁹⁷ Monden (1961a).

¹⁶⁹⁸ O. V. (1961c).

reduziert, bei einem anderen die Maschinenzeit von 25 Stunden auf 1,2 Stunden. Am Ende des Artikels wurden dann die längerfristigen Auswirkungen auf die Arbeitsplätze mit dem Ergebnis diskutiert, dass so drastische Produktivitätsfortschritte nur mit einer Reduzierung der Arbeitszeit kompensiert werden könnten.¹⁶⁹⁹ Insofern deutete sich die von Friedrichs 1963 im Spiegel-Interview geäußerte und schon zitierte Position der IG-Metall zur Arbeitszeitverkürzung an, obwohl sie damals viel stärker von anderen Technologien als der NC-Technik gespeist wurde.

Um ihre Betriebsräte und Funktionäre für Gespräche über den vielfältigen technologischen Wandel und die Automatisierung argumentativ zu rüsten, bot die IG Metall in ihren Schulungszentren Lehrgänge an. Einige Details dazu stehen im Geschäftsbericht 1965 bis 1967 im Kapitel „Automation und Kernenergie“. Danach gab es schon 1959 einen ersten einwöchigen Lehrgang für Referenten und Bildungsobleute „für Fragen des technischen Fortschritts (Automation)“; der erste zweiwöchige Aufbaukurs wurde 1962 angeboten. Ab 1964 wurden zusätzlich auch auf Bezirksebene ein- bis zweitägige Wochenendschulungen angeboten. Zweck der Lehrgänge war laut Vorstandsbericht, „haupt- und ehrenamtliche Funktionäre darauf vorzubereiten, dass technische und strukturelle Wandlungen auch in der Metallwirtschaft Freisetzungen und Qualifikationsveränderungen verursachen. Frühzeitige betriebliche Maßnahmen sind deshalb notwendig, um soziale Härten zu vermeiden.“¹⁷⁰⁰

Die Schulungen hatten eine gute Resonanz. Bis 1967 hatten 894 Teilnehmer den Grundlehrgang und 207 den Aufbaulehrgang absolviert und auf Bezirksebene bestanden schon 74 Arbeitskreise „Technischer Fortschritt“; 37 waren noch geplant.¹⁷⁰¹

Die Teilnehmerzahlen, Schulungen und Arbeitskreise verdeutlichen, dass sich die IG Metall in ihrer gesamten Organisation intensiv mit den Folgen des technischen Wandels und der Automation auseinandersetzte und versuchte, ihre Mitglieder bei den Veränderungen zu begleiten. Sie war in Automatisierungsfragen aber nicht auf Konfrontation mit den Arbeitgebern aus, sondern versuchte den Wandel zu gestalten. Auch für die NC-Technik wurde das von allen Interviewpartnern bestätigt. Keiner der Zeitzeugen erinnerte sich an grundsätzliche Konflikte mit der IG Metall bei der Einführung der NC-Technik, was aber auch daran gelegen haben könnte, dass erst gegen Ende des Untersuchungszeitraums Auswirkungen der NC-Technik auf die Arbeitsplätze etwas deutlicher zu spüren waren.

Der Bericht der Abteilung Automation für 1974 bis 1976¹⁷⁰² befasste sich auch mit den ökonomischen Randbedingungen der westdeutschen Industrie und war noch von den

¹⁶⁹⁹ Vgl. Monden (1961b).

¹⁷⁰⁰ Vgl. Vorstand der IG Metall Deutschland (1968), S. 76–77.

¹⁷⁰¹ Vgl. Vorstand der IG Metall Deutschland (1968), S. 78–79.

¹⁷⁰² Vorstand der IG Metall Deutschland (1977).

wirtschaftlichen Auswirkungen der ersten Ölkrise beeinflusst.¹⁷⁰³ Die IG Metall befürchtete, dass zukünftig ein Anstieg der Arbeitslosigkeit nicht mehr durch das Wachstum des Bruttosozialprodukts und die Verkürzung der Arbeitszeit kompensiert werden könnte, da neue Technologien wie Mikroelektronik, Handhabungsautomation, numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen und Prozessrechner den Rationalisierungsdruck drastisch erhöhten.¹⁷⁰⁴ Für „Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen“¹⁷⁰⁵ erwartete die IG Metall zwischen 1975 und 1980 einen Anstieg des Bestands an NC-Maschinen in Westdeutschland von 5.600 auf 8.000 Stück. Da die NC-Maschinen deutlich produktiver als konventionelle Maschinen wären, würden die Mitarbeiter durch Mehrmaschinenbedienung, erhöhte Prüf- und Kontrolltätigkeit und Schichtbetrieb stärker belastet. Die gerade aufkommenden CNC-Steuerungen seien nochmals produktiver und flexibler und in Verbindung mit verketteten Fertigungssystemen würden weitere Arbeitsplätze verloren gehen.¹⁷⁰⁶ Die NC-Maschinen würden so immer mehr in die Einzel-, Klein- und Mittelserienfertigung vordringen.¹⁷⁰⁷ Das war kein unrealistisches Szenario, war jedoch bezogen auf die dann 1980 in Westdeutschland installierten 25.0000 NC-Maschinen viel zu konservativ geschätzt.¹⁷⁰⁸

Der Bericht analysierte auch die Beschäftigungsentwicklung der gesamten Metallindustrie, um den Einfluss des technischen und strukturellen Wandels für die Beschäftigten insgesamt zu ermitteln. Danach stieg zwischen 1970 und 1976 die Arbeitsproduktivität um 30 % an, die Nettoproduktion aber nur um etwa 7 %. Als Konsequenz sank die Zahl der Beschäftigten um 11 %, die der Beschäftigungsstunden um 18 %, was auf Arbeitszeitverkürzung bzw. weniger Überstunden hindeutete.¹⁷⁰⁹ Auf jeden Fall wird aber deutlich, dass die Sorgen der IG Metall bzgl. des Wegfalls von Arbeitsplätzen nicht unbegründet waren und die NC-Technik dabei einer von mehreren Einflussfaktoren war.

¹⁷⁰³ Die erste Ölkrise führte 1973/1974 zum größten Rückgang des Bruttosozialprodukts seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs. Vgl. Kiesow (2015), S. 20. Werkzeugmaschinenhersteller hatten mit einem besonders hohen Rückgang des Auftragseingangs zu kämpfen. Vgl. hierzu auch Kapitel 5.4.

¹⁷⁰⁴ Vgl. Vorstand der IG Metall Deutschland (1977), S. 546–549. Angesprochen wurde, dass sich durch die Weltwirtschaftskrise im Berichtszeitraum die sozialen Folgewirkungen technologischer Veränderungsprozesse verschärft haben. In der Industrie seien 988.453 Arbeitsplätze zwischen 1970 und 1975 abgebaut worden.

¹⁷⁰⁵ Vorstand der IG Metall Deutschland (1977), S. 549.

¹⁷⁰⁶ Der Bericht sprach noch nicht von CNC-Maschinen, sondern noch von prozessrechnergesteuerten NC-Maschinen.

¹⁷⁰⁷ Vgl. Vorstand der IG Metall Deutschland (1977), S. 549.

¹⁷⁰⁸ Die geschätzte Zahl von 5.600 NC-Maschinen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1975 erscheint stimmig, da 1974 Clausnitzer 4.400 NC-Maschinen ermittelte. Vgl. Clausnitzer (1974), S. 6. Die Schätzung für 1979 lag jedoch massiv daneben. Der VDW schätzte 1980 in seinem Altersstrukturbericht des Werkzeugmaschinenparks den Bestand auf ungefähr 25.000 NC-Maschinen. Vgl. o. V. (1980a), S. 5.

¹⁷⁰⁹ Vgl. Vorstand der IG Metall Deutschland (1977), S. 553.

Betont wurde auch die Wichtigkeit einer verbesserten beruflichen Bildung, um die Risiken des technischen und wirtschaftlichen Wandels aufzufangen und den Beschäftigten neue Perspektiven zu geben. Die IG Metall forderte deshalb die Betriebsräte auf, sich mit den Folgen der Automatisierung zu befassen und sich für eine bessere berufliche Bildung einzusetzen.¹⁷¹⁰

Angekündigt wurde auch, dass sich die Abteilung Automation stärker beim RKW¹⁷¹¹ engagieren würde, „um die sozialen und ökonomischen Folgewirkungen technisch-organisatorischer Veränderungsprozesse zu untersuchen“¹⁷¹². Konkret wurde 1976 die RKW-Studie A133 „Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen des CNC-Werkzeugmaschineneneinsatzes“¹⁷¹³ angestoßen, auf deren wichtigste Ergebnisse an geeigneter Stelle zurückgegriffen wird.

Die stärkere Fokussierung der Abteilung Automation auf die NC-Technik wurde auch personell sichtbar. Ab 1975 verstärkte Udo Blum, ein ehemaliger Mitarbeiter von Simon in Berlin und gelernter Dreher mit Berufserfahrung,¹⁷¹⁴ die Abteilung Friedrichs. Blum brachte Erfahrung als Facharbeiter zusammen mit einer wissenschaftlichen Ausbildung mit. Er hatte eine ähnliche Sicht wie Noble (vgl. Kapitel 3.1) auf die NC-Technik und sah sie in ihrer aktuellen Ausprägung aus Facharbeitersicht als Fehlentwicklung an. Nach Blum nutzte die NC-Technik das implizite Wissen des Facharbeiters für die NC-Programmerstellung zu wenig, da die Programmierung oft fachlich und räumlich weg von den Facharbeitern und hin zu Personen und Abteilungen verlagert wurde (z. B. in die Programmierabteilung), die keine praktische Erfahrung hatten.¹⁷¹⁵ Blum favorisierte deshalb eine NC-Technologie, die sich mehr an dem in Westdeutschland und auch in den USA anfangs verfolgten Record-Playback-Verfahren orientiert hätte (vgl. Kapitel 3.2).¹⁷¹⁶ Er versuchte, über die IG Metall möglichst viel von seiner Überzeugung in aktuelle Entwicklungen bei den Steuerungsherstellern und in die Projekte der produktionstechnischen Hochschulinstitute einzubringen. Dies führte zur Unterstützung der schon in Kapitel 4.13 und 7.6 beschriebenen Werkstattprogrammierung durch die IG Metall, da die Entwicklung auf Record-Playback-Steuerungen nicht mehr umzusteuern war.¹⁷¹⁷

¹⁷¹⁰ Vgl. Vorstand der IG Metall Deutschland (1977), S. 553–554.

¹⁷¹¹ Ursprünglich: Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit in Industrie und Handwerk; ab 1950: Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e. V.; seit 2000: RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e. V.

¹⁷¹² Vorstand der IG Metall Deutschland (1977), S. 558.

¹⁷¹³ Rempp (1981).

¹⁷¹⁴ Vgl. Blum (25.2. und 18.07.2016), S. 53.

¹⁷¹⁵ Vgl. Blum (25.2. und 18.07.2016), S. 32.

¹⁷¹⁶ Vgl. Blum (1980), S. 49–51.

¹⁷¹⁷ Sehr deutlich formulierte Blum seine diesbezügliche Einstellung in einem Vortrag, den er im September 1983 auf dem Symposium „Arbeit und Technik“ hielt. Vgl. Archiv der sozialen Demokratie (AdsD, IG Metall), IGM 5/IGMA240146; Blum (September 1983), S. 12–18.

Eine von der Firma R&D¹⁷¹⁸ entwickelte NC-Steuerung für Schwerwerkzeugmaschinen kam den Vorstellungen Blums sehr nahe, weil sie sich sehr stark am Vorgehen und an dem erfahrungsbasierten Handeln und Denken der Facharbeiter orientierte. Blum versuchte nach eigenen Angaben vergeblich, andere Steuerungshersteller und Endanwender von den Vorteilen der R&D-Steuerungsphilosophie zu überzeugen.¹⁷¹⁹

Mitte der 1970er Jahre geriet die IG Metall bzgl. ihrer Einstellung zur NC-Technik in ein Dilemma. Nicht zuletzt durch die Ölkrisen stagnierte die Werkzeugmaschinenproduktion zwischen 1974 und 1977 bei etwa 3.5 Mrd. €, während durch den kontinuierlichen Produktivitätsfortschritt die Zahl der Beschäftigten ausgehend vom Spitzenwert 125.000 (1970) auf 99.000 (1977) zurückgegangen war.¹⁷²⁰ Für Hinz von der IG Metall war die mangelnde Innovationsbereitschaft der Branche eine weitere Ursache für den Rückgang der Beschäftigten bzw. die Stagnation der Umsätze, wie er in der Zeitschrift „Der Gewerkschafter“ schrieb.¹⁷²¹ Die Werkzeugmaschinenindustrie war für ihn ein „Universalproduzent auf überholter Technologiebasis“¹⁷²² geworden. Um zu vermeiden, dass der Maschinenbau (und damit auch die Werkzeugmaschinenindustrie) zur Uhrenindustrie der 1980er Jahre mit hohen Arbeitsplatzverlusten wird,¹⁷²³ forderte er in einem weiteren Artikel, dass sich der Maschinenbau stärker auf die Nutzung von Elektronik in seinen Maschinen, die Werkzeugmaschinenhersteller mehr auf CNC-Maschinen fokussieren sollten. Dabei müssten sie ihr Augenmerk auch auf die Fabrik von morgen mit flexiblen Fertigungszellen richten.¹⁷²⁴

Hinz forderte also, dass die wichtige deutsche Werkzeugmaschinenindustrie zur Erhaltung ihrer 100.000 Arbeitsplätze auf die CNC-Maschinen setzt, obwohl diese bis Mitte 1980 schon zur Freisetzung von 22.000 Beschäftigten in den Fertigungsbetrieben geführt hatte und erwartet wurde, dass durch jährlich geschätzte 5.000 neue CNC-Maschinen weitere 9.000 Beschäftigte pro Jahr freigesetzt würden.¹⁷²⁵ Die IG Metall

¹⁷¹⁸ R&D Gesellschaft für elektrische Steuerungstechnik mbH & Co. KG.

¹⁷¹⁹ Vgl. Blum (25.2. und 18.07.2016), S. 33. Da die Bedienung der R&D Steuerungen für Schwerwerkzeugmaschinen ausgelegt war, war sie für kleine Maschinen zu teuer. Für kleinere Maschinen hätte das Konzept weiterentwickelt werden müssen. Vgl. Rohde (12.07.2016), S. 11. Eine Beschreibung des Bedienkonzepts wurde 1981 veröffentlicht. Bosch (1981).

1996 kam es zu einer Kooperation zwischen R&D und Siemens zur Entwicklung der werkstattorientierten Bedien- und Programmieroberflächen ManualTurn, ShopMill, und ShopTurn, in die R&D ihr langjähriges Know-how einbrachte. Vgl. R&D Steuerungstechnik GmbH & Co. KG (o. J.). So gesehen hatten – wenn auch spät – die Bemühungen Blums noch Erfolg.

¹⁷²⁰ Vgl. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (2019a), S. 75.

¹⁷²¹ Hinz (1976b).

¹⁷²² Hinz (1976b), S. 36.

¹⁷²³ Vgl. Hinz (1976a), S. 34.

¹⁷²⁴ Hinz (1976a).

¹⁷²⁵ Vgl. Möller (1982a), S. 6. Möller bezog sich in seinem Artikel auf die Studie des Karlsruher Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung. Vgl. Rempp (1981), S. 1 und 19.

musste also den Verlust von Arbeitsplätzen in der Werkzeugmaschinenindustrie gegen den Erhalt von Arbeitsplätzen in den Fertigungsbetrieben abwägen.

Auch an der Diskussion über die Werkstattprogrammierung beteiligte sich die IG Metall in ihrer Zeitung „Der Gewerkschafter“. Hinz hoffte schon 1976, dass zukünftig die CNC-Programmierung auch an der Maschine möglich sein würde und die Anforderungen an die Bediener dann so hoch wären, dass sie nicht durch Angelernte ersetzt werden könnten.¹⁷²⁶ Fünf Jahre später musste Hinz allerdings zugeben, dass er sich getäuscht hatte. Die Werkstattprogrammierung war noch nicht Standard geworden¹⁷²⁷ und die Mehrzahl der Facharbeiter an NC-Maschinen war nicht wie erhofft durch Werkstattprogrammierung höher qualifiziert, sondern aus seiner Sicht de facto dequalifiziert worden.¹⁷²⁸ Das lag aber auch daran, dass die Leistungsfähigkeit der Werkstattprogrammierung für viele Anwender zu diesem Zeitpunkt noch nicht ausreichend war, denn sie war nur bei Maschinenstillstand möglich.¹⁷²⁹ Das änderte sich aber rasch. Brödner stellte fest, dass in der ersten Hälfte der 1980er Jahre zunehmend kleine und mittlere Unternehmen CNC-Maschinen beschafften, weil auch eine Programmierung in der Werkstatt immer effizienter möglich war. Er stellte fest, dass sich abhängig von Betrieb und Anforderungen unterschiedliche Ausprägungen der CNC-Programmierung etablierten.¹⁷³⁰

Auch Anfang der 1980er Jahre sah die IG Metall in der Werkstattprogrammierung noch die Lösung für die mit der Installation von jährlich ca. 5000 neuen NC-Maschinen verbundenen Probleme, die sich jedes Jahr auf die Arbeitssituation von 15000 bis 20000 Arbeitnehmern auswirkten. Damit die Betriebsräte der betroffenen Unternehmen die mit den NC-Maschinen einhergehenden Veränderungen stärker beeinflussen konnten, entwickelte die IG Metall die Aktionsmappe „Facharbeit an Werkzeugmaschinen – Das Konzept Werkstattprogrammierung“¹⁷³¹. In ihr wurden den Betriebsräten Mittel und Wege aufgezeigt, wie die Facharbeit an NC-Maschinen erhalten werden kann. Das war nach Einschätzung der IG Metall in über 80 % der Fälle möglich. Hierzu enthielt die Aktionsmappe u. a. Arbeitshilfen wie Informationsmaterial und Fragebögen. Mit ihnen konnten die Betriebsräte sich so tief in die NC-Technik einarbeiten, dass sie bei Gesprächen mit der Betriebsleitung im Sinn der Arbeitnehmer

¹⁷²⁶ Vgl. Hinz (1976a), S. 35.

¹⁷²⁷ Hierzu schrieb Mazurek: „Ein Beispiel ist die unterschiedliche Auslegung von CNC-Maschinen, entweder mit der Werkstattprogrammierung durch den Facharbeiter – als gewerkschaftliches Ziel – oder zentrale Programmierung in der Arbeitsvorbereitung mit dem Kompetenzverlust beim Facharbeiter und Zunahme der Monotonie.“ Mazurek (1982), S. 33.

¹⁷²⁸ Vgl. Hinz (1981), S. 43. Rempp kam in einer Studie zu dem Ergebnis, dass 1981 etwa 17 % der CNC-Maschinen zumindest teilweise in der Werkstatt programmiert wurden. Vgl. Rempp (1981), S. 44.

¹⁷²⁹ Vgl. Rempp (1981), S. 54, Abb. II/16.

¹⁷³⁰ Vgl. Brödner (1985), S. 48–49.

¹⁷³¹ O. V. (1986d).

bei der Auswahl der NC-Steuerung, der Festlegung der Arbeitsorganisation (Werkstattprogrammierung) und der erforderlichen Weiterbildung argumentieren konnten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die IG Metall die Einführung der NC-Technik im Untersuchungszeitraum konstruktiv begleitet hat. Mit dem Aufkommen der CNC-Steuerungen ab Mitte der 70er Jahre beschäftigte sie sich intensiver mit den Auswirkungen der NC-Technik auf ihre Mitglieder. Dabei stand sie in dem Spannungsfeld, dass eine Ablehnung der NC-Technik die bedeutende deutsche Werkzeugmaschinenindustrie mit ihren vielen Arbeitsplätzen gefährdet hätte, andererseits aber die NC-Maschinen bei den Endanwendern zum Abbau von Arbeitsplätzen und zu Veränderungen der Arbeitsinhalte führten. Sie versuchte deshalb, wie schon bei den anderen neuen Technologien, den technischen Wandel nicht zu verhindern, sondern durch Unterstützung einer möglichst facharbeitergerechten Ausprägung der NC-Steuerung, insbesondere durch die Werkstattprogrammierung, die Auswirkungen für ihre Mitglieder zu minimieren. Dies sollte sich langfristig als ein Vorteil für die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie erweisen, weil die Werkstattprogrammierung das Einfahren und Testen der NC-Programme erleichterte und werkstattprogrammierbare CNC-Maschinen auch im Ausland immer stärker nachgefragt wurden.

Mit der Einführung von NC-Maschinen in Fertigungsbetrieben waren große organisatorische Veränderungen verbunden (vgl. Kapitel 9). Um ihre Betriebsräte auf diese Veränderungen gut vorzubereiten, begann die IG Metall schon früh damit, ihre Betriebsräte über die NC-Technik zu schulen. Ziel war es, dass die Betriebsräte die Einführung von NC-Maschinen in den Betrieben konstruktiv begleiten konnten, um möglichst gute Arbeitsbedingungen und eine angemessene Entlohnung im Umfeld der NC-Maschinen für ihre Mitglieder zu erreichen.¹⁷³²

8.2.2 Auswirkungen der NC-Technik auf die Lohnpolitik der IG Metall

Im Untersuchungszeitraum konnten keine wesentlichen Auswirkungen der NC-Technik auf die Tarifverträge der IG Metall festgestellt werden. Allerdings beeinflussten die Automatisierungstechnik und der technische Wandel die Ausgestaltung der Rahmentarifverträge sowie den Abschluss und die Ausgestaltung des Rationalisierungsschutzabkommen. Dadurch wollte die IG Metall verhindern, dass Arbeitnehmer durch Automatisierung (Rationalisierung) entlassen oder im Entgelt heruntergestuft wurden. Das Rationalisierungsschutzabkommen trat am 1. Juli 1968 in Kraft und

¹⁷³² Auch die Fraunhofer-Studie kam zu dem Ergebnis, dass die NC-Einführung in den untersuchten Betrieben von den Betriebsräten nicht behindert wurde. Die Autoren bemängelten aber, dass nicht allen Betriebsräte die Auswirkungen der NC-Maschinen richtig bewusst gewesen seien. Vgl. Rempp (1981), S. 242.

brachte eine Absicherung für Arbeitnehmer über 52 Jahre nach einer Betriebszugehörigkeit von mehr als 14 Jahren.¹⁷³³

1980 beschloss der 13. ordentliche Gewerkschaftstag der IG Metall in Berlin, eine bundesweite Umfrage in den Bezirken zur Bestandsaufnahme von Rationalisierungsmaßnahmen in den Betrieben durchzuführen. Aus den Ergebnissen sollte ein Aktionsprogramm entwickelt werden.¹⁷³⁴

Ursprünglich bestand die Befürchtung, dass Facharbeiter an NC-Maschinen schlechter als an konventionellen Maschinen entlohnt würden, da die Arbeit angeblich weniger anspruchsvoll war. Diese Auswirkungen wurden in der Praxis aber nicht beobachtet, wie der Teil der Untersuchung ergab, der sich mit den Auswirkungen der NC-Technik befasste.¹⁷³⁵ Er brachte teilweise überraschende Ergebnisse:¹⁷³⁶

- Drei Viertel des NC-Maschinenbestandes konzentrierten sich auf den Maschinenbau, die elektrotechnische Industrie und den Straßenfahrzeugbau.
- Nur 16 % der untersuchten Betriebe hatten bis 1974 NC-Maschinen beschafft, 43 % erst ab 1979.
- Bei 60 % der Betriebe gingen durch die NC-Technik in den betroffenen Unternehmensteilen zwar Arbeitsplätze verloren, die „freigesetzten“ Mitarbeiter wurden jedoch fast immer anderweitig im Betrieb weiterbeschäftigt.
- Die Beschäftigten an NC-Maschinen wurden in der Mehrzahl der Betriebe höher eingruppiert als an konventionellen Maschinen.

Obwohl das letztgenannte Ergebnis für die Maschinenbediener positiv war, blieb die IG Metall skeptisch. Sie traute den Arbeitgebern nicht und befürchtete in einigen Jahren doch noch Nachteile für die Beschäftigten:

Am erfolgreichsten scheinen die Betriebsräte bisher bei der Einkommensverteilung operiert zu haben. Es wurden nur wenige Verschlechterungen bei der Eingruppierung berichtet. Diese positive Tendenz könnte sich bei dem jetzt einsetzenden Masseneinsatz umkehren, zumal die Massenanwender zu einer stärkeren Arbeitsteilung neigen. Denn es ist bekannt, daß Unternehmer bei der Einführung der neuen Technologie aus taktischen Erwägungen Entgegenkommen zeigen und erst später die Löhne zu ändern versuchen¹⁷³⁷

Zusammengefasst hatte bis zum Ende des Untersuchungszeitraums die NC-Technik nur einen sehr begrenzten Einfluss auf die Lohnpolitik der IG Metall, nicht zuletzt, weil die Betroffenen eher Lohnzuwächse und kaum Lohnreduzierungen erhielten. Die

¹⁷³³ Vgl. Vorstand der IG Metall Deutschland (1971), S. 84.

¹⁷³⁴ Vgl. Janzen (1983a).

¹⁷³⁵ Auch andere Untersuchungen waren bzgl. der Entlohnung zu ähnlichen Ergebnissen gekommen. Vgl. hierzu auch Kapitel 10.3.

¹⁷³⁶ Vgl. Janzen (1983b), S. 27–30.

¹⁷³⁷ Janzen (1983b), S. 30.

bei anderen Rationalisierungsmaßnahmen gemachten Erfahrungen und das Rationalisierungsabkommen wurden genutzt und trugen dazu bei, dass bis zum Ende des Untersuchungszeitraums die Einführung der NC-Technik in den Betrieben weitgehend problemlos erfolgte und die Beschäftigten an NC-Maschinen keine Lohneinbußen hatten. Dennoch befürchtete die IG Metall, dass die Arbeit an NC-Maschinen langfristig schlechter entlohnt werden würde.

8.3 Metall-Arbeitgeberverbände

Anfang der 1980er Jahre interessierte die Metallarbeitgeber die tarifliche Eingruppierung an NC-Maschinen in den einzelnen Tarifgebieten. Gesamtmetall beauftragte das den Metallarbeitgebern nahestehende „Institut für angewandte Arbeitswissenschaft“ (ifaa) mit einer Untersuchung. Das Ergebnis, die „Eingruppierung von Bedientätigkeiten an numerisch gesteuerten Maschinen aufgrund der Tarifverträge für die Metallindustrie“¹⁷³⁸ lag 1983 vor.

Funktion \ Organisationsform	a	b	c	d	e	f	g
Programmieren	P	P	P	P	P/M	P/M	M
Einrichten	E	E	M	M	M	M	M
Werkzeugvoreinstellen	Wz	E	Wz	M	Wz	M	M
Bedienen	M	M	M	M	M	M	M
P = Programmierer E = Einrichter Wz = Werkzeug-Voreinsteller M = Maschinenbediener							
P/M = Erstellen des Programms durch Programmierer Korrigieren und Optimieren des Programms durch Maschinenbediener							

Abbildung 63: Funktionsaufteilung zwischen verschiedenen Mitarbeitern an NC-Maschinen¹⁷³⁹

¹⁷³⁸ Gesamtverband der metallindustriellen Arbeitgeberverbände e.V. (1983).

¹⁷³⁹ Bildquelle: Gesamtverband der metallindustriellen Arbeitgeberverbände e.V. (1983), Bild 1, S. 8.
 Organisationsform a: Alle Funktionen werden von verschiedenen Mitarbeitern wahrgenommen.
 Organisationsform b: Der Einrichter übernimmt das Einrichten und die Werkzeugvoreinstellung. Die Programmierung und Werkzeugvoreinstellung führen andere Mitarbeiter aus.
 Organisationsform c: Der Maschinenbediener übernimmt zusätzlich zu c) das Einrichten.
 Organisationsform d: Die Programmierung (incl. Korrektur und Optimierung an der Maschine) erfolgt durch den Programmierer, alle anderen Tätigkeiten durch den Maschinenbediener.
 Organisationsform e: Zusätzlich zu d) übernimmt der Maschinenbediener auch das Korrigieren und Optimieren des Programms (nur an CNC-Maschinen möglich). Die Werkzeugvoreinstellung erfolgt durch den Werkzeugvoreinsteller.
 Organisationsform f: Zusätzlich zu e) übernimmt der Maschinenbediener auch die Werkzeugvoreinstellung.
 Organisationsform g: Der Maschinenbediener übernimmt alle Funktionen.

Im ersten Teil der Untersuchung wurden die Arbeitsanforderungen an unterschiedlichen NC-Maschinen analysiert und an den Tätigkeitsmerkmalen der Lohngruppen gespiegelt, die in den Tarifgebieten unterschiedlich definiert waren. Im zweiten Teil wurde ausgewertet, wie die typischen Tätigkeiten an NC-Maschinen (Programmieren, Einrichten, Werkzeugvoreinstellen und Bedienen) auf die Mitarbeiter verteilt waren. Je nach Organisationsform des Betriebs wurden diese vier Funktionen von bis zu vier Mitarbeitern übernommen; es gab aber auch Betriebe mit CNC-Maschinen, in denen ein Mitarbeiter alle Funktionen wahrnahm (Organisationsform g in Abbildung 63).

Um belastbare Ergebnisse über die Eingruppierung zu erhalten, wurden zusätzlich 35 Arbeitsbeschreibungen an NC-Maschinen daraufhin untersucht, welche Lohngruppen in den einzelnen Tarifgebieten daraus abgeleitet wurden.¹⁷⁴⁰ Das Ergebnis war, dass die Tätigkeiten an NC-Maschinen in die Lohngruppen eins bis elf eingruppiert wurden und dass die Bandbreite für die gleiche Arbeitsbeschreibung in den Tarifgebieten bis zu vier Lohngruppen betrug. Auffällig an den Eingruppierungen war auch, dass sie in Süddeutschland relativ einheitlich waren, während es z. B. zwischen Hamburg und Bremen größere Abweichungen zugunsten von Bremen gab, d. h. dass zum Untersuchungszeitpunkt Beschäftigte an NC-Maschinen in Bremen tendenziell besser als in Hamburg bezahlt wurden.¹⁷⁴¹ Erklärt werden konnten diese Unterschiede nur durch die unterschiedlichen Lohngruppenstrukturen in den einzelnen Tarifgebieten.¹⁷⁴²

Nicht betrachtet wurde in dieser Untersuchung die Einstufung im Vergleich zu konventionellen Maschinen, sodass aus der Untersuchung nicht abgeleitet werden konnte, ob sich die Bezahlung durch Tätigkeiten an NC-Maschinen verbesserte oder verschlechterte.

Nach Abschluss dieser Untersuchung hatte Gesamtmetall einen guten Überblick über die typische Entlohnung an NC-Maschinen in den einzelnen Tarifgebieten um 1980. Da die Zuordnung von Tätigkeiten zu den Lohngruppen in den einzelnen Tarifgebieten inhomogen war, kam es in Einzelfällen im Vergleich der Tarifgebiete sicher zu ungerechten Einstufungen. Vermutlich verfolgte Gesamtmetall mit der Untersuchung aber die Absicht, die Eingruppierung an NC-Maschine in Abstimmung mit der IG Metall in den Tarifgebieten zukünftig einheitlicher zu gestalten. Durch die zunehmende Verbreitung der NC-Maschinen wurde dies immer dringender.

Ein weiteres interessantes Untersuchungsergebnis war, dass die Arbeit an den NC-Maschinen in den Betrieben sehr unterschiedlich organisiert war, d. h., dass es keine standardisierte Vorgehensweise gab. Geschuldet war dies der jeweiligen Betriebsstruk-

¹⁷⁴⁰ Vgl. Gesamtverband der metallindustriellen Arbeitgeberverbände e.V. (1983), Anhang 1.

¹⁷⁴¹ Vgl. Gesamtverband der metallindustriellen Arbeitgeberverbände e.V. (1983), Anhang XVI.

¹⁷⁴² Vgl. Gesamtverband der metallindustriellen Arbeitgeberverbände e.V. (1983), S. 16.

tur, der Qualifikation der Mitarbeiter, der Komplexität der Werkstücke und der Losgrößen, um nur einige Einflussgrößen zu nennen.

8.4 NC-Gesellschaft

Hans Kief, um 1975 Verkaufsleiter der Robert Bosch GmbH im Geschäftsbereich Industrieausrüstung in Erbach, war Mitglied der amerikanischen NC-Society (NCS). Deren Ziel war die Förderung der NC-Technik in den USA. 1975, im Gründungsjahr der NC-Gesellschaft (NCG), hatte sie über 1.700 Mitglieder, war also alleine durch ihre Mitgliederzahl eine einflussreiche Vereinigung.¹⁷⁴³ Kief sah in Westdeutschland Nachholbedarf bei der Förderung der NC-Technik und wollte deshalb eine Gesellschaft mit ähnlichen Zielen gründen. In seiner „Einladung zur Mitgliedschaft“ formulierte Kief im Juni 1975 die Ziele der NCG:

[...] eine berufliche Interessengemeinschaft mit dem Zweck, ihre Mitglieder mit Erfahrungen, Ergebnissen und interessanten Neuheiten der NC-Anwendungen in persönlichen Kontakt zu bringen. Dies soll unter Ausnutzung mehrerer Möglichkeiten erreicht werden, wie z. B.

- Betriebsbesichtigungen, Vorträge, Erfahrungsberichte und Diskussionen
- Problemstellung und -lösung in Wettbewerbsveranstaltungen
- Zusammenarbeit mit der amerikanischen NC-Society (NCS) (die auf vergleichbarer Basis seit Jahren mit Erfolg arbeitet und mehr als 1.700 Mitglieder hat)
- Übersetzung und Hinweise auf interessante NCS-Berichte
- Anregung zur Ausbildung von NC-Ingenieuren und NC-Technikern
- Herausgabe einer monatlich erscheinenden Informationsschrift mit interessanten Kurzinformationen aus dem NC-Gebiet
- Eine jährliche NC-Konferenz der Mitglieder¹⁷⁴⁴

Kiefs Bemühungen hatten Erfolg. Am 3.10.1975 wurde in Münchingen bei Stuttgart die NCG von neun Firmen gegründet und konnte ihre Mitgliederzahl bis 1985 auf 108 Mitglieder steigern.¹⁷⁴⁵ 1977 und 1979 wurde je ein NC-Kongress durchgeführt.¹⁷⁴⁶ Richtig in Schwung kam die NCG aber erst 1982, als begonnen wurde, das in Kapitel 8.1.1 schon erwähnte Grundlagenseminar „NC-Technik“ in Zusammenarbeit mit Bil-

¹⁷⁴³ Siehe nachfolgendes Zitat aus dem Einladungsschreiben zur Gründung der NCG. Nach Thomas hatte die NCS Anfang der 1980er Jahre 4000 Mitglieder. Vgl. Thomas (2008b), S. 119.

¹⁷⁴⁴ Archiv der NC-Gesellschaft Ulm, Ordner NCG-Geschichte; Kief (12.06.1975), S. 1.

¹⁷⁴⁵ Vgl. Archiv der NC-Gesellschaft Ulm, Ordner NCG-Geschichte; NC-Gesellschaft (20.05.1986), S. 1 und 9. Vor der offiziellen Gründung der NCG hatte Kief schon fünf Jahre versucht, zusammen mit der AwF bzw. der amerikanischen NC-Society einen deutschen Verein zu gründen. Vgl. Archiv der NC-Gesellschaft Ulm, Ordner NCG-Geschichte; Kief (15.07.1975), S. 2. Da die Bemühungen erfolglos blieben, wurde am 5.4.1975 die Deutsche NC-Gesellschaft als Gesellschaft bürgerlichen Rechts und als Vorläufer der NCG gegründet. Vgl. Archiv der NC-Gesellschaft Ulm, Ordner NCG-Geschichte; Kief (12.06.1975), S. 1.

¹⁷⁴⁶ Vgl. Archiv der NC-Gesellschaft Ulm, Ordner NCG-Geschichte; NC-Gesellschaft (o. J.), S. 1.

dungsträgern anzubieten, das eine von der NCG erarbeitete Abschlussprüfung ermöglichte. Dadurch konnte die NCG die Lücke zwischen den IHK-Prüfungen und den Anforderungen der Betriebe schließen.¹⁷⁴⁷

Ähnlich wie die amerikanische NC-Society¹⁷⁴⁸ verlor die NCG durch die zunehmende Verbreitung der NC-Maschinen langsam an Bedeutung. Die von der NCG getragenen Themen waren Allgemeingut geworden und benötigten zur Förderung keinen Verein mehr. Die Mitgliederversammlung beschloss deshalb am 22.11.2018 die Auflösung der NCG.¹⁷⁴⁹

Ein Nebenprodukt der Arbeiten des NCG-Gründers Kief für die NCG war das NC-Handbuch, das 1976 erstmals erschien und die mit NC-Steuerungen zusammenhängenden Probleme leicht verständlich für Praktiker beschrieb.¹⁷⁵⁰ Bis 2005 gab es 25 jeweils aktualisierte Auflagen. Verkauft wurden bis zu diesem Zeitpunkt über 320.000 Exemplare – für ein Fachbuch eine sehr hohe Stückzahl.¹⁷⁵¹

Zusammengefasst gab die NC-Gesellschaft der Einführung der NC-Technik in der Bundesrepublik Deutschland wichtige Impulse, besonders im Ausbildungsbereich. Sie erlangte aber nie die Bedeutung der amerikanischen NC-Society. Ihr größtes Aushängeschild war das weitverbreitete NC-Handbuch, auch wenn es kommerziell von der NC-Gesellschaft abgekoppelt war. Es wurde aber bis in die 1990er Jahre hinein mit der NC-Gesellschaft in Verbindung gebracht.

8.5 Zusammenfassung

Für die Einführung der NC-Technik musste das fachliche Wissen zuerst bei den Entscheidungsträgern in den Betrieben verbreitet werden, damit ein Einführungsprozess in Gang kam. Neben Veröffentlichungen in den einschlägigen Fachzeitschriften erfolgte die Multiplikation ab Anfang der 1960er Jahre durch Vorträge der wenigen Know-how-Träger, die häufig vom VDI organisiert wurden. Zusätzlich wurden über das VDI-Bildungswerk erste vertiefende Kurse für diejenigen angeboten, die schon NC-Maschinen beschafft hatten oder kurz vor der Entscheidung standen. Mit zunehmender Verbreitung der NC-Technik mussten dann in den Betrieben immer mehr Personen informiert bzw. weitergebildet werden. Neben den Werkzeugmaschinenherstellern übernahmen dies ab Anfang der 1970er Jahre dann auch kommerzielle Weiterbildungseinrichtungen wie die TAE Esslingen. Für die gewerblichen Mitarbeiter enga-

¹⁷⁴⁷ Vgl. Privatarchiv Hans B. Kief, Kief (01.10.2004), S. 2.

¹⁷⁴⁸ Vgl. Fußnote 303.

¹⁷⁴⁹ Vgl. NC-Gesellschaft (2019).

¹⁷⁵⁰ NC-Gesellschaft (1976).

¹⁷⁵¹ Vgl. Privatarchiv Hans B. Kief, Kief (01.10.2004), S. 2. Die 31. Auflage des NC-Handbuchs erschien 2020. Kief u. a. (2020).

gierten sich dann auch Bildungseinrichtungen der IHKs, um interessierte Metallfacharbeiter durch NC-Weiterbildung beruflich abzusichern und ihnen Aufstiegsmöglichkeiten zu erschließen. Auch Vereine wie die NCG waren in der NC-Aus- und -Weiterbildung tätig und boten ihre Kurse mit Weiterbildungszertifikaten an.

Neben der NC-Weiterbildung von Ingenieuren und gewerblichen Mitarbeitern musste die NC-Technik auch in die Ausbildung von Ingenieuren und gewerblichen Mitarbeitern integriert werden. An den Hochschulen wurde die NC-Technik in den produktionstechnischen Vorlesungen wahrscheinlich schon Ende der 1950er Jahre erwähnt, spezielle Vorlesungen kombiniert mit Studien- und Diplomarbeiten gab es in nennenswertem Umfang aber erst gegen Mitte/Ende der 1960er Jahre, als die neugegründeten bzw. neubesetzten produktionstechnischen Institute in Berlin und Stuttgart voll arbeitsfähig waren. Bei der gewerblichen Bildung dauerte die Neuordnung der Berufsbilder wegen der komplizierten Zuständigkeiten noch viel länger. Erst 1978 waren sich IG Metall und Gesamtmetall einig, dass Änderungen notwendig seien; es dauerte dann aber noch bis 1987 ehe sie endlich in Kraft traten.

In ihrer Stabsabteilung Automatisierung und Kernenergie untersuchte die IG Metall die Konsequenzen der Automatisierung für ihre Mitglieder. Sie versuchte, die negativen Auswirkungen für ihre Mitglieder möglichst abzumildern und schloss deshalb mit den Arbeitgebern 1968 ein Rationalisierungsschutzabkommen ab, das langjährigen Mitarbeitern einen gewissen Schutz vor dem sozialen Abstieg gab. Bis etwa Mitte der 1970er Jahre war die NC-Technik für die IG Metall aber nur eine von vielen Automatisierungstechnologien. Erst danach rückte sie stärker in den Fokus, da die Zahl der NC-Maschinen und damit auch die Zahl der betroffenen Mitglieder stark anstieg. Um ihren Mitgliedern hoch qualifizierte Arbeitsinhalte zu sichern, versuchte die IG Metall durch Unterstützung der Idee der Werkstattprogrammierung die Abwanderung der NC-Programmierung aus der Produktion zu reduzieren und die Perspektiven für die Facharbeiter zu verbessern.

Ein weiteres Thema war die Entlohnung der Mitarbeiter an NC-Maschinen. Hier konnte die befürchtete Herabstufung weitgehend verhindert werden, weil sich herausstellte, dass die Arbeit an NC-Maschinen letztlich anspruchsvoller war als ursprünglich gedacht. Geholfen haben dabei sicher die gut ausgebildeten Betriebsräte, von denen viele durch Schulungen der IG Metall über die Vor- und Nachteile der NC-Technik gut informiert waren.

Insgesamt zeigte sich, dass die NC-Einführung von vielen durchaus unterschiedlichen Bildungseinrichtungen begleitet wurde. Ihr Zusammenwirken im Rahmen des produktionstechnischen Innovationssystems war ein wichtiger Baustein bei der NC-Einführung und ihrer Akzeptanz.

9 Einfluss der NC-Technologie auf die Betriebe

Ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahre erhöhte sich deutlich der Bestand an NC-Maschinen in Westdeutschland (Abbildung 64).

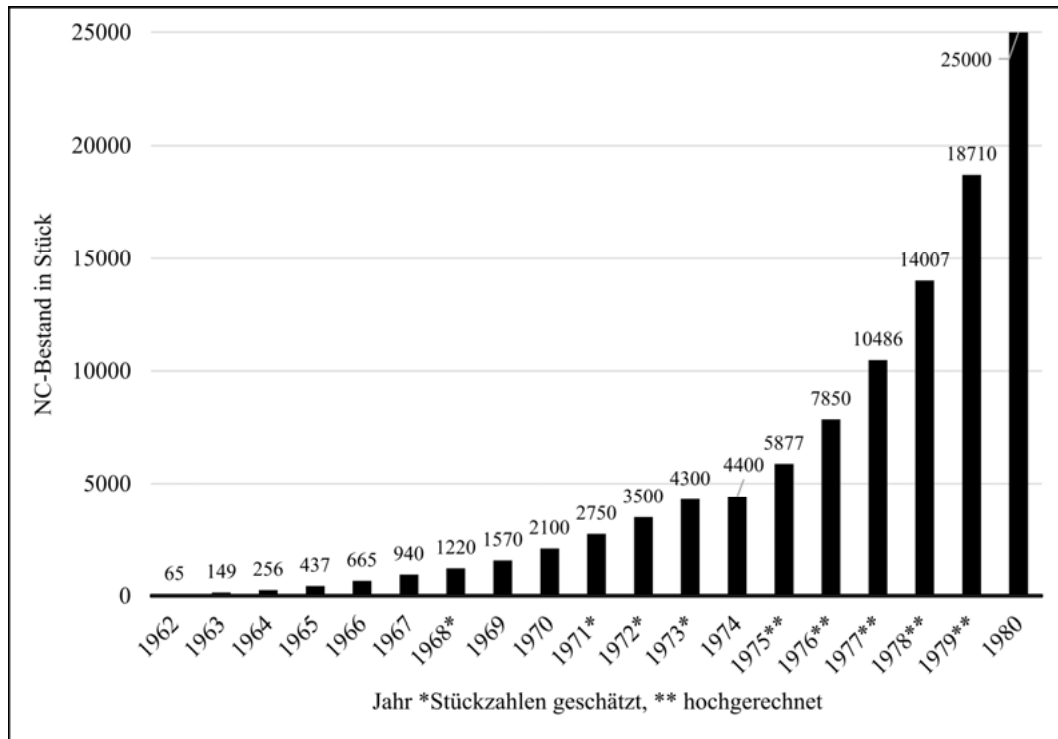


Abbildung 64: Bestand NC-Maschinen in der Bundesrepublik Deutschland von 1962–1980¹⁷⁵²

1974 schätzte Clausnitzer anhand seiner Erhebung ab, dass in Westdeutschland 980 Betriebe 4400 NC-Maschinen einsetzten.¹⁷⁵³ Bezogen auf die Gesamtzahl der metallverarbeitenden Betriebe von etwa 6800¹⁷⁵⁴ arbeiteten also 14,4 % schon mit NC-

¹⁷⁵² Bildquelle: Eigene Darstellung. Bis 1973 nach Schultz-Wild/Weltz (1973), Tabelle 1, S. 26. Deren Werte stammen aus einer von den Autoren korrigierten Repräsentativerhebung von Infratest-Industria (bis 1969) und einer Sondererhebung des VDW/VDMA für 1970 und 1972. Der von Schultz-Wild/Weltz für 1973 geschätzte Wert von 4300 NC-Maschinen weicht nur gering von den 4400 NC-Maschinen ab, die Clausnitzer für Mitte 1974 ermittelte. Vgl. Clausnitzer (1974), S. 6. Die Stückzahl für 1980 wurde aus der Altersstrukturuntersuchung des VDW aus dem Wert für „alle Branchen“ errechnet. O. V. (1980a), Tabelle 1, S. 5. Die Werte von 1975 bis 1979 wurden hochgerechnet.

¹⁷⁵³ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 6.

¹⁷⁵⁴ Für die Altersstrukturuntersuchung des westdeutschen Werkzeugmaschinenparks ermittelte 1980 der VDW 6800 metallverarbeitende Betriebe. Da die Zahl der Betriebe nicht sehr stark schwankte, ist sie auch für 1974 näherungsweise richtig. Der VDW ermittelte die Anzahl der Betriebe aus den Mitgliedsfirmen des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA), des Verbands der Automobilindustrie (VDA), des Zentralverbands der Elektrotechnischen Industrie (ZVEI), der Wirtschaftsverbände Eisen, Blech und Metall verarbeitende Industrie (EBM) und Stahlverformung sowie des Fachverbands Werkzeugindustrie (FWi). Vgl. o. V. (1980a), S. 1. Zum Vergleich: Gesamtmetall weist in seiner Statistik 9.471 Mitgliedsfirmen für 1975 auf, 9.108 für 1980, also eine Veränderung von nur knapp 4 %. Vgl. Gesamtmetall (2020), Tabelle 1.2.

Maschinen, d. h. jeder Betrieb hatte durchschnittlich 4,4 NC-Maschinen. Tatsächlich waren aber 60 % aller NC-Maschinen in den etwa 380 Betrieben mit über 1000 Beschäftigten. Sie nutzten durchschnittlich sieben NC-Maschinen, die etwa 600 kleineren Betriebe durchschnittlich drei.¹⁷⁵⁵ Das bedeutete aber, dass die Betriebe mit bis zu 1000 Mitarbeitern rechnerisch mehr NC-Maschinen pro Mitarbeiter hatten als die großen Betriebe.¹⁷⁵⁶

Die Abbildung 64 verdeutlicht auch, dass die Betriebe vor allem Anfang der 1960er Jahre bei der Anschaffung von NC-Maschinen sehr zurückhaltend waren. Das galt auch für die Werkzeugmaschinenhersteller selbst, die sich anfangs scheuten, NC-Maschinen in der eigenen Fertigung einzusetzen.¹⁷⁵⁷ Betriebe, die sehr früh NC-Maschinen beschafften, mussten deshalb gute Gründe haben, die mit NC-Maschinen verbundenen Risiken einzugehen. Im Rückblick waren wahrscheinlich folgende Motive dafür ausschlaggebend:

- Innerbetrieblich oder von Kunden lagen Aufträge vor, die mit konventionellen Werkzeugmaschinen nicht oder nur sehr schwer zu fertigen waren (z. B. komplexe Teile für die Flugzeugindustrie) oder zu fertigende Teile, bei denen durch NC-Maschinen eine Qualitätsverbesserung erwartet wurde.
- Durch NC-Maschinen wurden zwar kurzfristig keine wirtschaftlichen Vorteile erwartet, es wurde jedoch mittelfristig Potenzial für die neue Fertigungstechnologie gesehen. Wenn später aus wirtschaftlichen oder technologischen Gründen der Einsatz sinnvoll oder notwendig wurde, sollten erste Erfahrungen vorliegen.
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen ließen erwarten, dass bestimmte Werkstückfamilien mit NC-Maschinen wirtschaftlicher als mit konventionellen Maschinen gefertigt werden konnten.
- Die Unternehmensleitung hoffte, durch Einsatz von NC-Maschinen einem möglichen Facharbeitermangel entgegenzuwirken (vgl. Heidelberger Druckmaschinen Kapitel 6.1).

Entschieden sich Betriebe aus einem der oben genannten oder anderen Gründen für die Beschaffung von NC-Maschinen, mussten die Betriebsorganisation und die innerbe-

¹⁷⁵⁵ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 8. Über 1000 Beschäftigte hatten etwa 39 % aller Betriebe. Die Zahlen in der Tabelle von Clausnitzer, insbesondere die Mittelwerte der NC-WZM pro Betrieb sind stark gerundet.

¹⁷⁵⁶ Betriebe bis 500 Mitarbeiter hatten durchschnittlich drei NC-Maschinen, Betriebe bis 5000 Mitarbeiter elf NC-Maschinen, also bei Weitem nicht das Zehnfache. Vgl. Clausnitzer (1974), S. 8.

¹⁷⁵⁷ Vgl. Kern/Schumann (1984), S. 140–141. Die überwiegend kleinen und mittelgroßen Werkzeugmaschinenhersteller waren anfangs der Meinung, dass ihre Betriebsstruktur für NC-Maschinen nicht geeignet sei. Nur NC-Pionierbetriebe setzten in Teilbereichen NC-Maschinen ein. Erst CNC-Maschinen wurden von den Werkzeugmaschinenherstellern in der eigenen Fertigung eingesetzt. Vgl. Kern/Schumann (1984), S. 143–144.

trieblichen Abläufe auf die NC-Maschinen angepasst werden. Auf einige der notwendigen Anpassungen wird im Folgenden näher eingegangen.

9.1 Maschinenbeschaffung

War die Beschaffung einer NC-Maschine beschlossen, mussten Werkstücke und Stückzahlen für die NC-Maschine festgelegt und Angebote eingeholt werden. Im nächsten Schritt musste dann bewertet werden, wie gut die Angebote die Ausschreibung erfüllten. Da in der Anfangsphase der NC-Technik das Maschinenangebot noch klein war, konnte die Beschaffung daran scheitern, dass für die vorgesehene Kombination aus Werkstücken und Stückzahlen keine passenden Angebote abgegeben wurden. Dann musste das Projekt entweder zurückgestellt werden, oder es musste auf andere Teile mit anderen Stückzahlen ausgewichen werden.

Finanzstarke Bedarfsträger wie die Heidelberger Druckmaschinen (vgl. Kapitel 6.1) hatten noch eine weitere Option. Sie konnten bei den Maschinenherstellern „Sondermaschinen“ nach ihrer Spezifikation bestellen oder die benötigten Maschinen und Komponenten im eigenen Sondermaschinenbau selbst herstellen.

In der NC-Einführungsphase in den 1960er Jahren beschafften nach Gebhardt 43 % der Betriebe ihre erste NC-Maschine, um Erfahrungen zu sammeln, 25 % um Qualitätsverbesserungen zu erreichen und 19 % wegen einer erhofften kostengünstigeren Fertigung.¹⁷⁵⁸ Auch Vahrenkamp kam bei seiner Analyse der Rationalisierungsdebatten zu ähnlichen Erkenntnissen. Eines seiner Beispiele war die NC-Technik, bei deren Analyse er sich auf eine Studie von Pirker bezog. Dieser stellte in der Frühzeit der NC-Technik eine starke Technologieorientierung des Managements fest, „die er als ein autonomes Handlungsmotiv kennzeichnet, ohne auf ökonomische Kalküle reduzierbar zu sein“.¹⁷⁵⁹ Den Weg, neue Technologien auszuprobieren, gingen hauptsächlich größere Unternehmen, die über ausreichend Kapital verfügten.

Ab Ende der 1960er Jahre rückte der mit NC-Maschinen erwartete Rationalisierungseffekt und damit die Wirtschaftlichkeit stärker in den Fokus.¹⁷⁶⁰ Dies zeigte sich in der Zunahme von Veröffentlichungen, die sich mit der Wirtschaftlichkeit von NC-

¹⁷⁵⁸ Vgl. Gebhardt (1970), S. 32.

¹⁷⁵⁹ Vahrenkamp (2010), S. 55. Vahrenkamp zitierte aus dem RKW-Projekt A47 (Pirker, T. u. a. (1970)). Trotz intensiver Suche wurde kein Exemplar dieser RKW-Studie gefunden. In überarbeiteter Form wurde von der Studie nur der Teil veröffentlicht, der sich mit dem innerbetrieblichen Einsatz der NC-Maschinen befasste. Die Veröffentlichung des Teils der Studie, der sich mit den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen der NC-Einführung beschäftigte, war geplant. Vgl. Schultz-Wild/Weltz (1973), S. 2. Die Veröffentlichung erfolgte aber nicht.

¹⁷⁶⁰ Kern/Schumann schrieben dazu: „[...] aber zumindest bis Ende der 60er Jahre ging es den meisten Betrieben beim Einsatz von NC-Maschinen [...] mehr um das Experimentieren mit der neuen Steuerungstechnik aus der Perspektive des potenziellen ‚Herstellers‘ denn um Rationalisierungsinteressen als ‚Anwender‘.“ Kern/Schumann (1984), S. 139.

Maschinen befassten. Eine der ersten war die Dissertation von Stehle.¹⁷⁶¹ In den Jahren darauf folgte eine Vielzahl von Veröffentlichungen, die den Führungskräften in der Praxis Hilfestellung im Entscheidungsprozess für oder gegen NC-Maschinen aus betriebswirtschaftlicher Sicht gaben. Verwiesen wird hierfür auf das schon in Kapitel 8.1.1 erwähnte Buch von Rohs und Koschnick, das aus einem Lehrgang entstanden war,¹⁷⁶² und auf Kapitel 10, das sich mit Methoden zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen in der Anfangsphase beschäftigt. Trotzdem wurden diese Methoden oft nur zögerlich angewandt. Rempp kam in seiner Studie zu dem Ergebnis, dass vertiefte Wirtschaftlichkeitsrechnungen vor der NC-Maschinenbeschaffung fast nur von Unternehmen mit über 1000 Beschäftigten durchgeführt wurden.¹⁷⁶³ Kleinere Unternehmen scheuten vermutlich den mit Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen verbundenen Aufwand, auch wenn Rempp keine Begründung für das unterschiedliche Vorgehen von kleinen und größeren Unternehmen nannte.

9.2 Auswirkungen auf die Berufsbilder

Die Einführung der NC-Technik in einem Fertigungsbetrieb wirkte sich auf die Tätigkeiten von Beschäftigten in vielen Positionen aus. Das begann schon in der Teilekonstruktion. Im Idealfall sollte „NC-gerecht“ konstruiert werden, damit die Fertigung auf NC-Maschinen möglichst wenig Werkzeuge und Aufspannungen¹⁷⁶⁴ benötigte. Jedes zusätzliche Werkzeug und noch mehr jede zusätzliche Aufspannung verlängerte durch unproduktive Nebenzeit die Fertigungszeit.

Eine weitere Veränderung für die Konstrukteure war die „programmierungsgerechte“ Vermaßung der Werkstückzeichnung.¹⁷⁶⁵ Diese sollte möglichst alle Maße und Daten enthalten, die der NC-Programmierer benötigte. Wichtig war auch, dass sich alle Maße auf einen Koordinatenursprung bezogen, denn nur so konnten die Maße aus der Werkstückzeichnung mit wenig Umrechnungsaufwand in das NC-Programm übernommen werden.¹⁷⁶⁶

Diese Anforderungen waren schwer umzusetzen, da sie den Konstruktionsaufwand erhöhten. Auch mussten die Konstrukteure erst geschult werden, welche Angaben die NC-Programmierer benötigten und was sie noch bei der Konstruktion beachten muss-

¹⁷⁶¹ Stehle (1966).

¹⁷⁶² Archiv Technische Akademie Esslingen, Lehrgang Nr. 1972/33.02/4; Rohs/Koschnick (09.04.1973) und Koschnick u. a. (1977).

¹⁷⁶³ Vgl. Rempp (1981), S. 75.

¹⁷⁶⁴ Mit der „Aufspannung“ wird das Werkstück auf der Maschine für die Bearbeitung befestigt. Durch die Aufspannung können zu bearbeitende Flächen abgedeckt werden, d. h. für die Bearbeitung dieser Flächen muss das Werkstück umgespannt werden. Je höher die Genauigkeitsanforderungen sind, umso größer ist der Zeitaufwand für das Umspannen.

¹⁷⁶⁵ Vgl. Herold u. a. (1971), S. 258.

¹⁷⁶⁶ Vgl. Storr (1968).

ten.¹⁷⁶⁷ Die Optimierungen in der Konstruktion unterblieben deshalb oft und der NC-Programmierer musste die noch benötigten Daten aus der Zeichnung berechnen oder erfragen. Obwohl diese Vorgehensweise insgesamt aufwendiger war, ließ sie sich innerbetrieblich oft einfacher umsetzen, da die Konstrukteure sich nicht umstellen mussten.¹⁷⁶⁸

Die NC-Programmierung erfolgte meistens in einer neu geschaffenen Programmierabteilung oder wurde eine zusätzliche Aufgabe der Arbeitsvorbereitung. Einfache Teile wurden manuell programmiert. Zur Erleichterung und Systematisierung der Programmierung entwickelten die Maschinenhersteller hierzu Empfehlungen.¹⁷⁶⁹ Ergänzt wurden diese durch Formblätter, in die die Daten Programmschritt für Programmschritt eingetragen werden konnten und als Vorlage zum Erstellen des Lochstreifens dienten.¹⁷⁷⁰

Die Programmierung komplizierter Teile erfolgte schon mit Rechnerunterstützung. Anfangs standen dafür nur Großrechner mit Programmen wie APT (später EXAPT), etwa ab 1967 auch Kleinrechner mit spezieller Software, wie z. B. der Autoprogrammer der Gebr. Boehringer (vgl. Kapitel 5.1), zur Verfügung.

Die Programmierer mussten sich in der Datenverarbeitung, der Trigonometrie (zur Ermittlung der Hilfspunkte für die Programmierung aus der Werkstückzeichnung) und der Zerspanungstechnologie auskennen. Die dafür erforderlichen Kenntnisse wurden in Schulungen vermittelt, die entweder die NC-Hersteller oder z. B. das VDI-Bildungswerk anboten.¹⁷⁷¹

Da die NC-Programmierung noch kein Ausbildungsberuf war, wurden die Programmierer aus unterschiedlichen Abteilungen rekrutiert und hatten deshalb unterschiedliche Qualifikationen. In einer Umfrage ermittelte 1974 Clausnitzer hierzu Daten (Abbildung 65). Sie zeigen, dass sich viele Facharbeiter, Techniker und Meister zum NC-Programmierer weiterqualifiziert hatten und die Ingenieure nur einen relativ kleinen Anteil der Programmierer stellten.

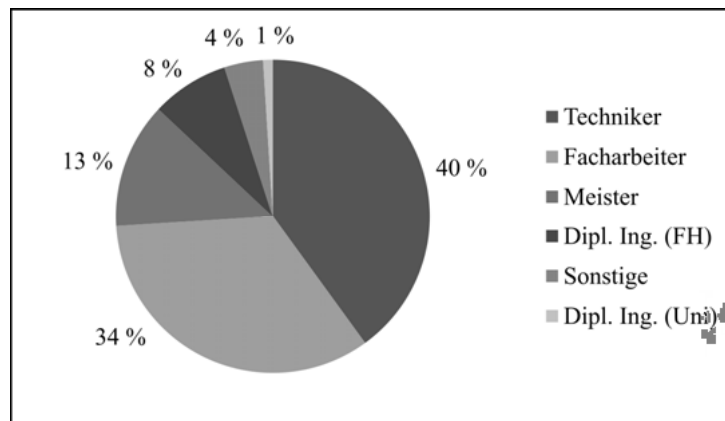
¹⁷⁶⁷ Eisinger formulierte weitere Anforderungen an die Konstruktion für die optimale Nutzung der NC-Maschinen. Neben der Bemaßung nannte er die Achszahl und Genauigkeit der NC-Maschine, das mögliche Werkstückhandling und die Werkzeugbereithaltung. Vgl. Eisinger (1973).

¹⁷⁶⁸ Vgl. Boese u. a. (1965), S. 127. Die NC-gerechte Vermaßung der Werkstückzeichnung blieb ein Dauerthema. Das Problem wurde nach und nach durch die rechnerunterstützte Programmierung entschärft, die z. B. trigonometrische Berechnungen von Schnittpunkten übernahm. Mit den CNC-Steuerungen ab Ende der 1970er Jahre wurden mit der „Werkstattprogrammierung“ Funktionen in die NC-Steuerungen integriert, mit denen aus den Zeichnungsdaten ein NC-Programm einfacher erstellt werden konnte. Die Optimierung dieser Funktionalität dauert bis heute an.

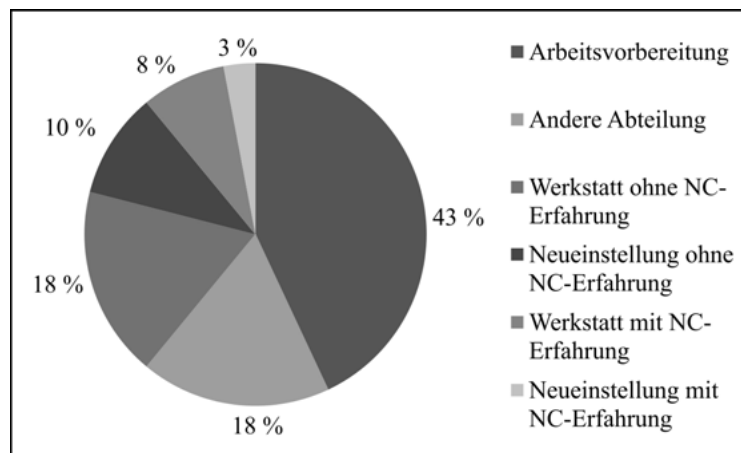
¹⁷⁶⁹ Z. B. die Vereinigten Drehbank-Fabriken. Kleinenhagen (1967).

¹⁷⁷⁰ Vgl. Kleinenhagen (1967), S. 50–52.

¹⁷⁷¹ Einer der ersten umfangreichen Lehrgänge zur Programmierung von NC-Steuerungen wurde im Mai 1964 vom VDI-Bildungswerk in Darmstadt und Langen abgehalten. Vgl. Archiv Württembergischer Ingenieurverein (WIV) Stuttgart, Ordner: WIV Arbeitskreis; ADB 91; VDI-Bildungswerk (1964).

Abbildung 65: Qualifikationen der NC-Programmierer¹⁷⁷²

Die NC-Programmierung war also weitgehend in der Hand von Technikern, Facharbeitern und Meistern. Allerdings war nur wenigen Facharbeitern direkt der Aufstieg zum NC-Programmierer gelungen (Abbildung 66). Das größte Kontingent stellten erfahrene Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung. Es gab aber auch Quereinsteiger, die zwar Fachkenntnisse hatten, aber noch nie an einer NC-Maschine gearbeitet hatten. Trotz dieser Einschränkungen hatten die meisten NC-Programmierer einen guten fachlichen Hintergrund.

Abbildung 66: Herkunft der NC-Programmierer¹⁷⁷³

Veränderungen der Arbeitsinhalte gab es auch für Facharbeiter, die keine NC-Programmierer wurden, aber statt wie bisher eine konventionelle Dreh- oder Fräsmaschine nun eine NC-Maschine bedienen sollten. „Seine“ konventionelle Maschine musste der Facharbeiter im Schlaf beherrschen. Er musste eine Werkstückzeichnung lesen können und konnte oft selbst entscheiden, in welcher Reihenfolge er die Arbeitsschritte durchführte. Den Arbeitsplan stellte er oft selbst anhand der Zeichnung zu-

¹⁷⁷² Bildquelle: Eigene Darstellung nach Clausnitzer (1974), Aufstellung in Kapitel 6.1, S. 36.

¹⁷⁷³ Bildquelle: Eigene Darstellung nach Clausnitzer (1974), Aufstellung in Kapitel 6.4, S. 36.

sammen. Je nach Werkstück und Maschine konnte das eine sehr anspruchsvolle Tätigkeit sein, die volle Konzentration verlangte. Bediente der gleiche Facharbeiter aber eine NC-Maschine, wurden viele seiner Fähigkeiten und Fertigkeiten nicht mehr benötigt. Das Programm war in der Programmierabteilung oder in der Arbeitsvorbereitung erstellt worden und die genaue Reihenfolge der Bearbeitung und die einzusetzenden Werkzeuge waren festgelegt. Dem Facharbeiter verblieb – theoretisch – nur noch die Aufgabe, die Werkstücke auf- und abzuspannen, die Maschine während der Bearbeitung zu beobachten und zu bedienen, kritische Maße während der Bearbeitung zu kontrollieren, auf ungewöhnliche Geräusche oder sonstige Ereignisse zu achten und bei Auffälligkeiten die Maschine sofort stillzusetzen.¹⁷⁷⁴

In einigen Betrieben hatten die NC-Maschinenbediener auch noch die Aufgabe, die Maschine einzurichten und die NC-Programme einzufahren bzw. zu optimieren, was sehr anspruchsvoll sein konnte und großes Verständnis für das Funktionsprinzip der NC-Maschinen erforderte. Über alle Betriebe hinweg gab es sehr unterschiedliche Arbeitsumfänge, die den Maschinenbedienern zugewiesen wurden (vgl. hierzu auch Abbildung 63 in Kapitel 8.3).

Die IG Metall befragte Anfang der 1980er Jahre ihre Betriebsräte nach den sozialen Auswirkungen des NC/CNC-Einsatzes (Abbildung 67). Positiv bewerteten die Betriebsräte die oft bessere tarifliche Eingruppierung (vgl. Kapitel 10.3), die Reduzierung der körperlichen Belastung und die erhöhten Anforderungen an die Qualifikation.

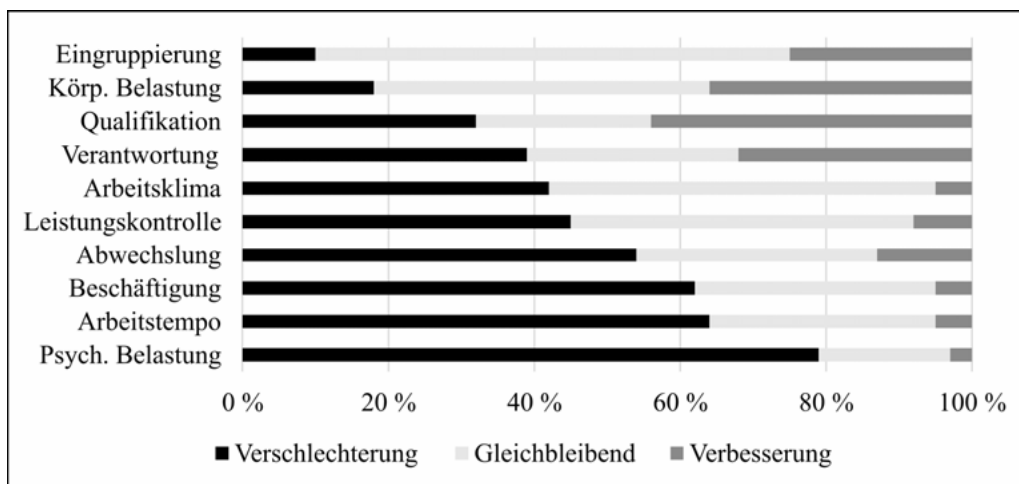


Abbildung 67: Bewertung der sozialen Auswirkung des NC/CNC-Einsatzes durch Betriebsräte¹⁷⁷⁵

Sie sahen aber auch viele negative Auswirkungen. Mit Abstand an erster Stelle stand die erhöhte psychische Belastung, gefolgt vom erhöhten Arbeitstempo und dem Rück-

¹⁷⁷⁴ Abhängig vom Fehler und seiner Erfahrung durfte er natürlich einfache Probleme lösen, wie z. B. den Austausch eines Werkzeugs nach einem Werkzeugbruch, wenn das Werkstück nicht unbrauchbar geworden war.

¹⁷⁷⁵ Bildquelle: Eigene Darstellung nach Janzen (1983b), Übersicht 14, S. 30. Janzen gibt als Quelle die IG-Metall-Untersuchung an.

gang der Beschäftigung. Dass einzelne Arbeitnehmer durch die psychische Belastung und die Eintönigkeit unzufrieden wurden, bestätigte auch Zick. Er berichtete, von einem hochqualifizierten Mitarbeiter, der nach einem halben Jahr die aus seiner Sicht zu wenig herausfordernde und eintönige Arbeit nicht mehr machen konnte. Sein Nachfolger hingegen war mit der Arbeit zufrieden.¹⁷⁷⁶

Zusammengefasst entstand durch die NC-Technik das neue Berufsbild des NC-Programmierers. Die Arbeitsinhalte der Mitarbeiter in der Teilekonstruktion wurden anspruchsvoller und umfangreicher, wenn sie die Aufgabe bekamen, durch NC-gerechte Konstruktion und Vermaßung die NC-Programmierung zu erleichtern und die benötigten Werkzeuge und Aufspannungen zu minimieren. Stark veränderten sich die Arbeitsinhalte der Maschinenbediener (Facharbeiter), die in seltenen Fällen zu „Aufpassen“ an der Maschine degradiert wurden, in vielen Betrieben aber zusätzliche Aufgaben wie z. B. das Einrichten der Werkstücke, das Einfahren der NC-Programme und das Einrichten der Werkzeuge übernahmen. Mitarbeiter aus der Fertigung und der Arbeitsvorbereitung hatten durch die NC-Technik die Chance, sich zum NC-Programmierer weiterzuentwickeln. Der Vorteil für die Betriebe war, dass fachlich qualifizierte Mitarbeiter ihr Wissen und ihre Erfahrung in die NC-Programmierung einbrachten und so die NC-Einführung unterstützten. Der Vorteil für die Mitarbeiter war, dass sie durch die NC-Programmierung eine Chance auf eine berufliche Weiterentwicklung hatten. Mitarbeiter hingegen, die NC-Maschinen statt konventioneller Maschinen bedienten, empfanden die Arbeit als körperlich einfacher aber oft weniger abwechslungsreich und psychisch belastender.

9.3 Organisatorische Maßnahmen

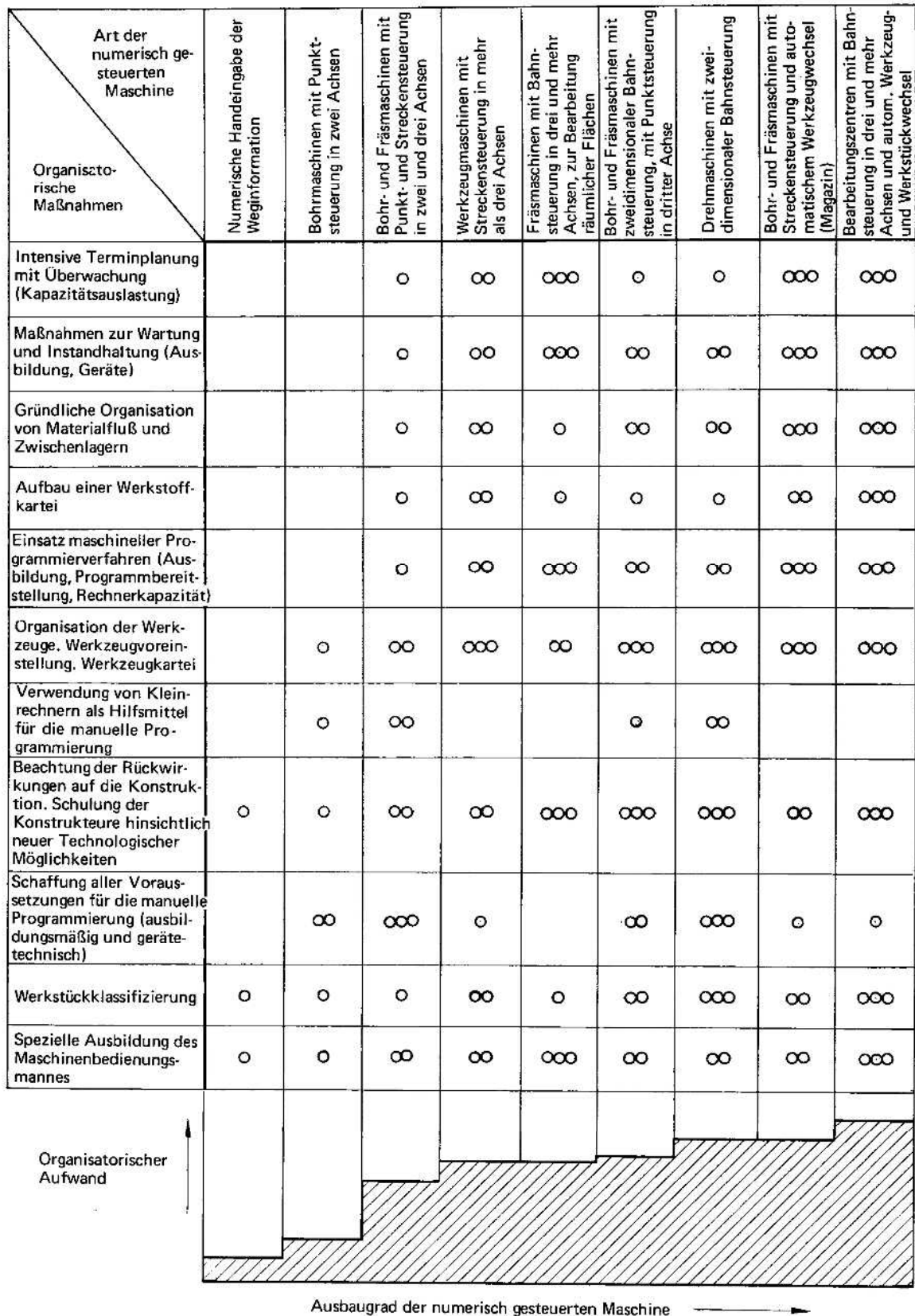
Hatte sich ein Betrieb für die Beschaffung einer oder mehrerer NC-Maschinen entschieden, mussten organisatorische Maßnahmen für die Integration der NC-Maschine(n) in den Fertigungsablauf getroffen werden.

Die wichtigsten waren:¹⁷⁷⁷

- Art und Einbindung der NC-Programmierung
- Einbindung in die Logistik des Materialflusses und der Fertigungssteuerung
- Bereitstellung und Voreinstellung der Werkzeuge
- Vorrichtungswesen
- Instandhaltung

¹⁷⁷⁶ Vgl. Zick (23.03.2015), S. 23.

¹⁷⁷⁷ Vgl. Maskow, J./Thomas, W. (1979), S. 4.

Abbildung 68: Organisatorische Aufgaben bei der NC-Einführung¹⁷⁷⁸¹⁷⁷⁸ Bildquelle: Herold u. a. (1971), S. 262. Die Anzahl der Kreise gibt die Gewichtung an.

Einen Überblick über die zu lösenden organisatorischen Aufgaben (Stand Anfang der 1970er Jahre) zeigt Abbildung 68. Sie ist dem Buch „Die numerische Steuerung in der Fertigungstechnik“ von Herold u. a. entnommen und differenziert die Aufgaben nach der Art der eingesetzten NC-Maschinen und ihrer Wichtigkeit (Anzahl der Kreise in den Zellen). Auf einige der genannten Maßnahmen wird in den folgenden Unterkapiteln näher eingegangen.¹⁷⁷⁹

9.3.1 Schulungsmaßnahmen

Alle Mitarbeiter, deren Tätigkeiten zukünftig direkt oder indirekt von NC-Maschinen beeinflusst wurden, mussten im Idealfall für das veränderte Tätigkeitsprofil weitergebildet werden. Hierzu einige Beispiele:

- Planer: Durchführung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter Berücksichtigung der notwendigen organisatorischen Maßnahmen
- Konstrukteure: NC-gerechte Vermaßung und Konstruktion der Werkstücke (vgl. Kapitel 9.2)
- Programmierer: Manuelle NC-Programmierung und/oder maschinelle NC-Programmierung über höhere Programmiersprachen wie EXAPT bzw. Programmierung über Kleinrechner
- Bediener: Bedienung von Maschine und Steuerung, Eingabe von Werkzeugdaten und Nullpunktverschiebungen, einfache Fehlerdiagnose
- Werkzeugorganisation: NC-gerechte Voreinstellung der Werkzeuge und Erfassung der Werkzeugdaten
- Instandhalter: Fehlerdiagnose an Maschine und Steuerung; einfache Reparaturen

Neben der vertiefenden Schulung für ihr Arbeitsgebiet war es sinnvoll, dass alle Betroffenen eine Basisschulung über die NC-Technik erhielten, damit ein gemeinsames Verständnis für die NC-Technik bestand und Probleme zielführend kommuniziert werden konnten.

Die Weiterbildungen wurden anfangs von ersten Erfahrungsträgern der Hochschulen, der Werkzeugmaschinenhersteller oder der Fertigungsbetriebe durchgeführt. Mit zunehmender Etablierung der NC-Technik gab es später auch zielgruppenspezifische kommerzielle Weiterbildungsangebote (vgl. Kapitel 8.1).

¹⁷⁷⁹ Im Kapitel 4 „Organisatorische Maßnahmen beim Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen“ gingen Herold u. a. sehr ausführlich auf alle organisatorischen Aspekte ein, die für eine erfolgreiche Einführung von NC-Maschinen Anfang der 1970er Jahre zu beachten waren. Herold u. a. (1971), S. 246–268 Auch Koschnick u. a. behandelten ausführlich „die vorbereitenden Maßnahmen für den Einsatz von NC-Technik“. Vgl. Koschnick u. a. (1977), S. 67–100.

9.3.2 Programmierung der NC-Maschinen

Wichtig für den erfolgreichen Einsatz von NC-Maschinen war die Entscheidung darüber, wie und wo diese programmiert werden sollten.

Größere Unternehmen mit mehreren NC-Maschinen, wie an den Firmenbeispielen im Kapitel 6 erläutert, tendierten dazu, die NC-Programmierung möglichst zentral durchzuführen und früher als kleine Unternehmen die maschinelle Programmierung zu nutzen. Sie versprachen sich davon eine Standardisierung und Optimierung der Programmierung durch Erfahrungsaustausch. Auch war zu erwarten, dass die Programmierabteilung aus Eigeninteresse die NC-Maschinen gut auslasten wollte. Bei Daimler hatte man beispielsweise anfangs die Erfahrung gemacht, dass die von Heller 1959 beschaffte SBR 32 nicht richtig genutzt wurde, weil sich niemand für die Maschine und ihre Programmierung verantwortlich fühlte. Erst als die Verfahrensentwicklung 1963 die technische Verantwortung für die Maschine zugeteilt bekam, konnte die Maschine erfolgreich eingesetzt werden.¹⁷⁸⁰

Kleinere Unternehmen mussten wegen ihrer geringeren Ressourcen pragmatischer vorgehen. Aus Kostengründen wurde anfangs fast nur manuell programmiert, am besten von einem Mitarbeiter, der Interesse an der NC-Programmierung hatte und dafür geeignet war. Dies änderte sich, als in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre die ersten Programmiersysteme auf der Basis von Kleinrechnern, wie etwa der Autoprogrammer von Boehringer (vgl. Kapitel 5.1), angeboten wurden und die rechnerunterstützte Programmierung auch für kleinere Betriebe ermöglichte. Wurde ein derartiges Programmiersystem beschafft, musste entschieden werden, wo und wie es am besten in die bestehenden Strukturen integriert werden konnte und wer dafür ausgebildet wurde.¹⁷⁸¹

Größere Unternehmen orientierten sich wegen ihrer komplexeren Teile und der vielen benötigten NC-Programme bei der Programmierung mehr in Richtung Großrechner und unterstützten die Entwicklung der Programmiersprache EXAPT (vgl. Kapitel 4.13). Der praktische Einsatz von EXAPT im Betrieb wurde jedoch, wie am Beispiel von Heidelberger erläutert, in den ersten Jahren durch die benötigte hohe Rechenleistung erschwert. Für die einfacheren Drehteile entwickelte Heidelberger deshalb das EXAPT-Derivat MINEX, das weniger Rechenleistung erforderte (vgl. Kapitel 6.1.).

In seiner Erhebung ermittelte Clausnitzer auch Zahlen zur damaligen Aufteilung der Programmierverfahren. Danach wurden um 1974 noch 61 % aller NC-Maschinen manuell programmiert, 17 % mit Unterstützung eines Kleinrechners und 22 % mit Großrechnern. Weiter fällt auf, dass bei einfacher zu programmierenden Maschinen wie

¹⁷⁸⁰ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 172.

¹⁷⁸¹ Vgl. Herold u. a. (1971), S. 250.

Bohrmaschinen der Anteil der rechnergestützten Programmierung mit 23 % deutlich kleiner war als bei den komplizierteren Bearbeitungszentren mit 40 %.¹⁷⁸²

Mitte der 1970er Jahre begann mit den Stichworten Handeingabesteuerung und Werkstattprogrammierung die Portierung der NC-Programmierung von Kleinrechnern auf die neuen CNC-Steuerungen (vgl. Kapitel 4.13). Das führte mittelfristig zu einer geänderten Verteilung der Programmieraufgaben in den Betrieben.

Unabhängig von der konkreten Art der NC-Programmierung war es für den wirtschaftlichen Betrieb der NC-Maschine erforderlich, dass alles rund um die „NC-Programmierung“ (Festlegung der Programmiermethode, Auswahl und Schulung der Programmierer) schon in der Bestellphase geklärt wurde,¹⁷⁸³ damit die NC-Maschinen nach der Inbetriebnahme möglichst schnell ohne Einschränkungen genutzt werden konnten (vgl. hierzu auch Kapitel 8.1.). Erfahrungsgemäß wurde um 1974 bei rechnerunterstützter NC-Programmierung ein Programmierer für ca. eineinhalb NC-Maschinen benötigt.¹⁷⁸⁴

Um die Programmierung zu erleichtern, war es hilfreich, auch die Konstrukteure über die Grundlagen der NC-Technik zu informieren bzw. zu schulen und zur Zusammenarbeit mit den NC-Programmierern zu motivieren. Das konnte dazu beitragen, die Vermaßung der Konstruktionszeichnungen so zu modifizieren, dass schneller programmiert werden konnte (vgl. Kapitel 9.2). Eine weitere Stellschraube war die NC-gerechte Teilekonstruktion, um die benötigten Werkzeuge und Aufspannungen zu minimieren. Damit konnten die unproduktiven Nebenzeiten reduziert werden.¹⁷⁸⁵

9.3.3 Materialfluss, Logistik und Vorrichtungen

Wurde eine NC-Maschine „richtig“ eingesetzt, war sie deutlich produktiver als eine konventionelle Maschine. Eine Voraussetzung war die Optimierung des Materialflusses, also die Anlieferung der Rohteile und der Abtransport der Fertigteile, um Maschinenstillstand z. B. durch fehlende Teile zu vermeiden. Je nach Bearbeitungszeit und Teilekomplexität waren hierfür unterschiedliche Maßnahmen erforderlich, wie etwa die Anpassung der Teilepuffer, der Rohteilebevorratung und der Transportvorrichtungen für die Roh- und Fertigteile.¹⁷⁸⁶

Auch diverse Vorrichtungen, insbesondere die Spannvorrichtungen für die Werkstücke, mussten an die NC-Maschinen angepasst werden. Schon 1964 wies Ackerknecht in

¹⁷⁸² Vgl. Clausnitzer (1974), S. 32.

¹⁷⁸³ Vgl. Herold u. a. (1971), S. 248 Bild 4.1-1.

¹⁷⁸⁴ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 38 Bei überwiegend manueller Programmierung wurde pro NC-Maschine etwa ein Programmierer benötigt.

¹⁷⁸⁵ Vgl. Kellner (1971), S. 17–18.

¹⁷⁸⁶ Vgl. dritte Zeile der organisatorischen Maßnahmen in Abbildung 68.

einer Schulung auf die Wichtigkeit geeigneter Spannvorrichtungen hin. Da alle Maße im NC-Programm hinterlegt waren, mussten sich die Werkstücke genau an der vom Programmierer vorgesehenen Position auf der Maschine befinden. Um dies mit möglichst wenig Kontrollmessungen zu erreichen, mussten der Maschinentisch und die Spannvorrichtung sehr genau sein.¹⁷⁸⁷ Wichtig war auch, dass die Spannvorrichtungen so konstruiert waren, dass die Werkstücke während der Bearbeitung möglichst selten umgespannt werden mussten, sie sicher gespannt waren und die Spannvorrichtungen für möglichst viele Maschinenvarianten geeignet waren.¹⁷⁸⁸

9.3.4 Werkzeugorganisation

Viel Aufmerksamkeit erforderten die Werkzeuge. Wichtig war es, die benötigten Werkzeuge in ausreichender Zahl zu bevorraten und eine innerbetrieblich abgestimmte Werkzeugkartei zu führen.¹⁷⁸⁹ Hilfreich war es, wenn Werkstücke für NC-Maschinen so konstruiert waren, dass möglichst wenig unterschiedliche Werkzeuge und damit Werkzeugwechsel benötigt wurden. Damit konnten unproduktive Nebenzeiten reduziert werden.

Vor ihrem Einsatz an der Maschine mussten die Werkzeuge montiert und eingestellt werden. Ein typisches Werkzeug bestand mindestens aus zwei Teilen, nämlich dem eigentlichen Werkzeug und der Werkzeugaufnahme, über die das Werkzeug mit der Maschine verbunden wurde. Da die Werkzeugmontage toleranzbehaftet war, mussten die Werkzeuge bei der Montage auf die vom Programmierer vorgegebenen Maße eingestellt werden. Das konnte mit Werkzeugvoreinstellgeräten (vgl. Kapitel 7.3) vereinfacht werden.¹⁷⁹⁰

Genau nach Vorgabe eingestellte Werkzeuge waren in der Anfangsphase der NC-Technik besonders wichtig, da die Bediener noch keine Möglichkeit hatten, von der Vorgabe abweichende Werkzeugmaße an den NC-Steuerungen zu korrigieren.

¹⁷⁸⁷ Vgl. Ackerknecht (1964a), S. 5–6.

¹⁷⁸⁸ Vgl. Archiv Technische Akademie Esslingen, Lehrgang Nr. 1982/5834/31.020; Behrendt u. a. (06.10.1982), S. 9/10.

¹⁷⁸⁹ Vgl. Opferkuch (1964), S. 4–5 und vgl. dritte Zeile der organisatorischen Maßnahmen in Abbildung 68. Nach Opferkuch sollte die Werkzeugkartei folgende Werkzeugdaten enthalten: Geometrie, Bauteile und die Bearbeitungswerte (z. B. Drehzahl und Vorschubwerte) für verschiedene Werkstoffe. 1973 schlug Winkler vor, die Werkzeugkartei durch ein DV-gestütztes „Informationszentrum für Schnittwerte“ zu ergänzen. Darin waren technologische Erfahrungswerte für unterschiedliche Bearbeitungen mit den Werkzeugen abgelegt. Diese Erfahrungswerte konnten dann bei der Programmierung verwendet werden. Vgl. Winkler, Hans-Henning (1973).

¹⁷⁹⁰ Vgl. Ackerknecht (1964a), S. 6–7 und vgl. Herold u. a. (1971), S. 259–260.

Etwa ab Mitte der 1960er Jahre veränderten sich die Randbedingungen. Die NC-Steuerungen wurden nach und nach mit Werkzeugkorrekturen ausgerüstet.¹⁷⁹¹ Dadurch konnten die NC-Programme unabhängiger von der Werkzeuggeometrie erstellt werden. An den NC-Steuerungen konnten die Werkzeugmaße, zumindest aber Abweichungen, eingegeben werden, d. h. die Werkzeugvoreinstellung musste die Werkzeuge nicht mehr exakt nach den Vorgaben der NC-Programmierung einstellen. Es war ausreichend, das Werkzeug zu montieren, zu vermessen und das montierte Werkzeug mit seinen Maßen an die Maschine zu liefern. Im Idealfall konnten die NC-Programme sogar ohne Berücksichtigung von Werkzeugmaßen erstellt werden.¹⁷⁹² Das Werkzeughandling vereinfachte sich dadurch erheblich, die Verantwortung des Maschineneinrichters wurde aber erhöht. Fehler bei der Eingabe der Werkzeugdaten in die NC-Steuerungen konnten zu Kollisionen zwischen Maschine und Werkstück führen. Hatte ein Betrieb nur ein oder zwei NC-Maschinen, konnte die Werkzeugvoreinstellung in der Maschinenumgebung erfolgen; bei mehr Maschinen war eine zentrale Werkzeugvoreinstellung sinnvoller. Entscheidend war, dass die Werkzeugvoreinstellung die Rüstzeit (und damit die unproduktive Nebenzeit) der NC-Maschinen nicht erhöhte.¹⁷⁹³

In den 1970er Jahren gingen die ersten flexiblen Fertigungssysteme (FFS) in Betrieb (vgl. Kapitel 7.7.2). Ausgehend von der spanenden NC-Fertigung untersuchte Steinhilber, wie die Werkzeugorganisation und -versorgung von NC-Maschinen für FFS weiterentwickelt werden konnte, da diese für einen zuverlässigen und wirtschaftlichen Betrieb der FFS von zentraler Bedeutung war. Er kam zu dem Ergebnis, dass für größere Systeme ein Transportsystem für Werkzeuge innerhalb des FFS wirtschaftlich sein konnte, d. h. dass bestimmte Werkzeuge in einem FFS zentral vorgehalten wurden und allen NC-Maschinen bedarfsgesteuert zur Verfügung standen.¹⁷⁹⁴

¹⁷⁹¹ Die Einführung der Werkzeugkorrekturen erfolgte in mehreren Schritten; anfangs waren nur geringfügige Korrekturen möglich. Am kompliziertesten war die Fräserradiuskorrektur bei Bahnsteuerungen, da die programmierte Bahn von der Steuerung bei Krümmungen korrigiert werden musste (siehe auch Abbildung 40). Geyer und Waller schrieben 1964: „Die Fräserradiuskompensation ermöglicht das unmittelbare Programmieren der Werkstückkontur und vereinfacht das Programmieren, da das Umrechnen jeder Position unnötig wird“. Geyer/Waller (1964), S. 666. Eine detaillierte Beschreibung des Siemens-Verfahrens veröffentlichte Krägeloh. Krägeloh (1965).

¹⁷⁹² Vgl. Koschnick u. a. (1977), S. 88. Ein weiterer Vorteil der Werkzeugkorrektur war, dass sie auch den Werkzeugverschleiß berücksichtigen konnte. Dadurch mussten leicht verschlissene Werkzeuge nicht ausgetauscht werden, um qualitätsrelevante Fertigmaße des Werkstücks einzuhalten. Es genügte, die Werkzeugkorrektur um den Werkzeugverschleiß zu korrigieren. Moderne NC-Steuerungen hatten deshalb für jedes Werkzeug noch einen weiteren Korrekturspeicher für den Verschleiß, der mit den Werkzeugmaßen verrechnet wurde. Vgl. Siemens AG (1988), S. 3.

¹⁷⁹³ Vgl. Herold u. a. (1971), S. 259. Clausnitzer ermittelte 1974, dass über alle NC-Maschinen 40 % der Werkzeuge nicht vom Maschinenbediener eingestellt wurden. Ein Werkzeugvoreinsteller wurde im Mittel für drei NC-Maschinen benötigt. Vgl. Clausnitzer (1974), S. 30–31.

¹⁷⁹⁴ Vgl. Steinhilber (1984), S. 115.

Zusammengefasst waren Werkzeugorganisation und -versorgung wichtig für die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen. Sie ermöglichten eine effektivere NC-Programmierung und halfen, unproduktive Nebenzeiten in der Fertigung zu reduzieren. Besonders wichtig war eine lückenlose Werkzeugversorgung für die in den 1970er Jahren aufkommenden FFS.

9.3.5 Fertigungsorganisation

Bei der Anschaffung von NC-Maschinen mussten diese in die bestehende Fertigung integriert werden. Vollmer und Witte sahen vier grundsätzliche Varianten, von denen die Betriebe eine auswählen mussten:¹⁷⁹⁵

- Integrierte Fertigung, d. h. einzelne konventionelle Maschinen wurden durch NC-Maschinen ersetzt. Die Fertigungsstruktur blieb unverändert.
- Trennung von konventioneller und NC-Fertigung. Die NC-Fertigung bildete einen eigenen Fertigungsbereich.
- Reine NC-Fertigung, d. h. die gesamte Fertigung wurde auf NC-Maschinen umgestellt.
- Gruppentechnologische Fertigungsstruktur, d. h. konventionelle und NC-Maschinen wurden so zusammengefasst, dass sie die Fertigung von Teilefamilien abdeckten.

Da NC-Maschinen höhere Investitionsmittel als konventionelle Maschinen banden, mussten die Fertigungsprozesse möglichst reibungslos ablaufen, um unproduktive Stillstandszeiten zu minimieren. Die Ablauforganisation der Fertigung musste an die höheren bzw. geänderten Anforderungen angepasst werden. Dies galt insbesondere für die rechtzeitige Bereitstellung von Fertigungsunterlagen und Betriebsmitteln wie:¹⁷⁹⁶

- Werkstückzeichnung mit möglichst NC-gerechter Vermaßung
- NC-Programme und Werkzeuglisten
- Voreingestellte Werkzeuge und Werkzeugdaten
- Spannmittel und andere Vorrichtungen bzw. aufgespannte Werkstücke auf Paletten für Bearbeitungszentren

Für das Handling der NC-Programme und Werkzeugdaten zeichnete sich ab Anfang der 1970er Jahre mit dem Aufkommen der Datenübertragung zumindest theoretisch¹⁷⁹⁷ eine gewisse Vereinfachung ab. NC-Programme konnten mit der DNC-Technik (vgl.

¹⁷⁹⁵ Vgl. Vollmer/Witte (1985), Abb. 2.2 S. 44 und S. 53.

¹⁷⁹⁶ Vgl. Vollmer/Witte (1985), S. 55.

¹⁷⁹⁷ Mit „theoretisch“ ist gemeint, dass sich anfangs diese Technologie wegen der hohen Rechnerkosten nur sehr große Firmen leisten konnten. Ein Beispiel dafür waren die Heidelberger Druckmaschinen (vgl. Kapitel 6.1).

Kapitel 7.7.1) elektronisch aus einem Archiv abgerufen werden, mussten also nicht mehr unbedingt physisch als Lochstreifen an die Maschine gebracht werden.¹⁷⁹⁸ Die ab Mitte der 1970er Jahre verfügbaren CNC-Steuerungen hatten außerdem die Möglichkeit, mehrere NC-Programme direkt in der Steuerung zu speichern und die Werkzeugdaten vom Werkzeugvoreinstellgerät über einen Lochstreifen zur Steuerung zu übertragen, was Eingabefehler reduzierte.¹⁷⁹⁹ War die Anlage mit einem Fertigungsrechner (DNC-Betrieb) ausgestattet, konnte auch die Übertragung der Werkzeugdaten über die DNC-Schnittstelle erfolgen.¹⁸⁰⁰ Nach dem Untersuchungszeitraum war es auch möglich, die Werkzeugdaten auf einem Datenträger direkt im Werkzeug zu speichern und beim Einbringen in die NC-Maschine automatisch in die NC-Steuerung einzulesen. Dadurch konnten Eingabe- und Zuordnungsfehler fast vollständig vermieden werden (vgl. Kapitel 7.3).

Für die anderen von Vollmer und Witte genannten Punkte gab es keine technische Standardlösung. Jeder Betrieb musste herausfinden, durch welche organisatorischen Änderungen und Anpassungen er die NC-Maschinen in seine innerbetrieblichen Abläufe am besten integrieren konnte. Dazu gehörte auch zu überprüfen, ob sich durch einen Mehrschichtbetrieb die Auslastung und damit die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen verbessern ließ. Nach der Erhebung von Clausnitzer gingen viele Betriebe diesen Weg. Ungefähr 70 % der NC-Maschinen wurden in zwei Schichten genutzt.¹⁸⁰¹

9.3.6 Instandhaltung und Service

NC-Maschinen waren im Vergleich zu konventionellen Maschinen zu großen Teilen Neukonstruktionen. Sie hatten deshalb „Kinderkrankheiten“ und konstruktive Besonderheiten,¹⁸⁰² die in den ersten Jahren die Zuverlässigkeit und Funktionssicherheit beeinträchtigten. Da es anfangs nur wenig fachkundiges Personal gab, das die Ursachen von Fehlern und Störungen an NC-Maschinen schnell erkennen und beseitigen konnte, wurden die wenigen Spezialisten der Steuerungs- und Maschinenhersteller von Kunde zu Kunde geschickt.¹⁸⁰³

¹⁷⁹⁸ Einen guten Überblick über den Entwicklungsstand rechnergesteuerter Fertigungseinrichtungen Anfang der 1970er Jahre gibt die Dissertation von Nann. Nann (1972).

¹⁷⁹⁹ Z. B. bei der Sinumerik System 7. Vgl. Siemens AG (Mai 1980), S. 6-3. Die Funktion stand aber schon früher (spätestens 11/78) lt. Bedienungsanleitung zur Verfügung.

¹⁸⁰⁰ Vgl. Mattheis/Wissert (1983), S. 654.

¹⁸⁰¹ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 29. Eine Schicht entfiel auf 26 %, drei Schichten auf 4 % der NC-Maschinen.

¹⁸⁰² Vgl. Rohs (1964). Zu den Besonderheiten zählte Rohs neben der NC-Steuerung die elektrischen und mechanischen Elemente der Antriebstechnik, die Messsysteme und alle Hilfseinrichtungen zur Automatisierung des Arbeitsablaufs wie z. B. den Werkzeugwechsler.

¹⁸⁰³ Für die Siemens-Techniker berichtete dies Kremper im Interview. Vgl. Brömer u. a. (25.05.2015), S. 4.

Diese Problematik schränkte die Verfügbarkeit und damit die Produktivität bzw. Wirtschaftlichkeit der ersten NC-Maschinen ein. Deshalb empfahl Ackerknecht schon 1964 den Endanwendern, ein Konzept für eine vorbeugende Wartung ihrer NC-Maschinen zu entwickeln. Er empfahl, den Schwerpunkt auf die mechanischen Teile der NC-Maschine zu legen, die stärker als bei konventionellen Maschinen belastet wurden. Zusätzlich empfahl er, mit geeigneten Messmitteln regelmäßig die Elektronik zu überprüfen und mit der Wartung möglichst eine spezielle Wartungsabteilung zu betrauen.¹⁸⁰⁴ Diese Empfehlung wurde von vielen Endanwendern aufgegriffen. 1974 hatten 56 % für die Elektronik und 65 % für die Mechanik eigenes Reparaturpersonal.¹⁸⁰⁵

Die Werkzeugmaschinenhersteller als Vertragspartner der Endkunden fürchteten das mit Ausfällen der NC-Steuerungen in der Gewährleistungsphase verbundene Risiko. Sie kauften deshalb bei den Steuerungsherstellern als Rückversicherung oft sogenannte Reparaturserviceverträge.¹⁸⁰⁶ Mit den Reparaturserviceverträgen übernahmen die Steuerungshersteller das Gewährleistungsrisiko bei den Steuerungen und den Antrieben für Personal und Material. Diese Verträge galten während der vereinbarten Vertragslaufzeit im In- und Ausland.

Wie schon erwähnt griffen größere Werkzeugmaschinenhersteller und Endkunden mit mehreren NC-Maschinen die Anregungen Ackermanns nach und nach auf und bildeten eigenes Inbetriebnahme- bzw. Instandhaltungspersonal aus, um Kosten zu sparen und Ausfallzeiten durch schnellere Reaktionszeiten zu reduzieren.¹⁸⁰⁷ Siemens öffnete deshalb etwa ab 1975 die Sinumerik-Kurse auch für Kunden und Endkunden und bot wenige Jahre später auch spezielle Service- und Wartungskurse für das Servicepersonal der Endkunden an.¹⁸⁰⁸

¹⁸⁰⁴ Vgl. Ackerknecht (1964b), S. BW 373 4-7. Auch Vollmer und Witte betonten die Wichtigkeit der vorbeugenden Wartung bei NC-Maschinen, um teure Stillstandszeiten zu vermeiden. Vgl. Vollmer/Witte (1985), S. 65–67.

¹⁸⁰⁵ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 31.

¹⁸⁰⁶ Nach der Erinnerung des damaligen Siemens-Service Ingenieurs Dietz wurden Steuerung und Reparaturservicevertrag in der Anfangszeit von Siemens sogar nur im Paket verkauft. Als Ende der 1970er Jahre der Verfasser bei Siemens im Vertrieb Ausrüstungen für Werkzeugmaschinen arbeitete, wurde der Reparaturservice zwar nur optional angeboten, aber fast immer verkauft. Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Siemens 2; Dietz (25.02.2018).

¹⁸⁰⁷ Der Jahresbericht 1970 des Daimler-Benz-Werks Untertürkheim erwähnt, dass spezialisiertes Personal für die Wartung der NC-Maschinen zur Verfügung steht. Vgl. Mercedes-Benz Classic, Archive, Werk Ut. 14/3; Daimler-Benz AG (1970), S. 40. Clausnitzer ermittelte 1974, dass 56 % der Betriebe mit NC-Maschinen eigenes Reparaturpersonal für die Elektronik und 65 % für die Mechanik hatten. Vgl. Clausnitzer (1974), S. 31.

¹⁸⁰⁸ Vgl. Privataarchiv Thomas Wissert, Siemens 2; Dietz (25.02.2018).

9.4 Zusammenfassung

Die ersten Betriebe, die NC-Maschinen beschaffen wollten, mussten sich intensiv mit deren Integration in die Fertigung beschäftigen, da es erst wenig Erfahrungsträger gab. Nur wenn die Integration gut gelang, konnte der Nachweis erbracht werden, dass die Fertigung bestimmter Werkstücke mit NC-Maschinen Vorteile hatte, eine zwingende Voraussetzung für die Beschaffung weiterer NC-Maschinen.

Eine Grundvoraussetzung für die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen war, dass die direkten Fertigungskosten pro Werkstück niedriger als mit konventionellen Maschinen waren. Um dies schon vor der Beschaffung nachzuweisen, wurden Berechnungsmodelle entwickelt, auf die im folgenden Kapitel 10 eingegangen wird. Die Ergebnisse dieser Berechnungen standen jedoch unter dem Vorbehalt, dass die NC-Maschine so in die Betriebsabläufe integriert wurde, dass ihre Vorteile nicht durch organisatorische Probleme vernichtet wurden.

Schon auf den ersten vom VDI 1964 veranstalteten Lehrgängen zur NC-Einführung (vgl. Kapitel 4.10) wurden die wichtigsten organisatorischen Probleme angesprochen. So war es wichtig, durch eine möglichst NC-gerechte Vermaßung der Werkstückzeichnungen den Programmieraufwand zu reduzieren und die Rahmenbedingungen dafür zu schaffen, dass die NC-Programme rechtzeitig zur Verfügung standen. Außerdem musste die Bereitstellung von Betriebsmitteln wie Werkzeugen und der Materialfluss an die höhere Produktivität der NC-Maschinen angepasst werden. Wichtig war auch, die Bediener für ihre neue Aufgabe zu schulen und früh die Instandhaltungsabteilung einzubeziehen, um technische Ausfälle der NC-Maschinen zu minimieren.

Da jeder Betrieb eine andere Struktur und andere Produkte hatte, war die konkrete Umsetzung der Maßnahmen in den einzelnen Betrieben im Detail unterschiedlich. Verantwortlich dafür waren oft die produktionstechnischen Betriebsingenieure, von denen viele ihre Erfahrungen auf regionalen und überregionalen Veranstaltungen der ADB des VDI und über Fachveröffentlichungen teilten. Daraus entwickelten sich Handlungsempfehlungen für die NC-Einführung in den Betrieben, die ab Ende der 1960er Jahre in der Fachliteratur zu finden waren und zusammen mit Schulungen halfen, die NC-Einführung immer problemloser zu gestalten.¹⁸⁰⁹

¹⁸⁰⁹ Beispiele hierfür sind Herold u. a. (1971), Koschnick u. a. (1977), Maskow, Jürgen/Thomas, Werner (1979) und Vollmer/Witte (1985).

10 Wirtschaftlichkeit der NC-Technik

Wie schon mehrfach angesprochen, war die erhoffte wirtschaftlichere Fertigung komplexer Werkstücke mit kleineren Stückzahlen eine der Triebfedern zur Beschaffung von NC-Maschinen. Allerdings fehlte es anfangs an Erfahrung, wie die Wirtschaftlichkeit einer NC-Maschine zu berechnen war, da NC-Maschinen auch die Fertigungsabläufe veränderten (vgl. Kapitel 9). Simon formulierte die Problematik schon 1963 in seinem Buch über numerische Steuerungen:

Da das Konzept der numerischen Steuerung weit über den Bereich der einzelnen Werkzeugmaschine hinausführt und in die Organisationsform des Gesamtbetriebes (einschließlich Hilfswerkstätten, Lagerhaltung usw.) eingreift, müssen Kostenvergleiche betriebskalkulatorisch in viel weiterem Rahmen durchgeführt werden, als dies bisher bei Neuanschaffungen von Werkzeugmaschinen üblich war.¹⁸¹⁰

Im letzten Kapitel wies Simon noch darauf hin, dass der Kostenvergleich mit der konventionellen Fertigung schwierig war und noch Forschungsbedarf bestand:

Das Rechnen mit Maschinenstundensätzen wird unumgänglich [149]. Wenn auch noch keine allgemeingültigen Kostenerfassungsschemen vorliegen, so ist in Tafel 21 doch ein neuzeitliches Kalkulationsblatt als Muster dargestellt. Das Beispiel soll an dieser Stelle lediglich auf die Notwendigkeit der sorgfältigen Erfassung sehr vieler, verschiedenartiger Kosten in mehreren Betriebsabteilungen hinweisen. Um zu zutreffenden Kostenvergleichen mit herkömmlichen Verfahren zu kommen, müssen in vielen Fällen zuerst die bestehenden Kalkulationsmethoden überprüft werden. Nur dann kann man etwas Verlässliches über die „Wirtschaftlichkeit“ des neuen Verfahrens sagen.¹⁸¹¹

Simons Ausführungen verdeutlichten, dass in der Einführungsphase noch beträchtliche Unsicherheit hinsichtlich der richtigen Kalkulation der Fertigungskosten mit NC-Maschinen bestand. Es gab auch bald Dissertationen zu diesem Thema. Eine der ersten veröffentlichte 1966 Stehle vom WZL in Aachen. In der Zusammenfassung seiner Arbeit schrieb er:

Die Untersuchung zeigte, dass die Anwendung der numerisch gesteuerten Maschine heute schon wirtschaftlich sein kann. Voraussetzung dafür ist eine möglichst gute Ausnutzung der technischen und zeitlichen Kapazität der Maschine. Dies ist jedoch nur möglich, wenn schon bei der Anschaffung einer Maschine die zu bearbeitenden Werkstücke berücksichtigt werden.¹⁸¹²

¹⁸¹⁰ Simon (1963), S. 4.

¹⁸¹¹ Simon (1963), S. 286.

¹⁸¹² Stehle (1966), S. 145.

Es ergibt sich also besonders dann ein wirtschaftlicher Vorteil, wenn NC-Maschine und die zu bearbeitenden Werkstücke aufeinander abgestimmt sind. Oder anders ausgedrückt: Aus wirtschaftlicher Sicht war Mitte der 1960er Jahre der Einsatz von NC-Maschinen kritisch zu bewerten, wenn NC-Maschinen und Werkstücke nicht aufeinander abgestimmt waren. Diese Erkenntnis Stehles passte zur Strategie von Heidelberger Druck, anfangs stark auf NC-Sondermaschinen zu setzen (vgl. Kapitel 6.1), da diese besser als Standardmaschinen an die Werkstücke angepasst werden konnten. Es gab damals einfach noch zu wenige NC-Maschinenvarianten.

Auch den Werkzeugmaschinenherstellern war das Problem bewusst. Sie konnten zwar einige NC-Maschinen an Kunden verkaufen, die erste Erfahrungen mit der neuen Technologie sammeln wollten. Sie wussten aber auch, dass höhere Stückzahlen nur erreichbar waren, wenn mit NC-Maschinen in der Kombination Teilefamilie/Stückzahl deutliche Kostenvorteile gegenüber einer konventionellen Fertigung erzielt werden konnten. Die Werkzeugmaschinenhersteller hatten deshalb großes Interesse an Methoden, mit denen sie die Wirtschaftlichkeit ihrer NC-Maschinen nachweisen konnten. Ein Beispiel hierfür war die Strategie der Gebr. Boehringer in Göppingen, auf die in Kapitel 10.2 näher eingegangen wird.

Opitz, langjähriger Direktor des WZL in Aachen, wies 1966 in seinem Vortrag auf dem Deutschen Ingenieurtag darauf hin, dass die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen nicht immer das alleinige Kriterium für die Anschaffung von NC-Maschinen war. So sei die aktuell zu beobachtende Zunahme der NC-Drehmaschinen auch auf den Facharbeitermangel zurückzuführen.¹⁸¹³ Um diese Zeit hatte die Bundesrepublik Deutschland noch Vollbeschäftigung und eine starke Zuwanderung von eher unqualifizierten ausländischen Arbeitskräften.¹⁸¹⁴ Hierzu ist anzumerken, dass die Zahlen Opitz zwar recht geben, der Zuwachs aber auch mit der NC-Bahnsteuerung GE 100S zusammenhängt, durch die sich die Wirtschaftlichkeit von NC-Drehmaschinen deutlich verbesserte (vgl. Kapitel 4.6).

10.1 Wirtschaftliche Aspekte der NC-Einführung bei den Endanwendern

Betriebe, die schon früh NC-Maschinen einsetzten, waren z. B. die in Kapitel 6 untersuchten Betriebe. Diese gingen bei der NC-Einführung unterschiedlich vor. Heidelberger hatte mit der stark forcierten NC-Einführung in der Ära Sternberg/Kuhnert das Ziel, die Produktionskapazität mit weniger zusätzlichen Facharbeitern zu erhöhen, als

¹⁸¹³ Vgl. Opitz (1966), S. 5.

¹⁸¹⁴ Zwischen 1960 und 1973 lag die Arbeitslosenquote in der Bundesrepublik Deutschland im Schnitt mit Ausnahme von 1967 und 1968 bei 1 %. Vgl. Bundesagentur für Arbeit (2013). Zwischen 1960 und 1965 wanderten ungefähr 160.000 ausländische Arbeitnehmer jährlich in die Bundesrepublik Deutschland zu. Vgl. Abelshauser (2011), S. 325.

bei einer unveränderten Fertigungsstruktur nötig gewesen wäre. Heidelberger befürchtete nämlich, nicht genug Facharbeiter für die Produktionsausweitung mit konventionellen Maschinen zu finden. Zusätzlich erhoffte sich die Geschäftsleitung durch NC-Maschinen eine flexiblere Produktion. Die Kosten waren nicht das entscheidende Kriterium, mussten aber noch tragbar sein. Erst Sternbergs und Kuhnerts Nachfolger achteten stärker auf die Wirtschaftlichkeit der Investitionen. Da das Angebot an NC-Maschinen zwischenzeitlich deutlich breiter geworden war, setzten sie weniger auf (verkettete) NC-Sondermaschinen, sondern wenn möglich auf kostengünstigere NC-Standardmaschinen. Die grundsätzliche Ausrichtung der Fertigung auf NC-Maschinen wurde aber nicht infrage gestellt (vgl. auch Kapitel 6.2).

Daimler (vgl. Kapitel 6.1) sah bei hohen Stückzahlen (wie in der Motor- und Getriebefertigung für PKWs) bis Ende der 1980er Jahre nur wenig wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten für NC-Maschinen.¹⁸¹⁵ Anders war die Situation im Versuch und in der Kleinserienfertigung, wo über die Jahre der Einsatz von NC-Maschinen zunahm.

Die Beschaffung der (ersten) NC-Maschinen erfolgte bei Daimler nicht aus wirtschaftlichen Gründen.¹⁸¹⁶ Ausschlaggebend war vielmehr der Wunsch, erste Erfahrungen mit NC-Maschinen bei Kleinserien und Versuchsteilen zu sammeln. Erst in der zweiten Phase (etwa ab 1968) wurde bei Daimler mit der Betriebsstelle Bearbeitungszentrum (BEZ) der NC-Einsatz mehr professionalisiert. Die flexiblen NC-Maschinen wurden dafür genutzt, geeignete Kleinserien und Versuchsteile zu fertigen.¹⁸¹⁷

Bei der Gutehoffnungshütte bzw. deren Tochter M.A.N. (vgl. Kapitel 6.3) war die Lage grundsätzlich anders, da der Konzern aus eigenständig agierenden Werken mit sehr unterschiedlichen Produkten bestand und keine Großserienprodukte im Fertigungsprogramm hatte. Um trotz der komplizierten Struktur über alle Werke zusätzliche Rationalisierungserfolge zu erzielen und eine gewisse Einheitlichkeit zu erreichen, stimmten sich ab 1933 die Werkleiter in der sogenannten Betriebskommission regelmäßig ab. Ab Anfang der 1960er Jahre war auch die NC-Technik immer wieder ein Thema auf den Sitzungen. Obwohl aus den Protokollen eine grundsätzlich positive Einstellung zur NC-Technik erkennbar ist, wurden NC-Maschinen nur sehr zögerlich beschafft, da die Werke wirtschaftlich eigenverantwortlich waren und strenge Maßstäbe an jede Investition angelegt wurden. Die Konsequenz war, dass M.A.N. 1983 im Vergleich mit ande-

¹⁸¹⁵ Um 1990 war die NC-Technik auch in den Serienfertigungsbereichen bei Daimler verbreitet. Die koordinierende Abteilung VEN für die NC-Einführung wurde deshalb 1990 aufgelöst. Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 181.

¹⁸¹⁶ Die erste 1959 beschaffte NC-Maschine SBR 32 von Heller wurde anfangs nicht wie geplant eingesetzt. Sie war ursprünglich für die Fertigung der Gehäuse eines Automatikgetriebes beschafft worden. Vgl. Daimler AG: Archiv der Verfahrensentwicklung, Büschel Verfahrensentwicklung; Technische Angaben; Kirmse (26.03.1985), S. 1. Erst 1963 gelang es Zick, für diese Maschine eine Verwendung in der Fertigung für ein anderes Automatikgetriebe zu finden. Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 172.

¹⁸¹⁷ Vgl. Bartl u. a. (2002), S. 176.

ren Maschinenbaufirmen nach eigener Einschätzung einen eher unterdurchschnittlichen NC-Bestand vor allem beim Bohren und Fräsen hatte.¹⁸¹⁸

Deutlich wurde die starke Fokussierung auf die Wirtschaftlichkeit auch in einem Vortrag des M.A.N.-Vorstandsmitglieds Moll¹⁸¹⁹ auf der Tagung zum 50-jährigen Jubiläum der ADB¹⁸²⁰ im Jahr 1970:

Um die Kosten des Produktes niedrig zu halten, ist nicht die Automatisierung an sich die Lösung, sondern die Automatisierung mit sinnvollem Mittelaufwand. Dies ist in Westdeutschland besonders wichtig wegen des hohen Zinsniveaus und der relativ knappen Eigenmittel der meisten Unternehmen. Die Einführung der numerischen Steuerung auf breiter Basis scheiterte bisher in erster Linie am Preis der Steuerung und darüber hinaus an dem erforderlichen Aufwand für die Vorbereitung der Lochstreifen. Inzwischen sind die Preise je numerisch gesteuerte Koordinate dank technischer Weiterentwicklung und gesteigener Stückzahlen auf eine tragbare Größenordnung gesunken. Die Preise für die Maschinen sind aber nach wie vor relativ hoch, da für den breiten Produktionsbereich mit relativ geringen Genauigkeitsansprüchen keine speziellen Maschinen gebaut werden. Eine Einfahrtoleranz von $\pm 0,05$ mm sollte für mehr als 80 % der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen genügen. Es gibt das gleiche Problem wie bei den Drehmaschinen, wo vorsichtshalber immer die doppelte Spitzenhöhe und Bettlänge sowie höhere Genauigkeit verlangt als in Wirklichkeit benötigt wird. Das hängt damit zusammen, daß sich die meisten Betriebsingenieure nicht exakt darüber Klarheit verschaffen, welche Abmessungen sie eigentlich von der Mehrzahl ihrer Werkstücke her brauchen.¹⁸²¹

In diesem Zitat stecken drei Kernaussagen:

- Die NC-Technik war unter Berücksichtigung der Programmieraufwendungen erst um 1970 an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit.
- Die Werkzeugmaschinenhersteller boten zu teure Maschinen an; sie legten sie nicht nach den wirklichen Bedürfnissen ihrer Kunden aus.
- Die Kunden bestellten „aus Vorsicht bzw. vermeintlicher Flexibilität“ zu große und damit zu teure Maschinen.

¹⁸¹⁸ Vgl. Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983 Renk Augsburg; Neipp (22.04.1983), S. 2–3. Beim Drehen war nach Neipp der Anschluss an den deutschen Maschinenbau Ende der 1970er Jahre hergestellt worden.

¹⁸¹⁹ Im Oktober 1973 übernahm Moll den Vorsitz der Betriebskommission. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 90; M.A.N. (11.10.1973), S. 7.

¹⁸²⁰ Moll war von 1955 bis 1959 stellvertretender Vorsitzender der ADB und anschließend deren Vorsitzender bis 1962. Zum 50-jährigen Jubiläum 1970 gehörte er noch dem Beirat an. Vgl. VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (1970), S. 10 und 16.

¹⁸²¹ Moll (1970), S. 29.

Auf der 95. BKS in Hamburg im April 1976 drückte Moll seine unveränderte Philosophie in Bezug auf Investitionen in die Automatisierung wie folgt aus:

Automatisierung erfordert Investitionen. Die Wirtschaftlichkeit dieser Investitionen muss durch Einsparungen bei den Lohnkosten erreicht werden [...]. Zum Beispiel können bei einer Zeiteinsparung von 50 % und einer einschichtigen Auslastung der neuen Maschinen bis zu 150.000 DM investiert werden.¹⁸²²

Das verdeutlicht noch einmal, dass M.A.N. immer noch streng auf die Wirtschaftlichkeit von Investitionen achtete. Heidelberger hingegen versuchte, die von Moll skizzierte Problematik der Wirtschaftlichkeit anfangs mit NC-Sondermaschinen zu umgehen bzw. zu verringern. Ob die von M.A.N. oder die von Heidelberger verfolgte Strategie am Ende besser war, lässt sich leider nicht mehr feststellen, da hierzu leider keinerlei Hinweise und Vergleiche in den Archiven von M.A.N. und Heidelberger zu finden sind. Dies ist insofern überraschend, da sich das Fertigungsspektrum bei den Druckmaschinen von Heidelberger und M.A.N. überlappte und sicher Interesse an den Fertigungsmethoden der Mitbewerber bestand. Anscheinend konnte Heidelberger seine Fertigungstechnologie weitgehend geheim halten.¹⁸²³

Daimler verfolgte anfangs eine ähnliche Strategie wie M.A.N. Es wurde in kleinen Schritten in die NC-Technik investiert, wo es aus übergeordneten Überlegungen Sinn machte. Streng an der Wirtschaftlichkeit orientierte Entscheidungen wie bei M.A.N. wurden im Untersuchungszeitraum aber nicht beobachtet, es sei denn, es wird die Entscheidung dazugezählt, die NC-Technik in der Großserie noch nicht einzusetzen. Aber dafür war sie im Untersuchungszeitraum auch noch nicht geeignet.

Die Vorgehensweise bei der NC-Einführung der betrachteten Firmen deckt sich auch mit den Erkenntnissen von Schultz-Wild und Friedrich Weltz. In einer im Auftrag des RKW durchgeführten Studie kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Betriebe bei der NC-Einführung überwiegend schrittweise vorgingen und die NC-Maschinen in größeren Zeitabständen zum Einsatz brachten. Zusätzlich stellten sie fest, dass der Einstieg bevorzugt mit einfachen punktgesteuerten Maschinen begann und die Komplexität der beschafften Maschinen nur langsam gesteigert wurde. Lösungen mit prozessrechnergesteuerten Maschinen wie es sie bei Heidelberger etwa ab 1971 gab, wurden nur vereinzelt beobachtet. Außerdem ergab die Untersuchung, dass die meisten Betriebe versuchten, ihre NC-Maschinen durch eine „Minimierungsstrategie“ mit möglichst wenig Än-

¹⁸²² Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95; Moll (09.04.1976), S. 1.

¹⁸²³ Schon 1962 bei der Bestellung eines ersten Prototyps einer Magazin-Bohrmaschine wurde Burr verboten, ähnliche Maschinen an andere Druckmaschinenhersteller zu liefern. Vgl. Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Ordner Entwicklung Palettmaschinen; Kuhnert (09.04.1962), S. 2.

derungen bei den Fertigungsprozessen zu integrieren, wodurch das Rationalisierungspotenzial nicht vollständig ausgeschöpft wurde.¹⁸²⁴

Sehr inhomogen war die Verteilung der NC-Maschinen auf die einzelnen Industriezweige. So ermittelte Infratest-Industria 1974, dass 60 % der NC-Maschinen im Maschinenbau, 19 % in der Elektrotechnik und nur 7 % im Straßenfahrzeugbau eingesetzt waren. Der Rest entfiel auf andere Branchen. Diese Verteilung hatte sich zwischen 1967 und 1974 nur geringfügig geändert.¹⁸²⁵ Für den Zeitraum zwischen 1977 und 1979 kam das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung in seiner Studie auf etwas andere Werte (vgl. Abbildung 23). Danach hatte der Fahrzeugbau mittlerweile an den Neubeschaffungen der NC-Maschinen einen Anteil von 12,7 %, was aber gespiegelt am Anteil der Metallbearbeitung immer noch wenig war. Dies bestätigt, dass sich der Straßenfahrzeugbau – wie an den Beispielen Daimler und bedingt M.A.N. erläutert – immer noch damit schwertat, bei sich wirtschaftliche Anwendungen für NC-Maschinen zu finden. Das hing sicher mit den optimalen Losgrößen für NC-Maschinen zusammen, die für die Stückzahlen im Fahrzeugbau immer noch klein waren. Das Fraunhofer-Institut ermittelte nämlich in der gleichen Untersuchung, dass 10 % der NC-Maschinen in der Einzelfertigung, 49 % in der Kleinserienfertigung (Losgrößen bis 50 Stück) und 41 % in der Mittelserienfertigung (Losgrößen über 50 Stück) eingesetzt waren.¹⁸²⁶ NC-Maschinen waren am Ende des Untersuchungszeitraums also noch nicht wirtschaftlich für die Großserien im PKW-Bereich.

10.2 Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen aus Sicht der Werkzeugmaschinenhersteller

Für die Werkzeugmaschinenhersteller war der Nachweis der Wirtschaftlichkeit ihrer NC-Maschinen wichtig, um höhere Stückzahlen zu verkaufen. Das galt auch für die im VDF zusammengeschlossenen Drehmaschinenhersteller Gebr. Boehringer (Boehringer) in Göppingen, Heidenreich & Harbeck in Hamburg und H. Wohlenberg in Hannover (vgl. Kapitel 5.1). Ungefähr ein Jahr nach der Vorstellung ihres umfangreichen NC-Maschinenprogramms auf der Olympia-Messe in London wurde vermutlich deshalb im Januarheft 1967 der VDF-Kundenzeitschrift ein Artikel zur Wirtschaftlichkeit von NC-Drehmaschinen veröffentlicht. Schuler beschrieb darin zuerst allgemein und dann an zwei Beispielen, wie die Wirtschaftlichkeit von NC-Drehmaschinen ermittelt werden konnte:

¹⁸²⁴ Vgl. Schultz-Wild/Weltz (1973), S. 170–171.

¹⁸²⁵ Vgl. Privatarchiv Thomas Wissert, Infratest 1; Infratest-Industria (1974), Tabelle 5 S. 15.

¹⁸²⁶ Vgl. Rempp (1981), S. 43 Abb. II/4.

Die Frage nach dem wirtschaftlichen Anwendungsbereich numerisch gesteuerter Drehmaschinen kann heute noch nicht allgemein beantwortet werden. Es liegen noch zu wenig Erfahrungen mit dem Einsatz solcher Drehmaschinen vor, um sagen zu können, daß für eine bestimmte Art von Werkstücken oder eine bestimmte Losgröße die numerisch gesteuerte Maschine wirtschaftlicher ist als eine Universal-Drehbank oder eine Kopierdrehmaschine. Um überhaupt eine Zahl zu nennen, kann man sagen, daß bei Werkstücken mit einem mittleren Schwierigkeitsgrad häufig der wirtschaftliche Anwendungsbereich bei Losgrößen von etwa 5 bis 50 Werkstücken liegt. Bei sehr komplizierten Werkstücken kann es aber auch schon wirtschaftlich sein, Einzelwerkstücke numerisch zu fertigen.

Wegen der Vielzahl der Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit beeinflussen, wird es heute noch erforderlich sein, Wirtschaftlichkeitsrechnungen durchzuführen, um den wirtschaftlichen Anwendungsbereich numerisch gesteuerter Drehmaschinen zu ermitteln. Dabei darf nicht vergessen werden, daß sich wirtschaftliche Verbesserungen nicht allein durch Verringerung der unmittelbaren Fertigungskosten erreichen lassen. Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Größen, die in die Wirtschaftlichkeit eingehen, ohne direkt in den Fertigungskosten zu erscheinen. Die Einführung numerisch gesteuerter Maschinen beeinflusst den gesamten Produktionsablauf, bei der Fertigungskonstruktion und Arbeitsvorbereitung beginnend bis zur Endkontrolle.¹⁸²⁷

In der Zusammenfassung zu den anschließend durchgerechneten zwei Musterbeispielen kam Schuler zu dem Ergebnis:

Die beiden hier behandelten Beispiele haben gezeigt, daß bei den heutigen Kostenverhältnissen numerisch gesteuerte Drehmaschinen sowohl mit Streckensteuerung als auch mit Bahnsteuerung schon durchaus wirtschaftlich eingesetzt werden können. Bei den beiden Teilen ergab sich ein beachtlich großer Bereich, in dem die numerisch gesteuerte Drehmaschine kostengünstiger als die Vergleichsmaschine ist.

Allerdings muß auch gesagt werden, daß sich nicht bei allen bisher untersuchten Werkstücken ein derart günstiges Bild für die numerisch gesteuerte Drehmaschine ergibt. Es wurden auch schon Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Werkstücke angestellt, bei denen die NC-Maschinen in keinem Bereich gegenüber anderen Vergleichsmaschinen wirtschaftlich waren. Es ist deshalb, wie eingangs schon gesagt, im einzelnen Fall erforderlich, einen Wirtschaftlichkeitsvergleich durchzuführen.¹⁸²⁸

Zum besseren Verständnis zeigt Abbildung 69 die Formel, mit der Schuler die Fertigungskosten für die NC-Werkstücke ermittelte, für die Vergleichswerte mit konventionellen Maschinen vorlagen.¹⁸²⁹

¹⁸²⁷ Schuler (1967), S. 54.

¹⁸²⁸ Schuler (1967), S. 60.

¹⁸²⁹ Zum Verständnis sei noch angemerkt, dass in der Formel die Ausführungskosten K_E als Fixkosten pro Teil definiert sind, die sich aus dem anteiligen Maschinenstundensatz inklusive Lohnkosten ergeben.

$K = K_E + \frac{K_{AW}}{L} + \frac{K_{VO}}{AL}$		
Ausführungskosten	Auftragswiederholkosten	Vorbereitungskosten
K_E	K_{AW}	K_{VO}
Maschinenkosten Abschreibung Verzinsung Instandhaltung Raumkosten Energie- und Hilfskosten Fertigungslohnkosten Lohngemeinkosten Werkzeugkosten	Kosten für Auftragserteilung Terminsteuerungskosten Rüstkosten außerhalb der Maschine Rüstkosten an der Maschine	Fertigungsplanungskosten Kosten für Programmieren und Erstellung des Lochstreifens Kosten für Vorrichtungen und Schablonen
	A = Anzahl der Aufträge	L = Losgröße

Abbildung 69: Berechnung der Fertigungskosten je Stück¹⁸³⁰

In der Formel sind K_E Kosten, die bei jedem Werkstück anfallen, K_{AW} Kosten, die jeweils beim Auflegen eines neuen Fertigungsloses einmalig anfallen und K_{VO} Kosten, die einmalig für alle Fertigungslose anfallen.

Auffällig an der Formel war, dass sie die NC-Programmierkosten berücksichtigte, aber keinen Term hatte, der direkt sichtbar die notwendigen Veränderungen des Produktionsablaufs berücksichtigte. Diese waren, wenn überhaupt, nur indirekt in den Kostenblöcken K_E (z. B. Fertigungslohnkosten) und K_{AW} (z. B. Rüstkosten) enthalten, wahrscheinlich, weil sie schwierig zu quantifizieren waren.

Obwohl die Veröffentlichung den Verkauf von NC-Drehmaschinen fördern sollte, war sie nicht einseitig oder unseriös. Sie orientierte sich vielmehr an der Berechnung in der Dissertation von Stehle am WZL in Aachen.¹⁸³¹ Das war naheliegend, da die NC-Entwicklung der Gebr. Boehringer von Schuler und Rohs geleitet wurde, die vom WZL kamen. Beide hatten dort promoviert und Rohs hielt sogar regelmäßig Vorlesungen am WZL, war also im produktionstechnischen Innovationssystem und speziell im WZL gut vernetzt.¹⁸³²

Der Vollständigkeit halber soll noch darauf hingewiesen werden, dass Stehle im Vergleich zu Schuler die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen noch vorsichtiger einschätzte, da er stärker als Schuler den Einfluss von Randbedingungen betonte:

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Herstellkosten eines Werkstücks wesentlich durch die Wahl der Verfahren und Maschinen bestimmt werden. Eine allgemein gültige

¹⁸³⁰ Bildquelle: Schuler (1967), S. 54.

¹⁸³¹ Vgl. Stehle (1966), S. 25 und 29. Die Dissertation hat den Titel „Eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsrechnung unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen“. Stehle hat in seiner Formel noch einen zusätzlichen Term K_{FO} für die Kosten nach der Fertigung (z. B. Lagerkosten). Da diese bei der konventionellen Fertigung vermutlich in gleicher Größenordnung anfielen, konnte er bei einem Vergleich auch entfallen.

¹⁸³² Vgl. Rohs (13.02.2013 und 18.01.2016), S. 3–4.

Aussage, welche Werkstücke besonders geeignet für eine numerisch gesteuerte Fertigung sind, kann aufgrund der 150 analysierten Werkstücke nicht gemacht werden, da die Kosten in weitem Maße von anderen Faktoren wie z. B. der Fertigung und dem jeweils eingesetzten Hilfsmittel beeinflusst werden.¹⁸³³

Eine Erklärung für die zwischen Stehle und Schuler etwas unterschiedliche Einschätzung der Wirtschaftlichkeit könnte sein, dass sich Schuler auf Drehteile konzentrierte, Stehle aber Dreh-, Bohr- und Frästeile betrachtete, da seine Untersuchung breiter angelegt war. Außerdem lag zwischen Stehles Untersuchungen und Schulers Veröffentlichung ungefähr ein Jahr, eine Zeitspanne in der sich die Wirtschaftlichkeit der NC-Drehmaschinen durch einen höheren Anteil der Bahnsteuerungen verbessert hatte; auch lagen den Untersuchungen mit großer Wahrscheinlichkeit unterschiedliche Werkstücke zugrunde. Schuler wählte seine Beispielteile vermutlich so aus, dass die NC-Maschinen nicht zu schlecht abschnitten.¹⁸³⁴

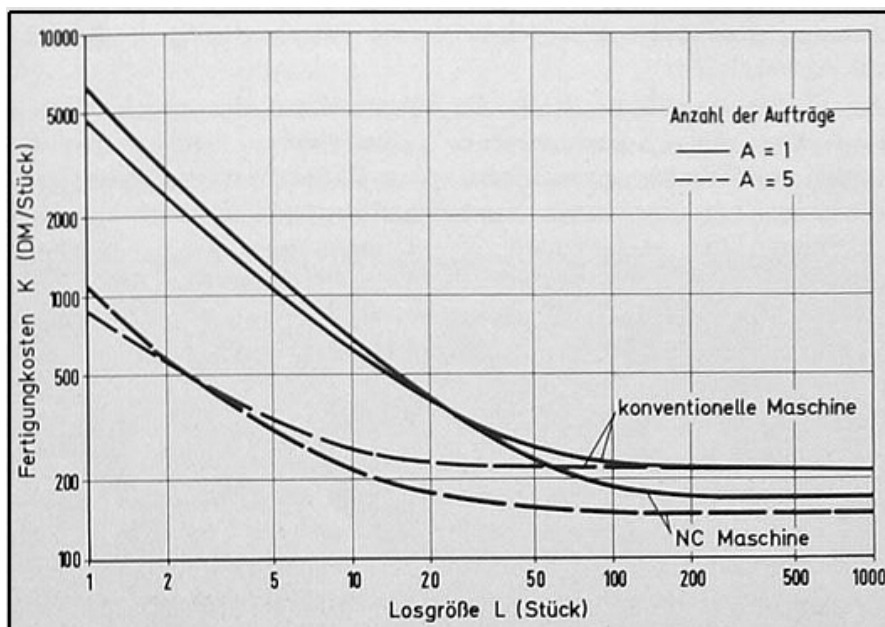


Abbildung 70: Kostenkurve für ein Wirtschaftlichkeitsbeispiel Fräsen und Bohren eines Getriebegehäuses.¹⁸³⁵

Acht Monate später vertieften Rohs und Augustesen das Thema Wirtschaftlichkeit in ihrer Veröffentlichung „Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland – heute und morgen“ weiter. Sie berichteten darin von einem namentlich nicht genannten Betrieb, der die Fertigungskosten von 4000 Werkstücken mit Losgrößen zwischen 5 und 20 untersucht hatte. Dieser Betrieb erzielte

¹⁸³³ Stehle (1966), S. 145.

¹⁸³⁴ In Kapitel 4.6 wird darauf hingewiesen, dass ab 1965 westdeutsche Drehmaschinenhersteller begannen (Boehringer erst ab 1967), ihre Maschinen mit der deutlich wirtschaftlicheren Drehmaschinensteuerung GE 100S auszurüsten. Vgl. Boehringer/Böhringer (05.02.2015), S. 36.

¹⁸³⁵ Bildquelle: Rohs/Augustesen (1967), S. 1596.

schon um 1967 mit jeder Fertigungsstunde auf einer NC-Maschine eine Einsparung von 7 DM. Das summierte sich bei den betrachteten 100.000 Fertigungsstunden auf 700.000 DM, was eine beträchtliche Größenordnung war.¹⁸³⁶

Die Autoren versuchten dann, mit diesem positiven Beispiel die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen grafisch zu untermauern. Abbildung 70 zeigt aus der Veröffentlichung ein Beispiel für die Fertigungskosten eines Getriebegehäuses. Nur bei Losgrößen bis ca. 20 Stück, im Wiederholungsfall sogar noch weniger, war die Fertigung mit konventionellen Maschinen günstiger als mit NC-Maschinen. Bei größeren Fertigungslosen waren NC-Maschinen immer wirtschaftlicher, der Abstand vergrößerte sich aber ab Losgrößen über 200 nicht mehr.

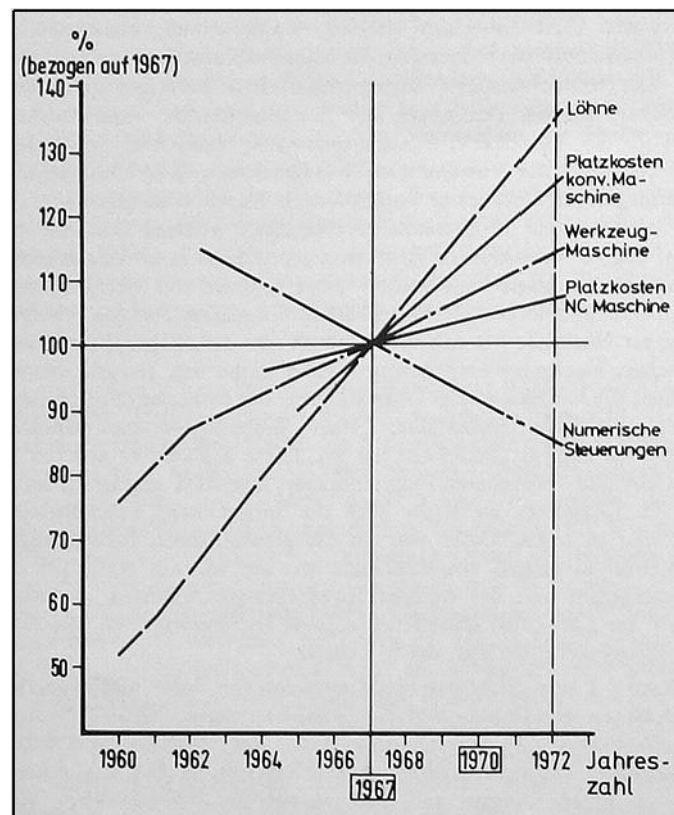


Abbildung 71: Prognostizierte Entwicklung von Kostenkomponenten der Werkzeugmaschinen.¹⁸³⁷

Die Autoren prognostizierten ab 1967 auch die Kostenentwicklung von Löhnen und Maschinen in den nächsten fünf Jahren (Abbildung 71). Nach ihrer Prognose stiegen die Lohnkosten deutlich schneller als die „Platzkosten von NC-Maschinen und konventionellen Maschinen“ an. Sie schlussfolgerten daraus, dass NC-Maschinen im Vergleich mit konventionellen Maschinen immer wirtschaftlicher werden, ohne sie aber endgültig zu verdrängen:

¹⁸³⁶ Vgl. Rohs/Augustesen (1967), S. 1595. Möglicherweise handelte es sich bei dem Betrieb um die Heidelberger Druckmaschinen.

¹⁸³⁷ Bildquelle: Rohs/Augustesen (1967), S. 1599.

Aufgrund dieser Überlegungen kann wohl mit Sicherheit behauptet werden, daß es in einigen Jahren keine Diskussion mehr über die grundsätzliche Anwendung oder die Wirtschaftlichkeit numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen geben wird. Sie werden ein Fertigungsmittel sein wie jedes andere auch, das da eingesetzt wird, wo es Vorteile bringt. Insbesondere werden sie auch bei kleineren Firmen Eingang finden, wie dies heute schon in den USA zu beobachten ist. Hierzu wird es allerdings noch mancher Aufklärungs- und Überzeugungsarbeit bedürfen. Hierzu sind Messen, wie die bevorstehende 10. Europäische Werkzeugmaschinen-Ausstellung eine hervorragende Gelegenheit.

Es muß aber auch betont werden, daß neben den numerisch gesteuerten Maschinen die konventionell automatisierten und die handbedienten Werkzeugmaschinen ihre Einsatzbereiche behalten werden, genau so wie auch heute noch Werkzeuge aus Werkzeugstahl, Schnellstahl, Hartmetall und Keramik nebeneinander, jedes für seine bestimmten Bereiche, eingesetzt werden.¹⁸³⁸

Aus heutiger Sicht waren die Überlegungen richtig. Schon 1967 konnten mit NC-Maschinen einige Werkstücke ab kleinen Losgrößen wirtschaftlicher gefertigt werden und durch die prognostizierte Kostenentwicklung setzten sich NC-Maschinen in der Metallbearbeitung nach und nach durch, vor allem als sich ab Mitte der 1970er Jahre durch die CNC-Maschinen eine weitere Kostensenkung ergab. Für einfache Aufgaben werden konventionelle Werkzeugmaschinen auch heute noch in der Fertigung und in Werkstätten verwendet.

Für Rohs war die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen ein zentrales Thema. 1969 erschien von ihm in der Werkstattstechnik erneut eine aktualisierte Veröffentlichung.¹⁸³⁹ 1973 hielt er an der Technischen Akademie Esslingen erstmals einen dreitägigen Kurs (vgl. Kapitel 8.1.1) zu wirtschaftlichen Fragen der NC-Technik mit seinem Mitarbeiter Koschnik. Die Teilnehmer sollten lernen, das in seinen Veröffentlichungen beschriebene Vorgehen zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit einer Investition in NC-Maschinen auf ihren Betrieb anzuwenden. Das Kursprogramm verdeutlichte die Aufgaben, die für einen wirtschaftlichen Betrieb von NC-Maschinen abgearbeitet werden mussten:

1. Investitions-Entscheidung

- Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Kalkulatorischer Verfahrenvergleich
- Einflußgrößen für den Verfahrenvergleich
- Rechenverfahren und Beispiele

2. Vorbereitende Arbeiten für den Einsatz

- Durchsprache eines Netzplanes
- Werkstückauswahl
- Richtige Personal-Auswahl und -Ausbildung

¹⁸³⁸ Rohs/Augustesen (1967), S. 1599.

¹⁸³⁹ Rohs (1969).

3. Vorbereitende Arbeiten für den Einsatz

Wahl des Werkzeugsystems
Wahl des Programmiersystems

4. Maßnahmen zum wirtschaftlichen Einsatz

Fertigungsplanung:
Das Programmieren als Schlüssel zur Wirtschaftlichkeit
Werkzeug-Technik, Zerspanungsbedingungen

5. Besichtigung der Maschinenfabrik Gebr. Boehringer in Göppingen

unter besonderer Berücksichtigung der in der Fertigung eingesetzten numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen¹⁸⁴⁰

Neben Methoden zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Maschineninvestitionen wurden auch wichtige Randthemen organisatorischer und personeller Art behandelt, die Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hatten. Zum besseren Verständnis anbei noch einige Stichworte aus den Kursunterlagen, die für die Referenten entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen waren:

- Durch organisatorische Maßnahmen muß sichergestellt sein, daß die numerisch gesteuerten Maschinen in zwei Schichten ständig mit Produktion ausgelastet sind. Nach unseren Erfahrungen funktioniert dies im allgemeinen sehr gut bei der ersten NC-Maschine.
[...]
- Es zeigt sich, daß eine Vielzahl von Störungen aufgrund organisatorischer Mängel dazu führt, daß die Maschinen nicht produzieren. Das kann am fehlenden Werkzeug, an fehlenden Programmen, fehlenden Rohteilen oder fehlenden Fertigungsaufträgen liegen.
[...]
- Bezüglich der Werkzeugtechnik muß der Anwender numerisch gesteuerter Maschinen von der gewohnten Einsatzweise von Werkzeugen bei konventionellen Werkzeugmaschinen abgehen. Der wirtschaftliche Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen bedingt größere Spantiefen, größere Vorschübe und insbesondere größere Schnittgeschwindigkeiten als gewohnt.
[...]
- Das Programmieren wird von vielen Anwendern als ein notwendiges Übel für den Einsatz numerisch gesteuerter Maschinen angesehen. Dementsprechend wird an dieser Stelle gespart und nur der kleinstmögliche Aufwand getrieben. In Wirklichkeit liegt primär die Entscheidung über die Wirtschaftlichkeit oder Unwirtschaftlichkeit des Einsatzes einer NC-Maschine in der Hand des Programmierers.
[...]¹⁸⁴¹

¹⁸⁴⁰ Archiv Technische Akademie Esslingen, Lehrgang Nr. 1972/33.02/4; Rohs/Koschnick (09.04.1973), Inhaltsverzeichnis.

¹⁸⁴¹ Archiv Technische Akademie Esslingen, Lehrgang Nr. 1972/33.02/4; Rohs/Koschnick (09.04.1973), S. 2/2–2/3.

Da nicht alle Interessenten den Kurs besuchen konnten, erschienen die Lehrgangsunterlagen vier Jahre später (1977) erstmals als Buch, in das die technischen Weiterentwicklungen und die Erfahrungen aus den abgehaltenen Kursen eingearbeitet waren.¹⁸⁴² Schon die erste Auflage enthielt Musterformulare für die Erstellung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Auch die Gebr. Heller (Heller) versuchten, die Wirtschaftlichkeit ihrer NC-Maschinen zu belegen. Schon in der Beschreibung ihrer „Numerisch gesteuerte[n] Werkzeugmaschinen“¹⁸⁴³ (vermutlich vom Dezember 1963) wurde auf die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen eingegangen. Auch Heller betonte, dass für einen korrekten Vergleich mit konventionellen Maschinen die einzelnen Kostenpositionen differenziert betrachtet werden müssen, da sich konventionelle und NC-Maschinen in ihren Kostenstrukturen erheblich unterscheiden würden. Bisher seien bei Kostenvergleichen nur die in Abbildung 72 schraffierten Flächen berücksichtigt worden.

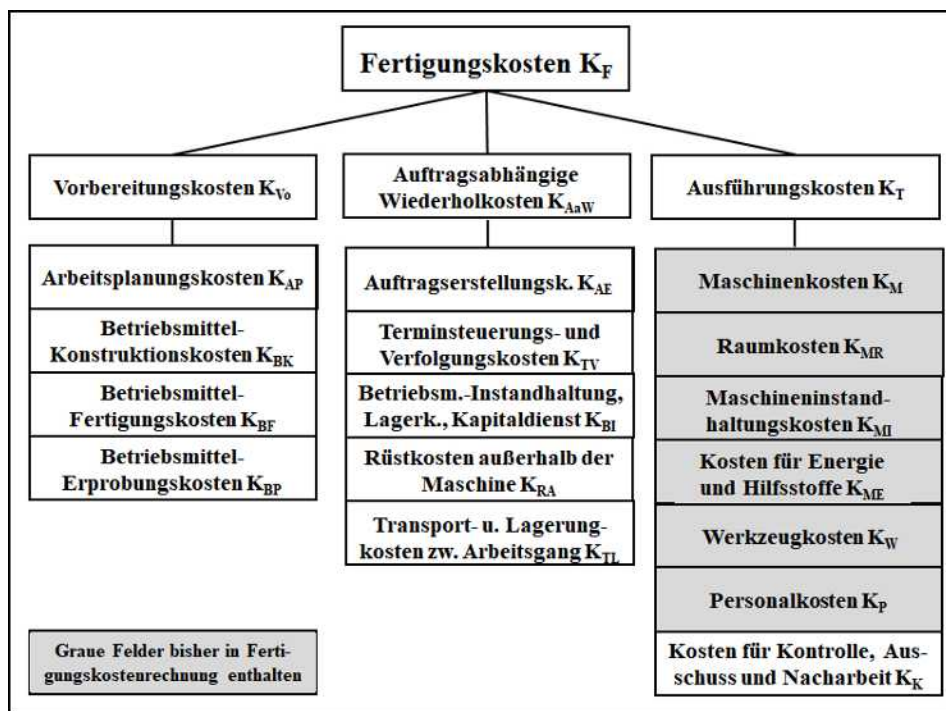


Abbildung 72: Struktur der Fertigungskosten bei NC-Maschinen¹⁸⁴⁴

Das Rechenschema von Heller stimmte bzgl. der Struktur der Fertigungskosten grundsätzlich mit dem Rechenschema von Schuler (Abbildung 69) überein, die Unterpositionen waren aber auf den ersten Blick nicht ganz identisch. Auffällig war, dass Heller die Programmierkosten nicht als separate Position auswies, sondern den Arbeitspla-

¹⁸⁴² Koschnick u. a. (1977). Das Buch war recht erfolgreich. Bis 1989 erschienen drei Auflagen.

¹⁸⁴³ Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (12/1963).

¹⁸⁴⁴ Bildquelle: Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (12/1963), Blatt 31, S.2 bzw. Bäuml (1967), S. 450.

nungskosten zuordnete, was sicher damit zusammenhing, dass Heller anfangs keine spezielle Wirtschaftlichkeitsrechnung für NC-Maschinen wollte. Heller wies lieber in der Beschreibung darauf hin, dass sich die einzelnen Unterpositionen zwischen NC-Maschinen und konventionellen Maschinen deutlich unterscheiden.¹⁸⁴⁵

Anschließend wurden die Fertigungskosten von zwei Werkstücken auf zwei NC-Maschinen mit denen auf konventionellen Maschinen verglichen. Als Einsparung durch die NC-Maschinen wurden bei dem einen Musterteil etwa 30 %, bei dem anderen sogar fast 57 % ermittelt.¹⁸⁴⁶ Dabei fällt im Vergleich zu den zeitlich späteren Ausführungen von Boehringer auf, dass Heller nicht so deutlich darauf hinwies, dass für einen wirtschaftlichen Betrieb von NC-Maschinen auch die Fertigungsorganisation angepasst werden muss. An dieser Stelle kann spekuliert werden, ob Heller den Aufwand für die Änderungen der Fertigungsabläufe Anfang der 1960er Jahre für unwesentlich hielt oder ihn verschwieg, um potenzielle Kunden nicht zu abzuschrecken. Auch die Annahme durch Mehrmaschinenbedienung die Personalkosten an NC-Maschinen zu senken, war im Nachhinein eher unrealistisch. Heller schrieb:

Die Bearbeitungszeiten auf numerisch gesteuerten Maschinen liegen erfahrungsgemäß bei einspindliger Bearbeitung zwischen 15 Minuten und 1 Stunde, bei Maschinen mit Werkzeugwechselmagazin auch darüber. Es ist deshalb falsch, den Bedienungsmann während der gesamten Fertigungszeit an der Maschine stehen zu lassen. Vielmehr sollte die numerisch gesteuerte Maschine als Zweitmaschine zu einer konventionellen eingesetzt werden oder der Mann sollte eine Gruppe von 4 oder 5 numerisch gesteuerter Maschinen gleichzeitig bedienen, da er nur zum Wechseln der Werkstücke benötigt wird.¹⁸⁴⁷

Theoretisch mag es möglich sein, dass ein Maschinenbediener bis zu fünf NC-Maschinen gleichzeitig bedienen kann. In der Praxis wurde das in dieser Dimension aber nicht beobachtet. Clausnitzer kam zu dem Ergebnis, dass es nur an 26 % der Bearbeitungszentren eine Mehrmaschinenbedienung gab und es sich dabei überwiegend um eine Zweimaschinenbedienung handelte.¹⁸⁴⁸ Es drängt sich also der Verdacht auf, dass Heller die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen etwas schönte, um besser verkaufen zu können.

Vier Jahre später veröffentlichte Bäuml von Heller einen Artikel „Über die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen“¹⁸⁴⁹, der auch noch die Grafik von Abbildung 72 verwendete. Die Argumentation einschließlich der unterstellten Mehrmaschinenbedienung

¹⁸⁴⁵ Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (12/1963), Blatt 31, S. 2–Blatt 32, S. 1.

¹⁸⁴⁶ Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (12/1963), Blatt 35, S. 1–Blatt 36, S. 1.

¹⁸⁴⁷ Vgl. Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999; Gebr. Heller Maschinenfabrik (12/1963), Blatt 34, S. 2–Blatt 35, S. 1.

¹⁸⁴⁸ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 29. Über alle NC-Maschinenarten gesehen waren es sogar nur 15%.

¹⁸⁴⁹ Bäuml (1967).

war unverändert, es wurden aber andere Werkstücke verglichen. Bäuml ermittelte für die Fertigung mit NC-Maschinen bei zwei Teilen eine Einsparung der Fertigungskosten von 51 %, bei einem Teil von 20 %. Noch beeindruckender war die Verkürzung der Fertigungszeit, die bei allen Werkstücken um die 80 % betrug. Am Ende seines Aufsatzes nannte Bäuml denkbare Maßnahmen, um die Wirtschaftlichkeit noch weiter zu steigern:

- a) Schwierige Bearbeitungen sollen einfachen vorgezogen werden. Somit sind Fräs- und Bohrwerksaufgaben auf NC-Maschinen wesentlich wirtschaftlicher durchzuführen als einfache Bohrarbeiten. Am wirtschaftlichsten wird die Kombination aller 3 Verfahren bei Einsatz eines Bearbeitungszentrums sein.
- b) Je schwieriger die Bearbeitungsaufgaben, umso kleiner die wirtschaftliche Losgröße. Selbstverständlich steigt die Wirtschaftlichkeit mit wachsender Gesamtstückzahl.
- c) Da bereits mit dem Kauf der ersten NC-Maschine weitere Einrichtungen erstellt werden müssen, wie Programmierstelle, Werkzeugeinstellplatz usw., sinkt deren Kostenanteil mit jeder weiteren NC-Maschine. Außerdem kann man sowohl eine als auch mehrere NC-Maschinen von einem Einrichter und einem Maschinenarbeiter bedienen lassen. Daher NC-Zentren bilden und NC-Maschinen nicht im Betrieb verstreut aufstellen.
- d) Programmierzeit durch Einsatz von Programmiersprachen und Rechenzentren abkürzen.
- e) Maschinenteile ‚NC-gerecht‘ konstruieren (Zahl der Werkzeuge) und Zeichnungen in Koordinaten, ausgehend vom Nullpunkt, vermaßen.¹⁸⁵⁰

Der Artikel von Bäuml stand zusammen mit anderen Artikeln in einer Ausgabe der Zeitschrift TZ¹⁸⁵¹, die ganz auf die 10. Europäische Werkzeugmaschinenausstellung EWA in Hannover ausgerichtet war. In dieser Ausgabe war auch der schon zitierte Artikel von Schuler (Boehringer) zur Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen erschienen, zusammen mit fünf weiteren Veröffentlichungen:

- Rationelles und wirtschaftliches Hobeln mit numerisch gesteuerten Hobelmaschinen¹⁸⁵²
- Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit numerisch gesteuerter Revolverdrehmaschinen¹⁸⁵³
- Beispiele über den wirtschaftlichen Einsatz numerisch gesteuerter Koordinatenbohrmaschinen¹⁸⁵⁴
- Sinnvoller Einsatz numerisch gesteuerter Fräsmaschinen¹⁸⁵⁵

¹⁸⁵⁰ Bäuml (1967), S. 455.

¹⁸⁵¹ Technisches Zentralblatt für praktische Metallbearbeitung.

¹⁸⁵² Goll (1967).

¹⁸⁵³ Wöpkemeier/Möbius (1967).

¹⁸⁵⁴ Fleck/Heinbach (1967).

¹⁸⁵⁵ Kipf (1967).

- Wirtschaftlichkeitsfragen beim Einsatz numerisch gesteuerter Rundschleifmaschinen¹⁸⁵⁶

Das Erscheinen von sieben Artikeln über die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen in einer Fachzeitschrift zur 10. Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung EWA 1967 in Hannover lässt vermuten, dass auf dieser Messe der Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen eine große Bedeutung zugemessen wurde. Es zeigte aber auch, dass die in den Artikeln indirekt genannten Werkzeugmaschinenhersteller für ihre Kunden die Botschaft hatten, dass NC-Maschinen unter bestimmten Randbedingungen (jetzt) wirtschaftlicher als konventionelle Maschinen waren. Das war zwingend notwendig, denn nur wenn diese Erkenntnis auch ihre Kunden teilten, konnten sie mehr NC-Maschinen verkaufen. Andererseits war es für kritische und fachkundige Leser 1967 wahrscheinlich offensichtlich, dass die Systematik der Wirtschaftlichkeitsrechnungen für NC-Maschinen noch nicht ausgereift war und noch viele Fragezeichen enthielt. Besonders die für NC-Maschinen oft unterstellte Absenkung der Logistikkosten oder der Lohnkosten durch Mehrmaschinenbedienung dürfte manchen Skeptiker nicht überzeugt haben. Summarisch führte die weiter bestehende Kundenskepsis dazu, dass bis auf die NC-Drehmaschinen der Anstieg der NC-Verkaufszahlen schwächer ausfiel, als von vielen erwartet wurde.

10.3 Entlohnung an NC-Maschinen

Die Frage der Entlohnung an NC-Maschinen wurde in der Anfangsphase der NC-Technik intensiv diskutiert, da die Lohnkosten die Wirtschaftlichkeitsrechnung stark beeinflussten. Vor allem in den USA wurde anfangs oft die Meinung vertreten, die Bedienung einer NC-Maschine sei sehr einfach und erfordere weniger Wissen. Trotzdem wurden in den USA die Bediener überwiegend nicht schlechter eingestuft als die der vergleichbaren konventionellen Maschinen, um gewerkschaftlichen Widerstand zu vermeiden.¹⁸⁵⁷ Auch in Westdeutschland setzte sich eine ähnliche Sicht durch. Wegen der hohen investitionsbedingten Maschinenstundensätze machte es für die Unternehmen wenig Sinn, bei den Lohnkosten zu sparen und dadurch Engpässe beim Bedienungspersonal zu provozieren.¹⁸⁵⁸ Diese Sicht bestätigte auch Clausnitzer. Er ermittelte 1974, dass der Lohn an NC-Maschinen im Vergleich zu konventionellen Maschinen in den untersuchten Betrieben zu 9 % niedriger, zu 19 % höher und zu 72 % gleich war.

¹⁸⁵⁶ Schopper (1967).

¹⁸⁵⁷ Vgl. Schultz-Wild/Weltz (1973), S. 19.

¹⁸⁵⁸ Vgl. Schultz-Wild/Weltz (1973), S. 73–74.

Der durchschnittliche Stundenlohn lag damals bei 7 DM, wobei er je nach Bundesland Abweichungen von + 10 % bis -3 % feststellte.¹⁸⁵⁹

Diskutiert wurde allerdings, welches Entlohnungssystem für Beschäftigte an NC-Maschinen richtig war. Da der NC-Bediener durch das vorgegebene NC-Programm die Fertigungszeit weniger als an einer konventionellen Maschine beeinflussen konnte, war der in der Fertigung übliche Akkordlohn für NC-Maschinen nur bedingt geeignet. Auch Rohs und Koschnick behandelten in ihrem Buch zum Kurs an der TAE das Problem:

Auch die Entlohnung des Bedienungspersonals für NC-Werkzeugmaschinen ist sorgfältig zu prüfen. Hier ist zunächst festzustellen, wie hoch die Möglichkeiten sind, die Arbeitsgeschwindigkeit der Maschine zu beeinflussen. Hiervon hängt es ab, ob eine Bezahlung im Akkordlohn sinnvoll ist, oder ob ein fester Stundenlohn vorzuziehen ist. Auch Prämiensysteme werden hier angewandt, dabei ist die Basis für die Prämie sorgfältig festzulegen. Zweckmäßigerweise wird man anfangs die im übrigen Betrieb übliche Entlohnungsform auch für die NC-Maschine übernehmen. In den meisten Fällen dürfte dies in der Fertigung der Akkordlohn sein. Hier muß während der ersten Zeit ein Akkord-Richtsatz vereinbart werden, bis eine ausreichende Kontinuität der Fertigung erreicht ist, um Zeitaufnahmen zu machen und bis genügend Erfahrungen für eine hieb- und stichfeste Zeitvorgabe vorliegen.

Der Übergang auf Prämienentlohnung ist sicher erst dann zu empfehlen, wenn mehrere NC-Maschinen im Einsatz sind und umfangreiche Erfahrungen über deren Einsatz bestehen.¹⁸⁶⁰

Rohs und Koschnick empfahlen also, sich nach der NC-Einführung anfangs noch am vorhandenen Entlohnungssystem zu orientieren und erst, wenn genügend Erfahrungswerte vorlagen, Änderungen vorzunehmen; aus ihren Überlegungen kann aber eine Favorisierung des Akkordlohns herausgelesen werden, um innerbetriebliche Konflikte zu vermeiden.

Schon einige Jahre vorher (1969) versuchte Sämann in seiner Diplomarbeit, die auch als REFA-Studie erschien, Vorschläge für die Entlohnung zu machen. Sämann beschäftigte sich nicht mit der absoluten Einstufung, sondern damit, welches der bekannten Lohnsysteme Akkordlohn, Prämienlohn oder Grundlohn mit Leistungszulage sich für NC-Maschinen am besten eignete. Er kam zu folgendem Ergebnissen:

¹⁸⁵⁹ Vgl. Clausnitzer (1974), S. 27. Das Durchschnittsgehalt in der Bundesrepublik Deutschland lag 1974 bei Vollzeit für Männer bei 957 DM. Das entsprach bei 8 Arbeitsstunden/Tag etwa einem Stundenlohn von 5,69 DM. Vgl. Statistisches Bundesamt (2021). Die Bezahlung eines NC-Bedieners war also überdurchschnittlich.

¹⁸⁶⁰ Koschnick u. a. (1977), S. 159.

1. Akkordsysteme mit Ausgleichsverfahren für die unbeeinflussbaren Zeitanteile sind für die Anwendung an numerisch gesteuerten Plätzen nur beschränkt tauglich. Sie können angewendet werden, wenn sog. Füllarbeiten nebenher zu erledigen sind oder bei Mehrstellenarbeit eine zweite Maschine (herkömmliche oder numerisch gesteuerte Maschine) zu bedienen ist. Es kann dabei nur das Mengenergebnis berücksichtigt werden.
2. Prämiensysteme verschiedener Art sind für die Anwendung an numerisch gesteuerten Maschinen gut geeignet; sie sind den gegebenen Erfordernissen entsprechend anzupassen. Die Lohnabrechnung ist mit Hilfe von Zeitschreibern leicht durchzuführen. Von den verschiedenen Systemen ist das der ‚kombinierten Prämie‘ am besten anwendbar.
3. Auch Grundlöhne mit Leistungszulagen sind für numerisch gesteuerte Maschinen gut geeignet; sie sind den Prämiensystemen ähnlich, nur daß die Zulagen nicht immer exakt berechnet, sondern z. T. durch allgemeine Beurteilungen bestimmt werden. Sie verfolgen den Trend zu einer einfacheren Lohngestaltung und -ermittlung.¹⁸⁶¹

Im Gegensatz zu Rohs/Koschnick favorisierte Sämann mehr den Grundlohn oder den Prämienlohn, weil diese die Arbeitssituation an den NC-Maschinen seiner Meinung nach besser abbildeten als der Akkordlohn. Er orientierte sich dabei mehr an der tatsächlichen Arbeitssituation an der NC-Maschine als am Umfeld, in das sie eingebettet war.

Dass die Betriebe anfangs eher wie von Rohs und Koschnick vorgeschlagen vorgingen, zeigt Tabelle 10 im Vortrag von Erdle über die Entlohnung auf der 101. BKS-Sitzung (April 1979) bei M.A.N. Danach wurde die Entlohnung an den NC-Maschinen des GHH-Konzerns in den 13 Werken wie folgt gehandhabt:

- Sechs Werke bezahlten nach Akkordlohn
- Ein Werk bezahlte nach Akkordlohn oder Zeitlohn
- Ein Werk bezahlte nach Akkordlohn oder Zeitlohn mit Leistungsbewertung
- Drei Werke bezahlten nach Zeitlohn
- Zwei Werke bezahlten nach Zeitlohn mit Leistungsbewertung¹⁸⁶²

Für die Zukunft planten nach Erdle zwei Werke, den Prämienlohn einzuführen, ein Werk den Leistungslohn und zwei Werke einen modifizierten Akkordlohn, d. h. fünf Werke wollten aufgrund ihrer Erfahrung das Entlohnungssystem modifizieren und bewegten sich tendenziell auf die Vorschläge von Sämann zu. In der Tabelle sind auch die durchschnittlichen Löhne vor und nach dem CNC-Einsatz aufgeführt. Sie wurden in keinem Werk reduziert und im Werk mit den niedrigsten Löhnen leicht erhöht. Erdle

¹⁸⁶¹ Sämann (1969), S. 43.

¹⁸⁶² Vgl. Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 101; Erdle (06.04.1979), Tabelle 10, gez. S. 21.

formuliert das Ergebnis seiner Analyse wie folgt, wobei er nicht auf die absolute Lohnhöhe, sondern auf die Art der Entlohnung einging:

Neben der Programmierung ist vielleicht die am meisten diskutierte Frage die nach der geeigneten Entlohnungsform. Wie aus Tab. 10 zu ersehen, werden derzeit die CNC-Bediener vorwiegend im Akkord bezahlt, wenn auch in 6 Unternehmen der Zeitlohn – teilweise in Form eines Akkorddurchschnitts – zumindest neben dem Akkord eingeführt ist.

Über die Frage, ob die Zukunft an den CNC-Maschinen – und nicht nur dort – dem Akkord genauso gehören wird wie die Gegenwart, darüber gehen die Meinungen sehr weit auseinander.¹⁸⁶³

Die Fraunhofer-Studie kam zwei Jahre später bei 50 untersuchten Arbeitsplätzen hinsichtlich der Lohnform zu einem anderen Ergebnis. In den von ihr untersuchten Betrieben wurden die Bediener der NC-Maschinen zu 78 % nach Zeitlohn bezahlt und nur zu 10 % nach Prämienlohn bzw. 12 % nach Akkordlohn. Die durchschnittliche Lohnhöhe lag bei 111 % des Ecklohns, also auch über dem Soll.¹⁸⁶⁴

Auch die IG Metall untersuchte die Entlohnung ihrer Mitglieder an den NC-Maschinen, nachdem 1980 der 13. ordentliche Gewerkschaftstag den IG-Metall-Vorstand beauftragt hatte, ein „Aktionsprogramm gegen negative Folgen von Rationalisierung und technischem Wandel als Gesamtkonzept“ zu entwickeln. Grundlage dafür sollte eine bundesweite Bestandsaufnahme sein. Dazu wurden zwischen Sommer 1982 und Frühjahr 1983 die Betriebsräte in 1100 Metallbetrieben befragt.¹⁸⁶⁵

Ein Ergebnis der Befragung war, dass schon in 64 % aller befragten Betriebe NC-Maschinen im Einsatz waren, Bearbeitungszentren und flexible Fertigungssysteme allerdings nur in 26 % der Betriebe.¹⁸⁶⁶ Bei der Entlohnung an den NC-Maschinen hatten die Betriebsräte für die Mitglieder erfolgreich verhandelt. Nur etwa 8 % der an NC-Maschinen Beschäftigten mussten Einbußen hinnehmen, etwa 66 % wurden unverändert bezahlt und immerhin 26 % wurden besser eingruppiert.¹⁸⁶⁷ Damit hatte sich die finanzielle Situation im Vergleich zur Untersuchung von Clausnitzer sogar noch leicht verbessert.

Zusammengefasst änderte sich an den NC-Maschinen die Entlohnung zögernd vom Akkordlohn zu anderen Lohnformen (wie etwa dem Prämienlohn oder Zeitlohn), wobei die Umstellungsgeschwindigkeit firmenspezifisch war. Die Lohnhöhe blieb z. B.

¹⁸⁶³ Historisches Archiv der MAN Augsburg, Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 101; Erdle (06.04.1979), S. 10–11.

¹⁸⁶⁴ Vgl. Rempp (1981), S. 178–179.

¹⁸⁶⁵ Vgl. Janzen (1983b), S. 7–9. Von den insgesamt befragten Betrieben setzten 690 NC/CNC-Maschinen ein. Vgl. Janzen (1983b), S. 28.

¹⁸⁶⁶ Vgl. Übersicht 7a und 7b. Janzen (1983b), S. 15.

¹⁸⁶⁷ Vgl. Janzen (1983b), Übersicht 14, S. 30. Die Lohnform wurde in der Untersuchung nicht ermittelt. Vgl. hierzu auch Abbildung 67.

bei M.A.N. weitgehend unverändert, während die Fraunhofer-Studie und die IG Metall bei späteren Untersuchungen eher etwas höhere Löhne ermittelten. Die von manchen Skeptikern anfangs befürchtete Lohnabsenkung an NC-Maschinen kann aber für den Untersuchungszeitraum nicht bestätigt werden.

10.4 Zusammenfassung

Ab Mitte der 1960er Jahre rückte die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen immer mehr in den Fokus. Zuerst beschäftigten sich die Hochschulinstitute mit der Frage und kamen zu dem Ergebnis, dass die Wirtschaftlichkeit bei Werkstücken, die auch konventionell gefertigt werden können, oft nicht gegeben war.

Die Maschinenhersteller dagegen hatten Interesse, die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen möglichst früh nachzuweisen, da sie nur so ihre NC-Maschinen verkaufen konnten. Sie griffen deshalb auf die Berechnungsmethoden der Hochschulen zurück und wendeten diese auf für sie günstige Musterteile an. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass in vielen Fällen NC-Maschinen schon wirtschaftlich waren, schränkten die Aussage aber dahingehend ein, dass die Ergebnisse nur beispielhaft waren. Mit der Weiterentwicklung der NC-Maschinen und den sinkenden Kosten für die NC-Steuerung und die Antriebe wurden die NC-Maschinen aber jedes Jahr preiswerter und damit wirtschaftlicher, sodass etwa ab 1967 die Fertigung mit NC-Maschinen für immer mehr Werkstücke nach und nach günstiger wurde als die Fertigung mit konventionellen Maschinen. Das traf vor allem für NC-Drehmaschinen zu, da für diese Maschinen mit der GE 100S ab Mitte der 1960er Jahre eine leistungsfähige und preiswerte NC-Bahnsteuerung zur Verfügung stand.

Auch die Entlohnung der Mitarbeiter an NC-Maschinen und die passende Lohnart wurde intensiv diskutiert. Anfängliche Befürchtungen, dass die Löhne an NC-Maschinen fallen, bewahrheiteten sich nicht. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraums konnte überwiegend sogar ein Lohnanstieg für an NC-Maschinen Arbeitende beobachtet werden. Es entwickelte sich aber eine intensive Diskussion darüber, ob der an konventionellen Maschinen übliche Akkordlohn auch an NC-Maschinen die richtige Lohnform war, da der Maschinenbediener weniger Einfluss auf die Fertigungszeit hatte. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraums gab es bei der Lohnform trotz der Diskussionen nur geringfügige Veränderungen, es deutete sich aber an, dass der Anteil des Akkordlohns in Zukunft zurückgehen würde.

11 Migration der NC-Technik in andere Technologien

Der Kern der NC-Technik ist das programmierbare Verfahren einer oder mehrerer Achsen mit einem definierten Bewegungsprofil zwischen zwei Positionen. Wird z. B. beim Verfahren der Achsen von NC-Fräsmaschinen ein rotierendes Werkzeug mitbewegt, kann dabei ein Werkstück bearbeitet (zerspan) werden.

Als die Technologie ab Anfang der 1960er Jahre einer breiteren Öffentlichkeit bekannt wurde, entwickelten sich bald Ideen, das „programmierbare Verfahren“ zwischen zwei Punkten nicht nur bei Werkzeugmaschinen anzuwenden. Über die Jahre wanderte so der Kern der NC-Technik in eine Vielzahl anderer Anwendungen. Einige davon, die mittlerweile eine hohe Bedeutung erlangt haben, werden in den folgenden Unterkapiteln kurz vorgestellt. An den Beispielen soll deutlich werden, dass die NC-Technologie heute eine Basistechnologie ist, die in unserer technischen Umwelt an vielen Stellen angetroffen wird.

11.1 Positionierungstechnik im Maschinenbau

Achsen programmgesteuert zu positionieren, ermöglichte bei vielen Anwendungen im Maschinenbau, bei denen nur eine Achse, manchmal auch ohne Bearbeitung, positioniert werden musste, neue Lösungsansätze. Ein einfaches Beispiel waren die Bearbeitungsstationen einer Transferstraße.¹⁸⁶⁸ Bei diesen musste eine Achse für die Bearbeitung oft nur einen genau definierten Weg vor- und zurückzufahren.

Durch die zunehmend geforderte Flexibilisierung der Transferstraßen¹⁸⁶⁹ änderte sich die Größe des Fahrwegs häufiger, was bei Maschinen ohne NC-Achsen aufwendige Einrichtearbeiten mit Maschinenstillstand erforderte. War die fragliche Achse hingegen eine „NC-Achse“, konnte die Anpassung einfach durch eine geänderte Positionsvorgabe erfolgen.

Anfangs scheiterte die Integration von NC-Achsen in Transferstraßen daran, dass keine preiswerten „einachsigen NC-Steuerungen“ verfügbar waren, die einfach in die Stationen integriert werden konnten. Dies änderte sich durch die Erfindung des Mikropro-

¹⁸⁶⁸ Transferstraßen werden für die Großserienfertigung komplexer Metallteile eingesetzt. Typische Anwendungen sind Motoren, Achsen und Getriebe im Automobilbau. Die Teilebearbeitung erfolgt in Transferstraßen in mehreren aufgereihten Bearbeitungsstationen, die durch ein Transportsystem miteinander verbunden sind. An einer Station erfolgt oft nur ein Arbeitsgang, sodass für die Bearbeitung eine Achse ausreichend ist. Die Arbeitsgänge der einzelnen Stationen sind so abgestimmt, dass sie möglichst alle die gleiche Zeit benötigen. Nach jedem Arbeitsgang wird das Werkstück zur nächsten Station weitertransportiert.

¹⁸⁶⁹ Viele Endkunden forderten, Transferstraßen so ausulegen, dass auf ihnen Varianten eines Werkstücks gefertigt werden konnten. Diese unterschieden sich oft nur durch geringe Maßabweichungen. Beim jedem Variantenwechsel musste eine konventionelle Transferstraße neu eingerichtet werden. Mit einer programmierbaren Verstellung durch NC-Achsen konnte die Umstellung deutlich schneller erfolgen, im Extremfall bei jedem Werkstück.

zessors, womit die NC-Technik deutlich kleiner und preiswerter wurde. Eine weitere Voraussetzung war die Einführung der PLC-Technik als Steuerungstechnik im Maschinenbau (vgl. Kapitel 7.4.1) und deren „Leistungserhöhung“ durch zusätzliche Befehle in Richtung einfache Datenverarbeitung wie z. B. bei der Siemens Simatic S5, die 1979 vorgestellt wurde.¹⁸⁷⁰ Für diese Steuerung wurde 1981 die Positionierbaugruppe WF 625 (Abbildung 73) entwickelt, die ihre Positionsvorgaben entweder über ein einfaches Bedienfeld oder über das PLC-Programm erhalten konnte. Da in eine S5-Steuerung mehrere dieser Baugruppen integrierbar waren, konnten z. B. alle Achsen einer Transferstraße, die eine variable Positionierung benötigten, auf „NC-Achsen“ umgestellt werden. Dies erhöhte die Flexibilität und die Wirtschaftlichkeit der Transferstraßen enorm.¹⁸⁷¹

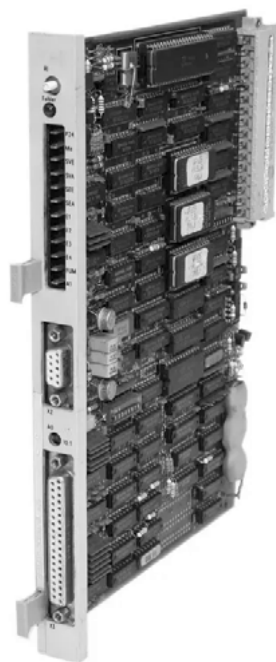


Abbildung 73: Positionierbaugruppe WF 625 von Siemens¹⁸⁷²

Ähnliche Produkte boten auch andere Anbieter an. Sehr erfolgreich auf dem Markt war Indramat mit der Einachssteuerung TRANS 01 (Abbildung 74). Diese war ein Komplettpaket für eine Achse und bestand aus Steuerung, Umrichter und AC-Servomotor zum direkten Anbau an Transferstraßen. Die TRANS 01 konnte wegen ihrer hohen Schutzart als eigenständiges System auch an Maschinen mit den in den USA üblichen PLC-Steuerungen angebaut werden. Die ersten Anlagen wurden 1981 bei Ford Dagenham in Betrieb genommen.¹⁸⁷³

¹⁸⁷⁰ Vgl. Behrens u. a. (1979).

¹⁸⁷¹ Vgl. Kneis/Nijhoff (1981).

¹⁸⁷² Bildquelle: Kneis/Nijhoff (1981), S. 266.

¹⁸⁷³ Vgl. Hartwig (1995), S. 8.

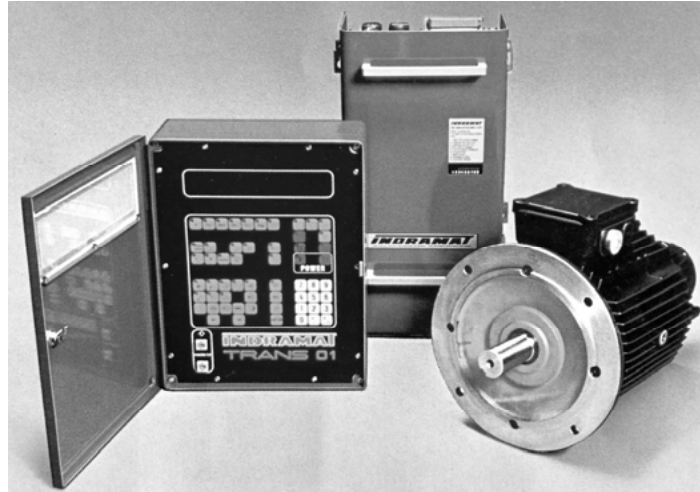


Abbildung 74: Steuerungssystem Indramat TRANS 01 für Transferstraßen¹⁸⁷⁴

Der wesentliche Unterschied zur Siemens-Baugruppe WF 625 war, dass die TRANS 01 keine intelligente Baugruppe in einer PLC-Steuerung war. Sie konnte über Ein- und Ausgänge gesteuert werden und war deshalb mit jeder PLC-Steuerung (sogar noch mit einer Relaissteuerung) kombinierbar. Ein weiterer Vorteil war ihre weitgehend wartungsfreie AC-Antriebstechnik. Diese Einachssteuerung war zuerst in den USA, dann aber auch in der Bundesrepublik Deutschland wegen ihrer einfachen Handhabbarkeit und hohen Zuverlässigkeit sehr erfolgreich.

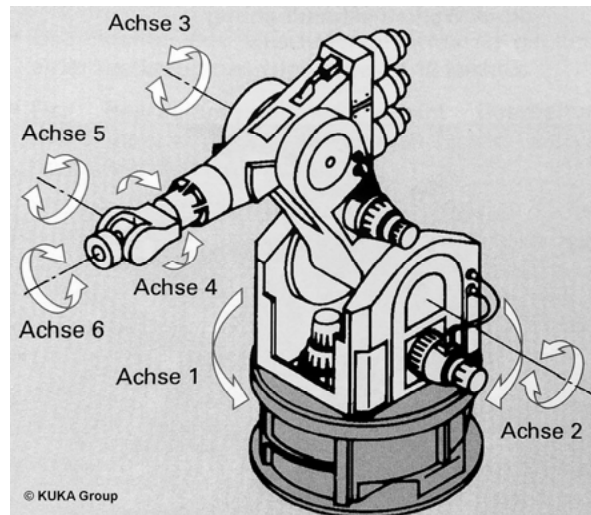
11.2 Industrieroboter

Eine weitere Anwendung der NC-Technik ab den 1960er Jahren war der Industrieroboter.¹⁸⁷⁵ Auch beim Industrieroboter kam das Grundprinzip der NC-Technik, Achsen programmgesteuert zu bewegen, zur Anwendung. Allerdings unterschieden sich Roboter und Werkzeugmaschine in einem wesentlichen Punkt: Mit einem Industrieroboter wurden üblicherweise keine Zerspanungsarbeiten mit hohen Genauigkeitsanforderungen durchgeführt, sondern Prozesse automatisiert, die keine hochqualifizierten Arbeitskräfte benötigten. Dazu zählte z. B. das Be- und Entladen von Maschinen.¹⁸⁷⁶ Eine andere Anwendung für Industrieroboter waren im Untersuchungszeitraum Bearbeitungen mit geringen Genauigkeitsanforderungen und/oder Bearbeitungskräften. Dazu gehörten z. B. das Schweißen und Lackieren im Karosseriebau. Durch die nachgebenen Preise wurden Industrieroboter nach dem Untersuchungszeitraum auch zunehmend für Montage- und Verpackungsarbeiten interessant.

¹⁸⁷⁴ Bildquelle: Privataarchiv Thomas Wissert, Indramat 2; Indramat GmbH (1983).

¹⁸⁷⁵ 1956 starteten Devol und Engelberger in den USA eine Marktuntersuchung für einen Industrieroboter. Diese führte 1959 zu einem Prototyp und 1961 zur Installation des ersten Industrieroboters Unimate bei General Motors zum Handling von Druckgussteilen. Vgl. Engelberger (1985), S. 3.

¹⁸⁷⁶ Bevorzugt wurden Roboter zum Be- und Entladen an Maschinen mit kurzen Taktzeiten eingesetzt. Das waren z. B. Drehmaschinen für Bremsscheiben, Spritzgussanlagen oder Pressen.

Abbildung 75: Achsanordnung eines Knickarmroboters¹⁸⁷⁷

Die Anforderungen an einen Industrieroboter waren hinsichtlich Genauigkeit und Steifigkeit geringer als bei Werkzeugmaschinen. Das ermöglichte bei einigen Varianten Abweichungen von der kartesischen Achskinematik der Werkzeugmaschinen, um den Roboter trotz hoher Freiheitsgrade¹⁸⁷⁸ der Achsen kompakt zu bauen. Ein typisches Beispiel war der Knickarmroboter (Abbildung 75).¹⁸⁷⁹ Bei ihm waren die Achsen ähnlich wie bei einem menschlichen Arm hintereinandergeschaltet und über Rundachsen gekoppelt. Für alle Freiheitsgrade im Raum benötigt ein Knickarmroboter sechs Achsen.

Allerdings war die Steuerung eines solchen Industrieroboters aufwendiger, da sich der Winkel zwischen den Achsen während der Bewegung ständig änderte. Musste ein Raumpunkt mit einer definierten Geschwindigkeit angefahren werden, war die Berechnung der von den Achsen abzufahrenden Geschwindigkeitsprofile sehr kompliziert. Das erklärt sich durch die kontinuierliche Änderung der geometrischen Verhältnisse im Vergleich zu kartesischen Maschinen.¹⁸⁸⁰ Dies erforderte eine deutlich höhere Rechenleistung, die erst mit dem Aufkommen der Mikroprozessortechnik zur Verfügung stand. Die Entwickler der Steuerungen für Industrieroboter mussten den kompak-

¹⁸⁷⁷ Bildquelle: KUKA Group.

¹⁸⁷⁸ Mit Freiheitsgrad ist gemeint, welche Positionen eine Achse im Raum erreichen kann. Mit drei Freiheitsgraden können beliebige Positionen im Raum erreicht werden. Ist eine Achse zusätzlich noch mit einer Rundachse ausgerüstet, kann die Achse noch um sich selbst gedreht werden. Ein Roboter mit sechs Achsen hat sechs Freiheitsgrade. Bezogen auf ein kartesisches Koordinatensystem können die X- und Y-Achse gekippt, die Z-Achse gedreht werden. Mit sechs Freiheitsgraden kann an der Zielposition auch noch die Orientierung eingestellt werden.

¹⁸⁷⁹ Der weltweit erste sechssachsige Industrieroboter Famulus mit elektromechanisch angetriebenen Achsen wurde 1973 von der Kuka AG entwickelt. Vgl. KUKA Aktiengesellschaft (2020).

¹⁸⁸⁰ Bei kartesischen Maschinen fahren alle Maschinenachsen bei einer linearen Fahrt im Raum in einem konstanten Geschwindigkeitsverhältnis zueinander, da sich die Geometrie nicht ändert. Bei einer vergleichbaren Bewegung eines Knickarmroboters ändern sich die geometrischen Verhältnisse der Achsen zueinander kontinuierlich, wodurch sich je Achse für eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit komplizierte Geschwindigkeitsverläufe der einzelnen Achsen ergeben.

ten mechanischen Aufbau mit Software und leistungsfähigerer Steuerungshardware kompensieren.¹⁸⁸¹

Heute werden auf dem Weltmarkt Roboter in unterschiedlichster Ausprägung angeboten. Mit ihnen kann eine Vielzahl von Anwendungen automatisiert werden, da sie durch die Fortschritte der Elektronik immer preiswerter werden. Stückzahlmäßig haben heute die Roboter die NC-Werkzeugmaschinen überholt.¹⁸⁸² Sie sind mittlerweile auch in den Konsumgüterbereich vorgedrungen. Beispiele hierfür sind z. B. Mähroboter im Garten, Saugroboter im Haushalt und der „Lego Mindstorms Roboter“¹⁸⁸³ für das Kinderzimmer.

11.3 Elektronische Getriebe

Fast alle Maschinen mit einem elektrischen Antrieb benötigen zusätzlich noch Getriebe, um Drehzahl und Drehmoment an die Maschinenanforderungen anzupassen. Bei modernen numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen sind die Getriebe meistens fix, d. h. die Übersetzung kann nicht geändert werden.¹⁸⁸⁴

Eine Sonderrolle bei den Werkzeugmaschinen nehmen Maschinen für die Zahnradherstellung ein. Bei diesen Maschinen müssen sich Werkstück und Werkzeug in einem exakt definierten Drehzahlverhältnis drehen. Nur so können Zahnräder mit der benötigten Präzision hergestellt werden. In der Praxis wurde das über viele Jahrzehnte mit mechanischen Getrieben realisiert. Der Nachteil war, dass bei Änderungen des Werkstücks das Getriebe an das neue Werkstück angepasst werden musste.

Anfang der 1970er Jahre gab es, inspiriert von der NC-Technik, erste Überlegungen, in diesen Maschinen das mechanische Getriebe durch Einzelantriebe zu ersetzen, die programmierbar elektronisch gekoppelt und geregelt waren. Die Fachleute sprachen von elektronischen Getrieben (ELG) oder „elektrischen Wellen“. Ein erstes elektronisches Getriebe entwickelte 1970 die Ettlinger Firma Lorenz für eine Wälzstoßmaschi-

¹⁸⁸¹ Mittlerweile sind eine Vielzahl von Roboterkonstruktionen auf dem Markt, die sich sehr häufig in der kinematischen Anordnung der Achsen unterscheiden. Robotersteuerungen müssen deshalb mit vielen kinematischen Konstellationen zurechtkommen.

¹⁸⁸² Im Jahr 2020 wurden weltweit etwa 384.000 Industrieroboter verkauft. Vgl. Statista (2021).

¹⁸⁸³ Der Lego Mindstorms Roboter entstand im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen Lego und dem MIT. Die erste Version, der Lego Mindstorms RCX, wurde 1998 vorgestellt. Vgl. Lego System A/S, 7190 Billund, Dänemark (2018).

¹⁸⁸⁴ Die ersten numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen hatten manchmal für den Eilgang der Vorschübe einen separaten Antrieb, da die ersten Antriebe keinen so großen Drehzahlbereich abdecken konnten. Bei den Hauptantrieben (z. B. für die Spindel bei Drehmaschinen) wurden im gesamten Untersuchungszeitraum noch Getriebe für die Drehzahlanpassung benötigt. Erst bei den aktuellen Werkzeugmaschinen können auch bei den Hauptantrieben die Getriebe durch Fortschritte der Antriebstechnik weitgehend entfallen.

ne zur Herstellung von Verzahnungen. Die Konstrukteure beschrieben die Vorteile wie folgt:

Die [...] numerisch gesteuerte Wälzstoßmaschine besitzt als besondere Neuheit keinen mechanischen Wälzgetriebezug mit Teilwechselrädern mehr; das Schneidrad und das Werkrad, die nach dem Prinzip der elektrischen Welle verbunden sind, werden getrennt angetrieben. Dadurch entfällt der mechanisch geschlossene Wälzgetriebezug einschließlich dem Räderkasten mit den Teil- und Vorschubwechselrädern, den Getrieberädern, Kupplungen und Lagern, so daß sich eine erhebliche Einsparung an Verschleißteilen, Energieverbrauchern und auch Fehlerquellen ergibt.¹⁸⁸⁵

Leider zeigten die Kunden trotz der Vorteile kein Interesse an der Maschine, wie Heinz Stephan in seiner Chronik über die Firma Lorenz rückblickend bedauernd feststellte.¹⁸⁸⁶ Erfolgreicher war einige Jahre später der Mitbewerber Pfauter aus Ludwigsburg, der ab 1975 seine Wälzfräsmaschine PA 300 mit einer elektronischen Wälzkopplung anbot.¹⁸⁸⁷ Das Prinzip wurde dann von Siemens in Zusammenarbeit mit Pfauter in die Zusatzbaugruppe „elektronisches Getriebe“ (ELG) der Sinumerik System 3 übernommen und ab 1985 von Siemens allgemein angeboten.¹⁸⁸⁸

Eine ähnliche Aufgabenstellung gab es bei Verpackungsmaschinen, nur noch komplexer. Mussten bei den Maschinen zur Zahnradherstellung nur zwei Achsen ein genau definiertes Drehzahlverhältnis einhalten, waren es bei Verpackungsmaschinen deutlich mehr Achsen. Auch hier wurde das Problem durch mechanische Getriebe gelöst, d. h. ausgehend von einem Leitantrieb¹⁸⁸⁹ waren alle an der Maschine benötigten Antriebe über teilweise komplizierte Getriebe miteinander gekoppelt. Auch hier musste bei jedem Produktwechsel auf der Verpackungslinie die Maschine aufwendig angepasst oder sogar umgebaut werden, d. h. eine flexible Nutzung einer Verpackungslinie mit kurzzeitig wechselnden Produkten war nicht möglich.¹⁸⁹⁰

Nachdem die elektronischen Getriebe einen gewissen Reifegrad erreicht hatten, wurde der ELG-Gedanke auch von Konstrukteuren der Verpackungsmaschinen aufgegriffen, um diese flexibler zu machen. Um Maschinenbeschädigungen zu minimieren, mussten Lösungen gefunden werden, die definierten Drehzahlverhältnisse der Achsen auch bei

¹⁸⁸⁵ Hans u. a. (1970), S. 1155.

¹⁸⁸⁶ Vgl. Stephan (1996), S. 216–218. Nach Stephan hielt die Automobilindustrie um 1970 numerische Steuerungen bei Verzahnmaschinen nicht für notwendig. Sie seien zu teuer und überflüssig. Auch die Getriebehersteller hätten die Vorteile nicht erkannt. Lorenz habe daraufhin die Weiterentwicklung zurückgestellt.

¹⁸⁸⁷ Vgl. Stephan (1996), S. 238.

¹⁸⁸⁸ Vgl. Kirchner/May (1985).

¹⁸⁸⁹ Vereinfacht kann das Antriebskonzept mit einem Transmissionsantrieb verglichen werden, bei dem die Riemen und Riemenscheiben durch Zahnräder ersetzt wurden.

¹⁸⁹⁰ Hatte eine Verpackung produktbedingt andere Maße, mussten die Verfahrrwege durch andere Übersetzungen entsprechend angepasst werden.

Störungen beizubehalten¹⁸⁹¹ oder die Maschine toleranter gegenüber Ausfällen einzelner Antriebe zu machen. Nur durch eine eng abgestimmte Entwicklung zwischen Maschinenbau und Steuerungstechnik konnten deshalb zuverlässige Verpackungsmaschinen mit elektronischen Getrieben entstehen.

Die skizzierte Entwicklung war ein langwieriger Prozess. Es dauerte ungefähr bis zum Jahr 2000, bis sich elektronische Getriebe bei Verpackungsmaschinen durchzusetzen begannen. Zum einen, weil Elektronik und Software zuverlässiger geworden waren und zum anderen, weil die Maschinenentwickler und Anwender die Vorteile der elektronischen Getriebe zu schätzen gelernt hatten (weniger mechanische Teile und schnelleres Umrüsten). Da die Vorteile überwogen, waren sie bereit, das Restrisiko größerer Störungen zu tragen.

11.4 Leiterplattenbestückung

Eine frühe Anwendung der NC-Technik war die Bestückung von elektronischen Leiterplatten mit Bauelementen durch sogenannte Bestückungsautomaten. Da die Positionierung der Bauelemente typischerweise nur zwei Achsen benötigte und die Bestückungspositionen auch nicht zwingend interpoliert angefahren werden mussten, war die NC-Technik schon früh für diese Anwendung geeignet. Ein konkretes Datum für die erste „NC-Bestückungsmaschine“ wurde leider nicht gefunden. In einer Monografie von Schikarski von 1966 fand sich nur die folgende Information: „Lochstreifengesteuerte Maschinen, mit denen 40 Bestückungsvorgänge von 24 verschiedenen Teilen möglich sind, kosten etwa 320 000 DM“.¹⁸⁹²

Auch beim Bohren oder Stanzen der Löcher auf der Leiterplatte für die Montage der Bauelemente wurden NC-gesteuerte Maschinen eingesetzt,¹⁸⁹³ insbesondere wenn sich Spezialwerkzeuge zum Stanzen oder Bohren aller Löcher in einem Arbeitsgang nicht lohnten.

Auch wenn sich der Aufbau von Leiterplatten gegenüber dem Beginn des Untersuchungszeitraums massiv geändert hat, werden auch heute noch die Leiterplatten mit Automaten bestückt, die auf der NC-Technologie basieren. Da fast die gesamte Elektronik in Industrie und Privathaushalten Leiterplatten benötigt, ist die Bestückung von Leiterplatten eine wichtige Anwendung der NC-Technik.

¹⁸⁹¹ Wenn eine Achse ausfiel, konnte es zu mechanischen Kollisionen kommen.

¹⁸⁹² Schikarski (1966), S. 75.

¹⁸⁹³ Vgl. Herold u. a. (1971), S. 385–386.

11.5 Sonstige Anwendungen

In den USA gab es schon bald nach der IMTS 1960 „Portierungen“ der NC-Technik in andere Technologien. Mehrere Beispiele hierfür nannte Childs 1965 in der zweiten Auflage seines Buchs „Principles of Numerical Control“¹⁸⁹⁴: Numerisch gesteuerte Drahtwickelmaschinen, Spulenwickelmaschinen, Schweißmaschinen, Filamentwickelmaschinen für Raketenmotorgehäuse, Handlingseinrichtungen, Transportsteuerungen für Läger und sogar schon eine numerisch gesteuerte Transferstraße – eine beeindruckende Vielfalt für die wenigen Jahre seit der IMTS 1960.¹⁸⁹⁵ Eidenmüller ermittelte, dass Siemens 1972 schon neun unterschiedliche numerisch gesteuerte Anwendungen in der Produktion einsetzte.¹⁸⁹⁶

11.6 Zusammenfassung

Die Beispiele verdeutlichen, dass das Grundprinzip der NC-Technik, Achsen programmgesteuert und geregelt zu positionieren, für viele andere Anwendungen aufgegriffen wurde. Sie verbesserte den Nutzen bzw. Komfort von vielen technischen Produkten bzw. ermöglichte viele neue Anwendungen. In fast alle Automaten, in denen Antriebe programmgesteuert und/oder geregelt bewegt werden, basiert dieser Teil des Automaten auf dem Grundprinzip der NC-Technik, Achsen geregelt zu positionieren. In diesem Sinn ist die NC-Technik durchaus eine Basisinnovation, die unsere Umwelt und unsere Lebensqualität nachhaltig veränderte.

Beispiele für die NC-Technik gab und gibt es auch bei technischen Konsumgütern. Typische Produkte dafür sind Rollladensteuerungen, Mähroboter, Saugroboter, elektrische Sitzverstellung und Fensterheber in Fahrzeugen und vieles mehr.

Insofern war und ist die NC-Technik für die technologische Weiterentwicklung eine Schlüsseltechnologie, deren langfristige Bedeutung und Wirkung ihr Erfinder Parsons nicht annähernd abschätzen konnte.

¹⁸⁹⁴ Vgl. Childs (1965), S. 182–192.

¹⁸⁹⁵ Herold, Maßberg und Stute beschreiben in Ihrem Buch „Die numerische Steuerung in der Fertigungstechnik in den Kapiteln 6.3 bis 7.4 zahlreiche NC-Anwendungen außerhalb der klassischen Fertigungstechnik. Vgl. Herold u. a. (1971), S. 354–390

¹⁸⁹⁶ Eidenmüller nannte NC-Maschinen, Verdrahtungsmaschinen, Zeichenmaschinen, Sondermaschinen, Bauelemente-Prüfautomaten, Verdrahtungs-Prüfautomaten, Funktions-Prüfautomaten und Messmaschinen. Interessant ist, dass die Anzahl der numerisch gesteuerten Prüfautomaten die der NC-Maschinen um den Faktor 1,5 übertraf. Vgl. Eidenmüller (2002), S. 148.

12 Weiterentwicklungen nach dem Untersuchungszeitraum

Etwa seit Anfang der 1980er Jahre gab es keine grundlegend neuen Entwicklungen bei den Kernfunktionen der NC-Technik. Diese war schon seit Anfang der 1970er Jahre theoretisch weitgehend durchdrungen, wie ein Blick in Fachbücher wie z. B. das von Simon¹⁸⁹⁷ zeigt. Allerdings scheiterte die praktische Umsetzung vieler Erkenntnisse an der mangelnden Leistungsfähigkeit und fehlenden Flexibilität der damals noch hardwarebasierten NC-Steuerungen. Deutliche Verbesserungen brachten ab Mitte der 1970er Jahre die mikroprozessorbasierten CNC-Steuerungen, die leistungsfähiger waren und mit denen einige der schon theoretisch untersuchten Funktionen nach und nach umgesetzt werden konnten. Einen weiteren Innovationsschub brachte ab Ende der 1970er Jahre die Integration von Bildschirmen in die Steuerungen, die durch eine umfangreichere Visualisierung der NC-Daten eine stärkere Interaktion zwischen Bediener und Steuerung und erste Ausprägungen einer werkstattorientierten Programmierung ermöglichten.

Die Weiterentwicklungen nach dem Untersuchungszeitraum wurden durch die kontinuierlich zunehmende Leistungsfähigkeit der Mikroprozessoren bestimmt, die immer komfortablere Bedienoberflächen und eine höhere CNC-Rechenleistung bei gleichzeitig sinkenden Preisen ermöglichte.¹⁸⁹⁸ Durch die so verbesserte Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen stiegen die Stückzahlen der NC-Maschinen stark an. Auf einige der wichtigsten Weiterentwicklungen der NC-Steuerungen seit dem Ende des Untersuchungszeitraums, die die Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit und Sicherheit der NC-Maschinen erhöhten, wird im Folgenden kurz eingegangen.

12.1 Wichtige Weiterentwicklungen bis etwa 2010

Eine für viele NC-Werkzeugmaschinen wichtige Entwicklung war die „Mehrkanaligkeit“ der NC-Steuerungen. So hatten z. B. hochproduktive Drehmaschinen für eine Hauptspindel zwei Bearbeitungseinheiten, die mit je einer NC-Steuerung ausgerüstet waren. Theoretisch konnte so die Bearbeitungszeit fast halbiert werden. Die beiden NC-Steuerungen mussten aber aufwendig koordiniert werden, um Kollisionen sicher zu vermeiden. Die z. B. 1985 vorgestellte Sinumerik 850 löste dieses Problem durch bis zu acht per Software in die Steuerung integrierbare „NC-Kanäle“. Jeder NC-Kanal hatte die Funktionalität einer vollwertigen NC-Steuerung. Dadurch konnte der Hard-

¹⁸⁹⁷ Simon (1971).

¹⁸⁹⁸ Durch die kontinuierlich steigende Rechenleistung wurde z. B. die mathematisch anspruchsvolle Berechnung von Bahnkorrekturen durch die realen Werkzeugmaße beschleunigt. Das senkte die Nebenzeiten bzw. erlaubte höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten, was die Produktivität und damit die Wirtschaftlichkeit erhöhte. Gleichzeitig sanken die Prozessorpreise trotz höherer Rechenleistung, was den Effekt noch verstärkte.

wareaufwand für diese Maschinen beträchtlich verringert werden. Zusätzlich vereinfachte und beschleunigte die Integration der NC-Kanäle in einer Hardware deren Koordination. Eine weitere, oft genutzte Anwendung der Mehrkanaligkeit war z. B. die Steuerung eines Portals zum Be- und Entladen der Maschinen mit einer kartesischen Kinematik.¹⁸⁹⁹

Auch die schon mehrfach angesprochene Werkstattprogrammierung spielte bei der Weiterentwicklung der NC-Steuerungen eine wichtige Rolle. Viele Endanwender wollten einfache Werkstücke ohne organisatorischen Überbau direkt an der Maschine, d. h. in der Werkstatt, programmieren. Es wurden deshalb immer bessere und einfachere Möglichkeiten entwickelt, damit der Bediener eine technische Zeichnung mit möglichst wenig Aufwand in ein Teileprogramm umsetzen konnte. Bis heute ist diese Entwicklung nicht abgeschlossen; durch leistungsfähigere und bedienerfreundlichere Software wurde die Werkstattprogrammierung für immer komplexere Werkstücke eine wirtschaftliche Alternative. Allerdings wurde auch das durchschnittliche Werkstück komplexer, sodass immer noch viele NC-Programme nicht in der Werkstatt erstellt werden. Je nach Anwendungsfall verwenden viele Betriebe auch beide Programmiermethoden.

Die bekannteste „Werkstattprogrammierung“ für Fräsmaschinen in Deutschland wurde die Klartext-Programmierung von Heidenhain. Sie wurde Ende 1979/Anfang 1980 erstmals werblich herausgestellt und gibt noch heute der Kundenzeitschrift von Heidenhain ihren Namen (vgl. Kapitel 4.11.4).

Bei den CNC-Steuerungen für Drehmaschinen setzten entsprechende Überlegungen schon etwas früher ein. Beispiele waren die Steuerungen Eltropilot M von Gildemeister, Heinemann Memory (vgl. Kapitel 4.11.8) und die Sprint-Steuerungen von Siemens (vgl. Kapitel 4.11.7).

Ein leistungsfähiges Hilfsmittel zur schnellen Erkennung von Programmierfehlern bei der Werkstattprogrammierung (aber auch für in der AV erstellte NC-Programme beim Einfahren an der Maschine) wurde die Simulation des NC-Programms auf dem Bildschirm der Steuerung. Damit war vor Bearbeitungsbeginn zumindest eine Grobkontrolle des NC-Programms möglich.¹⁹⁰⁰ Erste Steuerungen mit Simulation kamen schon Ende der 1970er Jahre auf den Markt, anfangs allerdings mit einer geringen Leistungsfähigkeit der Simulation. Die Verfahrbewegungen wurden anstatt an die Achsen an den Bildschirm ausgegeben und dort angezeigt. So konnten zumindest grobe Programmierfehler erkannt werden. Über die Jahre wurde die Programmsimulation zu einem leis-

¹⁸⁹⁹ Vgl. Hellwig u. a. (1985), S. 8.

¹⁹⁰⁰ Eine Steuerung mit dieser Funktionalität, die Sinumerik Mate TG, hatte Siemens ab Ende 1979 im Lieferprogramm. Es handelte sich aber um keine Eigenentwicklung, sondern um eine Fanuc-Steuerung, für die Siemens die europäischen Vertriebsrechte hatte. Vgl. o. V. (1979).

tungsfähigen Hilfsmittel zur Überprüfung von NC-Programmen weiterentwickelt. Sie gehört heute zum Grundumfang fast aller CNC-Steuerungen.

Eng verknüpft mit Werkstattprogrammierung und NC-Programmsimulation war die Bedienoberfläche der NC-Steuerungen. Auch sie wurde über die Jahre immer leistungsfähiger und bedienerfreundlicher gestaltet. Ziel war es, dem Bediener möglichst viele Informationen über die Maschine zur Verfügung zu stellen und diese leicht verständlich aufzubereiten. Um den Entwicklungsaufwand zu reduzieren, setzten die Steuerungshersteller ab Mitte der 1990er Jahre häufig auf Windows-basierte Software-Plattformen, für die es leistungsfähige Software-Werkzeuge gab. Dadurch konnten auch technisch versierte Werkzeugmaschinenhersteller Teile der Bedienoberfläche durch eigene Software leichter an ihre Maschinen anpassen. Im Endergebnis wurden zu geringeren Kosten Bedienoberfläche und Werkstattprogrammierung deutlich leistungsfähiger. Dies entspannte auch die langjährige Diskussion über die beste NC-Programmierung, da die Basisfunktionen der Werkstattprogrammierung Grundumfang der meisten Steuerungen wurden. Aus dem „Entweder-oder-Glaubenskrieg“ bzgl. der Werkstattprogrammierung wurde langsam ein „sowohl als auch“ – der Anwender konnte situativ entscheiden, ob die Programmierung in der Werkstatt oder in der Arbeitsvorbereitung für ihn bzw. das aktuelle Werkstück die beste war. Anzumerken ist noch, dass die Software für die NC-Funktionalität, d. h. für die Dekodierung des NC-Programmes und die Bewegungsführung der Achsen, aus Performancegründen und wegen der harten Echtzeitanforderungen auch heute meistens nicht unter Windows, sondern unter einem herstellerspezifischen Echtzeit-Betriebssystem abläuft.

Eine weitere wesentliche Leistungssteigerung der NC-Maschinen brachte die Digitalisierung der elektrischen Antriebe, die die analoge $\pm 10\text{-V}$ -Schnittstelle¹⁹⁰¹ zwischen NC-Steuerung und Antrieben und die Regelung der Antriebe ablöste. Die Digitalisierung hatte den Vorteil, dass die Schnittstelle zwischen Antrieb und Steuerung weniger störempfindlich wurde und Steuerung und Antrieb zusätzlich Daten austauschen konnten. Außerdem waren komplexere Regelalgorithmen möglich und der Hardwareaufwand für die Drehzahl- und Positionserfassung konnte reduziert werden.¹⁹⁰²

Kompliziert war die Definition der digitalen Schnittstelle. Da die Werkzeugmaschinenhersteller oft NC-Steuerungen und elektrische Antriebe von unterschiedlichen Her-

¹⁹⁰¹ Eine analoge Spannung von +10 V entsprach der maximalen Motordrehzahl des Antriebs in positiver Drehrichtung, eine von -10 V der maximalen Motordrehzahl in negativer Drehrichtung.

¹⁹⁰² Über die digitale Schnittstelle konnten zusätzlich Daten wie Fehler- und Zustandsmeldungen übertragen und Regelungsparameter von der NC-Steuerung z. B. werkstückabhängig verändert werden. Der größte wirtschaftliche Vorteil war, dass bei Lageregelkreisen ohne direktes Messsystem die Motorgeber für Position und Drehzahl in einem Geber zusammengefasst werden konnten. Das führte zu einer deutlichen Reduzierung der Kosten und des Verdrahtungsaufwands.

stellern bezogen¹⁹⁰³, sollte die digitale Antriebsschnittstelle ursprünglich genormt werden, um die Austauschbarkeit der Antriebe beizubehalten. Mit viel Aufwand wurde von mehreren deutschen Herstellern die später genormte Sercos-Schnittstelle¹⁹⁰⁴ entwickelt, die sich jedoch nicht durchsetzen konnte. Vor allem die großen Hersteller fühlten sich durch die Sercos-Schnittstelle bei der „Integration“ von NC-Steuerungen und -Antrieben zu sehr eingeschränkt. Heute sind im Markt mehrere herstellerspezifische Schnittstellen etabliert. Von den großen NC-Anbietern ist nur Bosch Rexroth Mitglied in der Sercos Nutzerorganisation.¹⁹⁰⁵

Die Digitalisierung der Antriebe ermöglichte leistungsfähigere und dynamischere Antriebe. Der Schutz vor Antriebsfehlern an NC-Maschinen wurde deshalb ein immer wichtigeres Thema,¹⁹⁰⁶ weil sich durch dynamischere Antriebe das Gefährdungspotenzial an den Maschinen erhöhte. Die Werkzeugmaschinenhersteller wurden deshalb durch Vorschriften der Berufsgenossenschaften¹⁹⁰⁷ zu immer strengeren Sicherheitsmaßnahmen gezwungen, was sich negativ auf die Produktivität der Maschinen auswirkte.¹⁹⁰⁸ Zugelassen waren nämlich lange Zeit nur Sicherheitseinrichtungen ohne Elektronik. Diese reagierten zwar sicher, aber zu langsam für die immer dynamischer werdenden Maschinen; der begrenzende Faktor waren die Schaltzeiten der zwangsgeführten¹⁹⁰⁹ Schaltelemente. Mitte der 1990er Jahre entstanden dann erste zwischen Berufsgenossenschaft und Steuerungsherstellern abgestimmte Sicherheitskonzepte, die auf elektronischer Basis arbeiteten. Die Idee war, durch eine auf mindestens zwei Prozessoren unterschiedlicher Architektur ablaufende zertifizierte Sicherheitssoftware¹⁹¹⁰

¹⁹⁰³ Die Motoren sind manchmal sehr eng eingebaut. Da Servomotoren nicht genormt sind, ist ein Wechsel zu einem anderen Anbieter ohne Konstruktionsänderung nicht immer möglich.

¹⁹⁰⁴ **Serial Realtime Communication System**. Sercos wurde nach vierjähriger Entwicklung 1989 auf der EMO in Hannover vorgestellt. Vgl. Sercos International e.V. (2021a).

¹⁹⁰⁵ Vgl. Sercos International e.V. (2021b).

¹⁹⁰⁶ Durch Fehler kann es bei Antrieben z. B. zu einer Mitkopplung kommen, d. h. der Antrieb erhöht unkontrolliert seine Drehzahl. Es gab z. B. Unfälle, bei denen durch unzulässig angestiegene Drehzahlen die Spannvorrichtung von Drehmaschinen die Werkstücke nicht mehr halten konnte und diese durch die Werkhalle geschleudert wurden. Ist der Antrieb dynamischer wird die gefährliche Drehzahl schneller erreicht. Der Werkzeugmaschinenhersteller muss dann durch immer aufwendigere Maßnahmen sicherstellen, dass sich die Gefährdung der Bediener nicht vergrößert

¹⁹⁰⁷ Bei den Berufsgenossenschaften sind die Arbeitnehmer gegen Arbeitsunfälle pflichtversichert. Die Berufsgenossenschaften erlassen deshalb Vorschriften, um die Unfallgefahr (und damit ihre potenziellen Zahlungen bei Unfällen) zu reduzieren.

¹⁹⁰⁸ Sehr stark wurde z. B. das Verfahren der Maschinenachsen im Einrichtebetrieb bei offenen Schutztüren eingeschränkt, da die Reaktionszeit der elektromechanischen Schutzeinrichtungen im Fehlerfall („durchgehender“ Antrieb) zu langsam war.

¹⁹⁰⁹ Bei einem zwangsgeführten Schaltelement (z. B. ein Not-Aus-Schalter) ist konstruktiv sichergestellt, dass die Kontakte auch dann öffnen, wenn sie z. B. durch einen vorausgegangenen Kurzschluss verklebt sein sollten.

¹⁹¹⁰ Bei NC-Steuerungen mit digitalen Antrieben lief z. B. die Software für den Antrieb und den NC-Kern auf Prozessoren mit einer komplett anderen Architektur. Durch die unterschiedliche Prozessor- und Softwarearchitektur sollte das Risiko reduziert werden, dass ein Antriebsfehler durch einen Fehler in Hard- oder Software nicht erkannt wird.

Fehler schnell und sicher zu erkennen und die Anlage im Fehlerfall sofort sicher stillzusetzen. Durch die Elektronik konnte die Reaktionszeit deutlich verkürzt werden. Bei Werkzeugmaschinen wurde z. B. das Verfahren von Achsen im Einrichtebetrieb bei offenen Schutztüren wieder erlaubt, wenn die Maschinen mit dieser Technologie ausgerüstet waren.¹⁹¹¹

Dieses Prinzip hat sich mittlerweile auf dem Markt weitgehend durchgesetzt. Fast alle Steuerungshersteller bieten heute elektronische Sicherheitssteuerungen an, die das Prinzip der „Mehrkanaligkeit“ einer Sicherheitssoftware nutzen.

Mit zunehmender Verbreitung der flexiblen Fertigungssysteme und der rechnergestützten Produktionsplanung setzte Anfang der 1980er Jahre eine intensive CIM-Diskussion ein. Ein wichtiges Thema dabei war, die Produktionsplanungssysteme (Leitrechner) über leistungsfähige Kommunikationsschnittstellen direkt mit den (NC-) Steuerungen zu vernetzen, um den „Istzustand“ der Produktion möglichst aktuell in der Fertigungsplanung berücksichtigen zu können. Dafür wurden die Steuerungen optional nach und nach mit Kommunikationsschnittstellen ausgerüstet. Diese basierten anfangs auf seriellen Schnittstellen, die nur eine sternförmige Anbindung an den übergeordneten Rechner erlaubten. Ab Mitte der 1980er Jahre wurden Bussysteme angeboten, über die mehrere Steuerungen mit vergleichsweise geringem Verdrahtungsaufwand mit dem Leitrechner gekoppelt werden konnten und die auch eine Kommunikation der Steuerungen (Maschinen) untereinander erlaubten. Siemens z. B. stellte auf Ethernet basierende Buskopplungen 1985 unter dem Namen Sinec H1 und Sinec H2 vor. Es war vorgesehen, sie in den Folgejahren weiterzuentwickeln und an die jeweils gültigen Normen anzupassen.¹⁹¹² Auch heute werden für die Vernetzung von Maschinen noch überwiegend Netzwerke auf Basis von Ethernet eingesetzt. Je nach Anforderung kommen verschiedene Ausprägungen und Netztopologien zur Anwendung.¹⁹¹³

12.2 Aktuelle Entwicklungstendenzen

Bedingt durch leistungsfähige Prozessoren mit mehreren Rechenkernen gibt es Überlegungen, einige oder alle steuerungsintern oft auf mehreren busgekoppelten Prozessoren laufenden Teilapplikationen, wie NC-Funktionalität, Bedienoberfläche, Sicherheitstechnik und Anpasssteuerung (PLC), in einen leistungsfähigen Mehrkernprozessor

¹⁹¹¹ Siemens gab die erste „baumustergeprüfte CNC mit integriertem Personen- und Maschinenschutz“ am 18.5.1996 frei. Vgl. Siemens AG (1996).

¹⁹¹² Vgl. Müller (1985); der Aufsatz gibt u.a. einen guten Überblick über den Stand der internationalen Normungsbemühungen um 1985 für die Kommunikation zwischen Fertigungsleitrechnern und Steuerungen in der Fertigung (NC-Steuerungen, PLC-Steuerungen).

¹⁹¹³ Eine Übersicht der aktuell bei CNC-Maschinen verwendeten Netzwerke findet sich bei Kief u. a. (2020), S. 683–699.

zu integrieren. Dadurch kann zumindest theoretisch die Leistungsfähigkeit des Systems durch schnellere interne Kommunikation weiter gesteigert werden.

Eine weitere interessante Entwicklung besteht darin, die Genauigkeit von Maschinen durch eine intelligente Software zu erhöhen, die die Daten einer optischen 3D-Maschinenvermessung zur Korrektur benutzt. Die Methode eignet sich besonders dazu, Großmaschinen, wie sie etwa in der Komponentenfertigung für Flugzeuge benötigt werden, genauer zu machen. Der Aufwand, die Maschinengenauigkeit durch Reduzierung der unvermeidlichen Fertigungstoleranzen zu erhöhen, wäre ungleich höher als die „elektronische“ Fehlerkompensation der fertig montierten Maschine.¹⁹¹⁴ Bei kleineren Maschinen kommt die Methode nicht zur Anwendung, da die Vermessungskosten im Verhältnis zum Maschinenpreis zu hoch sind bzw. eine ausreichende Genauigkeit durch kostengünstigere Maßnahmen erreicht werden kann.¹⁹¹⁵

Andere Entwicklungen beschäftigen sich damit, „Maschinenmodelle“ in den Steuerungen zu hinterlegen und diese je nach Ausprägung für eine Kollisionsüberwachung zwischen Werkzeug und Werkstück/Spannvorrichtung oder/und für eine lastabhängige¹⁹¹⁶ Anpassung der Achsoptimierung zu nutzen. Beide Ansätze können zu einer Produktivitätssteigerung der Maschine führen. Eine zwingende Voraussetzung für diese Methoden sind digitale Antriebe, weil nur so ein schneller Achsenstopp zur Verhinderung einer Kollision bzw. eine Anpassung der Regelungsparameter möglich ist.

Um mit Test und Einfahren komplizierter NC-Programme nicht teure Maschinen zu belegen, gibt es den Trend, NC-Maschinen möglichst genau auf einem Rechner nachzubilden. Zusammen mit einer „virtuellen NC-Steuerung“, d. h. mit einer auf einem Rechner ablauffähigen NC-Systemsoftware, kann dann eine virtuelle NC-Maschine modelliert werden. Der Anwender verfügt dann über eine „digitalen Zwilling“¹⁹¹⁷ seiner NC-Maschine, der sich bei der Abarbeitung eines NC-Programms fast exakt wie eine reale Maschine einschließlich ihrer mechanischen Eigenschaften verhält. Am digitalen Zwilling der NC-Maschine kann der Programmierer oder Einrichter dann NC-Programme ohne Kollisionsgefahr am Bildschirm austesten und optimieren.

¹⁹¹⁴ Siemens hat die Methode 2008 unter dem Begriff „Volumetric Compensation System“ (VCS) bzw. Volumetrische Kompensation erstmals für sehr große Maschinen der Flugzeugindustrie vorgestellt. (vgl. Bretschneider (2008)). In den letzten Jahren wurden die Messmethoden für die Datenerfassung verfeinert.

¹⁹¹⁵ Der Werkzeugmaschinenhersteller DMG Mori stellte 2020 seine Kalibrierungslösung „VCS Complete“ für 10000 € vor, die auch für kleinere Maschinen geeignet ist. Vgl. Asche (2020).

¹⁹¹⁶ Damit ist gemeint, dass sich die Optimierung der Achsen z. B. in Abhängigkeit vom Gewicht des Werkstücks ändert. Denkbar ist aber auch, dass die Optimierung der Achsen in Extrempositionen automatisch angepasst wird, wenn z. B. starke Hebelkräfte auf sie wirken.

¹⁹¹⁷ In letzter Zeit hat sich für die digitale Nachbildung von Maschinen durch Software auch der Begriff „Digitaler Zwilling“ eingebürgert. Siemens stellte auf der EMO 2019 mit der Sinumerik One eine Steuerung vor, die durch optimierte Schnittstellen und passende Zusatzsoftware die Entwicklung eines „digitalen Maschinenzwillings“ deutlich vereinfacht. Vgl. Dürr (2020).

Ein Pionier dieser Technologie für Werkzeugmaschinen war der Esslinger Werkzeugmaschinenhersteller Index, der seinen Kunden ein entsprechendes Softwarepaket erstmals 2005 anbot und seither kontinuierlich weiterentwickelt hat.¹⁹¹⁸ Vom Land Baden-Württemberg wurde Index für diese Innovation im Dezember 2017 in die Liste der „100 Orte für Industrie 4.0“ in Baden-Württemberg aufgenommen.¹⁹¹⁹

12.3 Die „Digitalisierung der Werkzeugmaschine“ mit „Industrie 4.0“

Zur Hannover Messe 2011 wurde von Henning Kagermann, Wolf Dieter Lukas und Wolfgang Wahlster der Begriff Industrie 4.0 eingeführt.¹⁹²⁰ Mit dem Begriff wollten sie darauf hinweisen, dass die technische Entwicklung mittlerweile so weit fortgeschritten war, dass aus ihrer Sicht eine vierte industrielle Revolution vor der Tür stand. In dieser lenkt nicht mehr eine zentrale Steuerung die Produktion, sondern das Produkt sagt, wie es gefertigt werden muss. Damit das Produkt das kann, muss es Zugang zu allen übergeordneten Prozessdaten bekommen, was mit den verfügbaren Technologien prinzipiell möglich ist. Kubot und Dittmann formulierten es 2016 etwas prägnanter, nachdem schon fünf Jahre über Industrie 4.0 diskutiert worden war. Nach ihnen ist die Vision hinter dem Begriff Industrie 4.0, dass durch einen selbstorganisierenden Produktionsfluss¹⁹²¹ jedes Produkt im Rahmen bestimmter Vorgaben individuell sein kann.¹⁹²²

Die Vision, dass durch den technischen Fortschritt der Digitalisierung mit Industrie 4.0 eine vierte industrielle Revolution vor der Tür steht, wurde so populär, dass der Zusatz 4.0 schnell zum Synonym für alles Fortschrittliche wurde, wie Heßler und Thorade feststellten.¹⁹²³ Sie kritisierten aber, dass es sich die Erfinder des Begriffs Industrie 4.0 mit der Einteilung der industriellen Entwicklung in vier Stufen zu einfach gemacht hätten. Schließlich hätten sich frühere Stufen lange überlappt und ihre Entwicklung hätte jeweils mehrere Jahrzehnte gedauert.¹⁹²⁴ Prinzipiell haben Heßler und Thorade mit ihrer Kritik recht, aber für eine Diskussion mit Nichttechnikern und Nichthistori-

¹⁹¹⁸ O. V. (2005).

¹⁹¹⁹ Allianz Industrie 4.0 Baden Württemberg (2018).

¹⁹²⁰ Vgl. Kagermann u. a. (2011), S. 2. Henning Kagermann war 2011 Präsident der Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.); Wolf-Dieter Lukas war Leiter der Abteilung „Schlüsseltechnologien – Forschung für Innovationen“ im Bundesministerium für Bildung und Forschung und Wolfgang Wahlster war Vorsitzender der Geschäftsführung des Deutschen Forschungszentrums für künstliche Intelligenz.

¹⁹²¹ Schon Heidelberger Druck hatte einen einfachen selbstorganierten Produktionsfluss. Über Nocken wurden die Paletten mit den Werkstücken durch die Anlagen geschleust und auf den Bearbeitungsmaschinen die richtigen Programme aktiviert.

¹⁹²² Vgl. Kubot/Dittmann (2016), S. 14.

¹⁹²³ Vgl. Heßler/Thorade (2019), S. 153.

¹⁹²⁴ Vgl. Heßler/Thorade (2019), S. 155–169.

kern kann es hilfreich sein, schematisch und vereinfachend vorzugehen, um die einzelnen Phasen deutlich voneinander abzugrenzen und sich nicht zu verzetteln.

Dass die einzelnen Phasen lange dauern, wird auch an dem vieldiskutierten Schlagwort „Industrie 4.0“ deutlich. Am Ende von Kapitel 6.2 wurde darauf hingewiesen, dass das Automatisierungskonzept von Heidelberger Druck Mitte der 1960er Jahre schon Eigenschaften hatte, die heute mit dem Begriff „Industrie 4.0“ verbunden werden: eine Verknüpfung von Maschinen in der Produktion mit einem im Vergleich zu heute noch primitiven digitalen Umfeld und dem Konzept, dass sich Werkstückenockengesteuert selbsttätig durch die Anlage bewegten und an den Maschinen jeweils die passenden Programme aktivierten.

Trotz dieses frühen Beispiels dauerte es noch etwa 45 Jahre, bis zur Einführung des Begriffs Industrie 4.0, obwohl die Werkzeugmaschinen, besonders die NC-Werkzeugmaschinen in flexiblen Fertigungssystemen, schon ab Ende der 1960er Jahre immer enger in die Produktionsplanungssysteme eingebunden wurden und einige der Konzepte von Heidelberger Druck übernahmen.¹⁹²⁵ Eine mögliche Erklärung, warum es so lange bis zur Einführung des Begriffs Industrie 4.0 dauerte, ist, dass die Autoren die gesamte Fertigungstechnik im Auge hatten, in der viele Branchen noch nicht so weit entwickelt waren wie die Metall- bzw. die Werkzeugmaschinenindustrie.

Trotz der langjährigen Erfahrung verlangt Industrie 4.0 von den Steuerungs- und Werkzeugmaschinenherstellern, ihre Produkte kontinuierlich an die sich ständig ändernden Randbedingungen anzupassen und den Leit- und Überwachungssystemen immer mehr Daten zur Auswertung und Analyse zur Verfügung zu stellen. Dazu gehören neben Daten für die Produktionsstatistik und zur Teilequalität auch immer mehr Daten der Maschine, aus denen z. B. der Zustand wichtiger Verschleißteile abgeleitet werden kann. So kann z. B. aus Veränderungen des Motorstromverlaufs im Vergleich zu einer Referenzfahrt der Verschleiß des Kugelgewindetriebs abgeschätzt und dieser rechtzeitig vor seinem Ausfall ausgetauscht werden.

Die Auswertung und Analyse der Daten kann entweder maschinennah oder übergeordnet z. B. in einer Cloud¹⁹²⁶ erfolgen. Erfolgt die Auswertung der wartungsrelevanten Daten durch den Maschinenhersteller in der Cloud, hat das den Vorteil, dass dieser seine Auswertungssoftware kontinuierlich durch seine Erfahrungen bei unterschiedlichen Anwendungen verbessern kann und so eine höhere Trefferquote bekommt. Auch

¹⁹²⁵ Z. B. von Hofmann gibt es einen guten Überblick über Industrie 4.0 in der Fertigungstechnik. Hofmann (2015).

¹⁹²⁶ Siemens z. B. bietet hierfür das Cloud-Produkt MindSphere an, das neben der Datenspeicherung auch Software und Hardwarekomponenten enthält, um die Daten sicher von der Maschine in die Cloud zu übertragen. Auf die Daten in der Cloud haben nur der Maschinenbetreiber und für vertraglich festgelegte Teile der Maschinenhersteller Zugriff. Applikationen und Dienstleistungen für MindSphere können auch von Kunden und Partnern entwickelt werden. Vgl. Mrosik (2019), S. 63–68.

der Maschinenbetreiber kann die Daten in der Cloud nutzen und z. B. durch Auswertung der Produktionsdaten der Maschinen eines Produktionsverbundes Optimierungspotenzial in seiner Produktion finden.¹⁹²⁷

Während die Werkzeugmaschinenhersteller von ihren Steuerungslieferanten ein breites Produktportfolio für möglichst alle Anforderungen erwarten¹⁹²⁸, kann ein Werkzeugmaschinenhersteller für seine Maschinen maßgeschneiderte Lösungen anbieten.

Ein Beispiel dafür sind die Gebr. Heller (vgl. Kapitel 5.3), die sich intensiv mit den Digitalisierungsanforderungen an ihre Maschinen durch Industrie 4.0 auseinandersetzen. Heller stellte auf der EMO 2017 unter dem Oberbegriff HELLER4Industry seine digitalen Applikationen für seine Maschinen vor:¹⁹²⁹

- HELLER4Operation, eine einfache, neue, bedienerorientierte Benutzeroberfläche, die durch ihre Touch-Bedienoberfläche besonders am Rüstplatz für die Werkzeuge und Werkstücke sehr gut bedient werden kann.
- HELLER4Service für digitale Dienstleistungen. Damit verspricht Heller Transparenz in Fertigungs- und Instandhaltungsprozessen durch Auswertungen und Statistiken. Aufsetzend auf die Daten der Maschinen können der Zustand bestimmter maschinenkritischer Baugruppen wie Achsen und Spindeln visualisiert und präventive Maßnahmen zur Vermeidung ungeplanter Maschinenstillstände eingeleitet werden.
- HELLER4Performance ermöglicht schließlich über eine Internetanbindung (in einer Cloud) der Maschine eine Prozess- und Performanceanalyse der Echtzeitdaten durch Heller. Dem Maschinenhersteller können dann Hinweise zur Verbesserung der Produktivität seiner Prozesse gegeben werden.

Das Beispiel Heller zeigt, dass durch die Vernetzung der Maschinen im Rahmen von Industrie 4.0 und die gezielte, übergeordnete Auswertung der Produktionsdaten bei konsequenter Anwendung Produktivitätspotenziale gehoben werden können. Durch intelligente Datenauswertung können Schwachstellen im Maschinen- und Logistikkonzept gefunden und gezielt beseitigt werden. Zusätzlich können verschleißbedingte Maschinenfehler rechtzeitig erkannt und vor Ausfall repariert werden.

Gebremst wird die breite Einführung von Industrie 4.0 in der Fertigung durch die fehlende Normung der Schnittstellen und Daten, sodass eine herstellerübergreifende Da-

¹⁹²⁷ Vgl. Ruppert (2017) und vgl. Polz/Runde (2017). Um den Nutzen der Fertigungsdigitalisierung besser vermitteln zu können, eröffnete Siemens in seiner „optimal“ digitalisierten Fertigung, im Motorenwerk Bad Neustadt, im Mai 2017 eine „Digitalisierungsarena“. Vgl. Dürr (2017).

¹⁹²⁸ Das können sowohl fertige Lösungen für bestimmte Anwendungsfälle sein (z. B. Software zur Verschleißerkennung der Kugelgewindetriebe) als auch Softwarebausteine, aus denen der Maschinenhersteller eine Speziallösung für seine Maschine entwickeln kann.

¹⁹²⁹ Vgl. o. V. (2017b).

tenauswertung schwierig ist. Der VDW stieß deshalb auf der EMO 2017 eine Standardisierung an,¹⁹³⁰ an der 17 Projektpartner unter dem Arbeitstitel „umati“¹⁹³¹ an der genauen Spezifikation zu arbeiten begannen. Auf der EMO 2019 erfolgte eine erste Demonstration des aktuellen Arbeitsstandes, an der sich 70 Unternehmen mit 110 Maschinen beteiligten.¹⁹³² Seit Ende 2020 steht die erste offizielle Version von umati zur Verfügung und wird über den VDMA auch von anderen Maschinenbaubranchen unterstützt.¹⁹³³ Umati kann zukünftig also auch in Fertigungsanlagen eingesetzt werden, die nicht nur aus Werkzeugmaschinen bestehen. Mit umati ist die Umsetzung von Industrie 4.0 in der Praxis einen großen Schritt weitergekommen. Es wird aber sicher noch einige Jahre bis zur Umsetzung in der Breite dauern. Dann sind mehr als 60 Jahre seit den Anfängen bei z. B. Heidelberger Druck vergangen, was die These von Heßler und Thorade bestätigt, dass der industrielle Wandel ein langfristiger Prozess mit langen Überlappungszeiten ist.

¹⁹³⁰ Vgl. Kieß (2017), S. 19.

¹⁹³¹ universal machine tool interface.

¹⁹³² Vgl. o. V. (2019).

¹⁹³³ Vgl. o. V. (2020a).

13 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde die Einführung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1950 und 1980 und deren Auswirkung auf Produktionsstruktur und Arbeitsabläufe in der Metallindustrie untersucht. Da die baden-württembergischen Werkzeugmaschinenhersteller schon 1960 mit 38 % den größten Anteil am Umsatz der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie hatten, lag der lokale Untersuchungsschwerpunkt auf Baden-Württemberg.

Erfunden wurde die NC-Technologie Ende der 1940er Jahre in den USA, um die Fertigung komplexer Teile für die Flugzeugindustrie zu vereinfachen bzw. überhaupt erst zu ermöglichen. Diese hatte im „Kalten Krieg“ eine hohe strategische Bedeutung. 1948 hatte John T. Parsons in den USA die Idee einer programmierbaren, numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine. Parsons konnte die US Air Force von seiner Idee überzeugen. Er erhielt von ihr finanzielle Unterstützung und gewann das MIT als Entwicklungspartner. Nach dem Auslaufen des Vertrags mit Parsons verlängerte das MIT 1951 den Vertrag direkt mit der US-Air Force. Es entwickelte nach der 1952 erfolgten Vorstellung des Prototyps die Technologie mit Unterstützung der US Air Force und Partnern aus der Industrie bis Ende der 1950er Jahre zur industriellen Einsatzreife weiter. 1960 wurden auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago schon 99 NC-gesteuerte Werkzeugmaschinen gezeigt und Ende der 1960er Jahre waren in den USA ungefähr 20.000 NC-Maschinen in Betrieb.

Der Weg dorthin war beschwerlich, denn das MIT hatte sich auf die Entwicklung einer Bahnsteuerung konzentriert. Technisch war das die aufwendigste Variante einer numerischen Steuerung, sie war aber für die Fertigung der von der US Air Force ins Auge gefassten Teile erforderlich. Der hohe technische Aufwand für eine Bahnsteuerung war andererseits aber ein wichtiger Grund, warum die meisten amerikanischen Werkzeugmaschinenhersteller die NC-Technik anfangs ablehnten. Da die US Air-Force für eine leistungsfähige Luft- und die aufkommende Raumfahrtindustrie aber unbedingt bahn-gesteuerte NC-Maschinen haben wollte, wurde das Bulk-Buy Programm¹⁹³⁴ 1955 um die Beschaffung von NC-Maschinen erweitert. Die Werkzeugmaschinenhersteller waren dadurch mehr oder weniger gezwungen, bahn-gesteuerte NC-Maschinen zu entwickeln, wenn sie die US Air Force weiter beliefern wollten.

Wie gewünscht beschäftigten sich nun immer mehr US-Werkzeugmaschinenhersteller mit der NC-Technik. Um mehr NC-Maschinen zu verkaufen, suchten sie nach Wegen, die Kosten zu reduzieren, um auch Anwendungen außerhalb der Luftfahrtindustrie zu erschließen. Das gelang vor allem durch die Entwicklung der kostengünstigeren und

¹⁹³⁴ Mit dem Bulk-Buy Programm wurde eine Notreserve von Werkzeugmaschinen für den Verteidigungsfall beschafft.

einfacher zu programmierenden Positioniersteuerungen, die für Bohren, Fräsen in der Ebene und Stanzen ausreichten. Sie waren 1960 die dominierenden NC-Steuerungen auf der Chicagoer Werkzeugmaschinenausstellung. Im Fokus der NC-Maschinen mit Positioniersteuerungen stand die Fertigung von Klein- und Mittelserien mit hohen Qualitätsanforderungen. Höhere Stückzahlen wurden nach wie vor mit Sondermaschinen gefertigt, kompliziertere Teile auf verketteten Sondermaschinen, auch Transferstraßen genannt. Zu den NC-Maschinen mit einer Positioniersteuerung gehörte auch die in der Literatur oft als erstes Bearbeitungszentrum bezeichnete Milwaukee-Matic von Kearney & Trecker.

Bei den 1960 in Chicago ausgestellten Maschinen arbeitete keine mehr nach dem Record-Playback Prinzip, bei dem der Facharbeiter die Maschine durch das Fertigen des ersten Teils programmierte. Diese Technologie war noch vor der NC-Entwicklung am MIT von General Electric verfolgt worden. Der Technikhistoriker Noble vertrat dazu in den 1970er Jahren die Auffassung, dass der Technologiepfad der Record-Playback-Steuerungen in den USA (und später auch in den anderen Ländern) zugunsten der NC-Steuerungen aufgegeben wurde, um die Zahl der gut bezahlten und selbstbewussten Facharbeiter an den Werkzeugmaschinen zu reduzieren. Ihre Arbeit sollte auf ungelernete Arbeiter und gegenüber dem Management loyalere Angestellte (Programmierer) verteilt werden. Es war aber eher so, dass die preiswerteren, programmierbaren Positioniersteuerungen mit wenig Entwicklungsaufwand aus den Bahnsteuerungen abgeleitet werden konnten und die Steuerungs- und Werkzeugmaschinenhersteller einen zusätzlichen Entwicklungspfad mit Record-Playback-Steuerungen vermeiden wollten.

Durch den verlorenen Zweiten Weltkrieg lagen in Westdeutschland ganz andere Randbedingungen für die Entwicklung von NC-Maschinen vor als in den USA. Die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie musste die starken alliierten Beschränkungen beachten, die erst 1955 mit den Pariser Verträgen vollständig aufgehoben wurden. Außerdem waren die Werkzeugmaschinenhersteller durch den Wiederaufbau der westdeutschen Industrie gut ausgelastet; die zahlreichen defekten und demontierten Werkzeugmaschinen mussten ersetzt werden und neue Fertigungslinien z. B. für die aufstrebende Automobilindustrie banden einen hohen Anteil der Fertigungskapazität. Die meisten Werkzeugmaschinenhersteller hatten deshalb andere Prioritäten, als sich mit den neuen, noch nicht industrietauglichen NC-Steuerungen zu beschäftigen, von denen sie in Fachzeitschriften gelesen oder in Fachvorträgen gehört hatten. Trotzdem gab es bei den Werkzeugmaschinenherstellern, den großen Elektrokonzernen und den Hochschulen einige weitsichtige Akteure mit US-Kontakten, die die Bedeutung der NC-Technik für die Zukunft erkannten. Diesen Akteuren und ersten Aktivitäten des sich noch im Wiederaufbau befindenden produktionstechnischen Innovationssystems war es zu verdanken, dass auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover schon

elf westdeutsche numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen gezeigt wurden, wovon schon sieben eine westdeutsche NC-Steuerung hatten. Damit hatte die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie technologisch Anschluss an die USA gefunden.

Die Verbreitung der NC-Maschinen wurde hauptsächlich von der Weiterentwicklung der NC-Steuerungen bestimmt. Diese wurde entscheidend von den Fortschritten in der Halbleiter- und Rechner-technik geprägt und führte mit vielen Zwischenschritten Mitte der 1970er Jahre zu den mikroprozessorgesteuerten CNC-Steuerungen. Erst ab dieser Steuerungsgeneration konnten die meisten Werkzeugmaschinenhersteller ihren Kunden NC-Maschinen anbieten, bei denen der Nachweis der Wirtschaftlichkeit relativ einfach zu führen war. In der zweiten Hälfte der 1970er Jahre stiegen deshalb die Stückzahlen der verkauften CNC-Maschinen stark an und ab 1982 erzielten die westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller sogar dauerhaft höhere Umsätze als die über viele Jahre führenden US-Werkzeugmaschinenhersteller.

Einen erheblichen Anteil an dieser Entwicklung hatte das westdeutsche produktionstechnische Innovationssystem, das nach dem Zweiten Weltkrieg neu aufgebaut wurde. In ihm arbeiteten Hochschulen, (Werkzeug-)Maschinenhersteller, Vereine, Verbände und staatliche Institutionen zur Forschungsförderung netzwerkartig zusammen, um die industrielle Fertigung weiterzuentwickeln. Die ersten Impulse für die westdeutsche NC-Entwicklung gingen von den Technischen Hochschulen in Aachen (Prof. Opitz), Darmstadt (Prof. Stromberger) und Stuttgart (Prof. Dolezalek) aus, die die US-Entwicklungen verfolgt hatten. Mitte der 1950er Jahre begannen sie mit ersten eigenen Forschungen. Wegen des geringeren technischen Aufwands und ihrer beschränkten finanziellen Mittel beschäftigten sie sich anfangs nicht mit Bahnsteuerungen, sondern nur mit Positioniersteuerungen. Kennzeichen dieser Phase war, dass die westdeutschen Wissenschaftler die amerikanischen Entwicklungen nachempfinden und verstehen wollten, um Ansätze für eigene Forschungen und Weiterentwicklungen zu finden. Als Multiplikator des erarbeiteten Wissens tat sich besonders Strombergers Mitarbeiter Simon hervor. Durch zahlreiche Vorträge vor Führungskräften der Industrie und im VDI, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Erarbeiten erster VDI-Richtlinien zur NC-Technik in einem ADB-Unterausschuss und dem ersten deutschsprachigen NC-Lehrbuch¹⁹³⁵ trug er besonders viel zum Bekanntwerden und Verständnis der NC-Technik in Fachkreisen bei.

Weitere produktionstechnische Akteure der frühen westdeutschen NC-Entwicklung, aber mit ein bis zwei Jahren Verzögerung zu den Hochschulen, waren die Forschungsabteilungen der großen Elektrokonzerne. Sie befassten sich etwa ab 1957 mit der NC-Entwicklung unter zwei Aspekten. Zum einen untersuchten sie, ob NC-Maschinen in

¹⁹³⁵ Simon (1963).

der eigenen Fertigung Vorteile hätten¹⁹³⁶ und zum anderen, ob Produktion und Vertrieb von NC-Steuerungen und der dazugehörenden Antriebstechnik für sie ein neuer Markt werden könnte. Als dann Ende der 1950er Jahre erste Kundenanfragen kamen, konnten sie auf ihre Untersuchungen zurückgreifen und zur Werkzeugmaschinenausstellung 1960 in Hannover die schon genannten sieben Maschinen mit NC-Steuerungen ausrüsten. Darunter ragte eine Sondermaschine von Waldrich Siegen heraus, die die AEG sogar schon mit einer selbstentwickelten Bahnsteuerung in Transistortechnik ausrüsten konnte. Die anderen westdeutschen Hersteller (BBC-Mannheim, SEL und die Siemens-Schuckertwerke) waren damals technologisch noch nicht so weit. Ihre NC-Positioniersteuerungen basierten auf der Relais-technik.

Die dritte und entscheidende Akteursgruppe waren die westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller, die 1960 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover elf NC-Maschinen ausstellten. Die Gründe, die die ersten Werkzeugmaschinenherstellern den Bau von NC-Maschinen veranlassten, waren vielfältig und nicht eindeutig greifbar, wie Gebhardt und Hild 1969 in einem Gutachten für den VDW feststellten:

Es läßt sich nicht eindeutig ermitteln, von welcher Seite in Deutschland die Entwicklungstätigkeit angeregt wurde. Offenbar führte die Kenntnis der Neuerung dazu, daß sich sowohl die potenziellen Benutzer als auch die Hersteller von Maschinen sowie die Hersteller von Steuerungsanlagen ziemlich gleichzeitig mit der Materie befaßten. Teilweise entstand eine Zusammenarbeit zwischen Verwendern und Maschinenherstellern auf Initiative seitens der Verwender, teilweise aber auch auf Anregung der Hersteller. Das gleiche gilt für die Zusammenarbeit zwischen Maschinenherstellern und Steuerungsherstellern.¹⁹³⁷

Um der Motivation der westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller zur Entwicklung von NC-Maschinen etwas näher zu kommen, wurde in der vorliegenden Arbeit die NC-Einführung bei fünf baden-württembergischen Werkzeugmaschinenherstellern näher betrachtet. Sie stellten ihre ersten NC-Maschinen zwischen 1958 und 1967 vor. Für die Untersuchung wurden Archivmaterial, Veröffentlichungen und Interviews mit Zeitzeugen herangezogen. Sie kam zu dem Ergebnis, dass jeder der fünf betrachteten Hersteller andere Gründe für die Entwicklung seiner ersten NC-Maschine hatte, was die obige Aussage bestätigt:

- Die technische Geschäftsleitung von Boehringer hatte enge persönliche Bindungen zum WZL in Aachen und war von der NC-Technik überzeugt. Boehringer hoffte,

¹⁹³⁶ Die großen Elektrokonzerne hatten metallbearbeitende Betriebe, die prinzipiell für den Einsatz von NC-Maschinen geeignet waren. Dies waren z. B. die Werke für die Herstellung von Großmotoren und Turbinen. Diese wurden wegen ihrer projektspezifischen Ausprägung nur in kleinen Stückzahlen gefertigt.

¹⁹³⁷ Gebhardt/Hild (1969), S. 6.

durch den Bau von NC-Maschinen, langfristig die Zukunft des Unternehmens abzusichern. Die erste NC-Drehmaschine wurde 1964 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover vorgestellt.

- Burkhardt+Weber nahm 1958 den Entwicklungsauftrag des US-Rüstungskonzerns Hughes an, der wegen des damals für die USA günstigen Wechselkurses USD/DM einen europäischen Lieferanten suchte. Burkhardt & Weber handelte also nicht aus eigenem Antrieb, nutzte aber die Gelegenheit, als sie sich bot. Die Maschine MT4 wurde auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1959 in Paris erstmals gezeigt.
- Burr baute im Auftrag von Heidelberger Druckmaschinen Komponenten für deren NC-Sondermaschinen. Im Laufe der Zusammenarbeit übernahm Burr immer mehr Fertigungsinhalte und baute Spezialwissen für NC-Bearbeitungszentren auf. Das erste eigene Bearbeitungszentrum, das sich an eine NC-Sondermaschine für die Heidelberger Druckmaschinen anlehnte, wurde 1967 vorgestellt.
- Heller hatte mit seinen elektrohydraulischen Steuerungen einen hohen Entwicklungsstand bei der Automatisierung von Transferstraßen und Sondermaschinen erreicht. Für Heller war es naheliegend, diese Technologie auch für eine einfache NC-Maschine zu nutzen. Die NC-Revolverbohrmaschine SBR 32 wurde ebenfalls 1959 in Paris ausgestellt.
- Berthold Leibinger war Ende der 1950er Jahre bei seinem USA-Aufenthalt an der Entwicklung einer NC-Maschine von Cincinnati beteiligt. Er wurde 1960 nach seiner Rückkehr aus den USA Konstruktionsleiter bei dem kleinen Stanzmaschinenhersteller Trumpf. Als nach seiner Einschätzung Trumpf eine NC-Maschine bauen konnte, begann er mit ihrer Entwicklung. Die TC 20 wurde 1967 auf der Werkzeugmaschinenausstellung in Hannover mit großem Erfolg vorgestellt.

Für alle genannten Firmen zahlte sich die Aufnahme von NC-Maschinen in ihr Fertigungsprogramm im Untersuchungszeitraum aus. Sie konnten durch die NC-Maschinen ihre Umsätze deutlich erhöhen.¹⁹³⁸ Um dies zu erreichen, warben die Hersteller vor allem mit der besseren Wirtschaftlichkeit ihrer NC-Maschinen bei der Herstellung komplizierter Teile. Boehringer und Heller erarbeiten hierzu Formblätter, mit denen die Wirtschaftlichkeit ihrer NC-Maschinen für ein(e) Werkstück(familie) einfach berechnet werden konnte. Zusätzlich boten sie auch Schulungen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung von NC-Maschinen an, bei denen sich in den 1970er Jahren besonders Boehringer engagierte.

Ein weiteres Ergebnis war, dass viele Werkzeugmaschinenhersteller mit der NC-Einführung lange zögerten. Es dauerte etwa bis zum Ende des Untersuchungszeit-

¹⁹³⁸ Die Ludwigsburger Maschinenfabrik wurde 1976 insolvent, was aber nicht mit den NC-Bearbeitungszentren zusammenhing. Bis zur Insolvenz hatte der Umsatzanteil der NC-Maschinen bei Burr etwa 15 % erreicht.

raums, bis fast alle westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller NC-Maschinen anboten. Besonders schwer fiel die NC-Einführung den Herstellern kleiner Dreh- und Fräsmaschinen, da NC-Steuerung und Antriebe oft mehr kosteten als die gesamte Maschinenmechanik. Diese Maschinen konnten erst in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre dank der kostengünstigeren CNC-Technologie bzw. der Verfügbarkeit des Mikroprozessors nach und nach wirtschaftlich mit einfachen NC-Steuerungen ausgerüstet werden. Hier leisteten u. a. Heidenhain und Grundig Pionierarbeit, die auf Kundenwunsch für kleine Fräsmaschinen kostenoptimierte CNC-Steuerungen mit einer angepassten Programmierung entwickeln konnten, da die „großen“ Steuerungshersteller wie Siemens dieses Marktsegment vernachlässigten.

Gegen Ende des Untersuchungszeitraums stiegen die Stückzahlen der CNC-Maschinen stark an. Besonders hohe Umsatzzuwächse hatten Werkzeugmaschinenhersteller, die NC-Maschinen mit einem überdurchschnittlichen Kundennutzen anboten. Dies traf z. B. auf die NC-Stanz- und Laserschneidmaschinen¹⁹³⁹ von Trumpf zu, mit denen Blechteile hergestellt werden konnten, die in Verbindung mit Biegen teure Frästeile ersetzen konnten.

NC-Maschinen benötigen viele Zulieferteile. Dazu gehören z. B. Steuerungen und Antriebe, aber auch mechanische Komponenten wie Kugelgewindetriebe, Führungen, Getriebe, Blechteile und Späneförderer. „Neue“ Werkzeugmaschinenhersteller mit einer geringeren Fertigungstiefe, die Zulieferteile intelligent und flexibel kombinierten und weniger selbst fertigten, waren im Markt oft erfolgreicher, weil sie schneller auf Kundenwünsche eingehen konnten als etablierte Firmen mit hoher Fertigungstiefe. Besonders erfolgreich mit dieser Strategie waren in Baden-Württemberg einige ursprünglich kleine Werkzeugmaschinenhersteller wie z. B. Trumpf, Emag, Chiron und Hermle, was aber erst nach dem Untersuchungszeitraum deutlich sichtbar wurde. Trumpf entwickelte sich sogar zum größten deutschen Werkzeugmaschinenhersteller, weil seine Maschinen einen hohen Kundennutzen hatten und dem Werkstoff Blech durch die NC-Technik neue Anwendungsgebiete erschlossen.

Auch die etablierten Werkzeugmaschinenhersteller verringerten deshalb nach und nach ihre Fertigungstiefe, vor allem, wenn die Zulieferer Komponenten mit einem deutlich besseren Preis-Leistungs-Verhältnis anboten, als mit Eigenfertigung möglich war. Über die Jahre entwickelte sich dadurch eine leistungsfähige Zulieferindustrie, die eine Verlagerung von Arbeitsplätzen zu den Zulieferern zur Folge hatte. Werkzeugmaschinenhersteller, die diesen Trend nicht rechtzeitig erkannten, kamen hingegen vereinzelt in finanzielle Schwierigkeiten, was im Extremfall zum Verkauf des Unternehmens führte. Fast noch häufiger kam es aber zu einem Besitzerwechsel, wenn von der Familie nie-

¹⁹³⁹ Kombinierte NC-Stanz-/Laserschneidmaschinen bot Trumpf erst ab Ende des Untersuchungszeitraums an.

mand die Firma weiterführen wollte oder konnte. Dies war z. B. bei den untersuchten Firmen Burkhardt & Weber, den Gebr. Boehringer und Trumpf der Fall. Nur bei Trumpf war der Eigentümerwechsel langfristig erfolgreich; bei Burkhardt & Weber und den Gebr. Boehringer hingegen war er mit einem Bedeutungsverlust verbunden, weil sich die Besitzverhältnisse und die Firmenstrategie nach dem ersten Verkauf mehrfach änderten und das Kundenvertrauen darunter litt. Hinzu kam, dass die angestellten Geschäftsführer meistens keine so enge Bindung zum Unternehmen hatten wie die ursprünglich geschäftsführenden Gesellschafter.

Eine weitere Fragestellung der Arbeit war die Einführung der NC-Maschinen bei den Anwendern. Dazu wurden zwei Großbetriebe (Daimler und GHH) und die im Verhältnis zu diesen Unternehmen kleine Heidelberger Druckmaschinen AG (Heidelberger) betrachtet.

Wie bei den Werkzeugmaschinenherstellern waren die Gründe und die Vorgehensweise bei der NC-Einführung auch bei diesen drei Firmen sehr unterschiedlich. Bei Heidelberg sah der Vorstand schon Anfang der 1960er Jahre bei den Klein- und Mittelserien in der NC-Technik eine Möglichkeit, einige Fertigungsprobleme (hohe Nachfrage und Facharbeitermangel) zu lösen. Der spätere technische Vorstand Kuhnert richtete deshalb die Fertigung schon ab Mitte 1961 nach und nach konsequent an der NC-Technik aus. Er konzipierte hochautomatisierte Anlagen mit NC-Sondermaschinen, die Heidelberg ab Mitte der 1960er Jahre zum führenden westdeutschen NC-Anwender für viele Jahre machten, obwohl Heidelberg im Vergleich zu GHH, Daimler und anderen metallverarbeitenden Betrieben ein kleines Unternehmen war.

Ganz anders agierte der GHH-Konzern, dessen Tochter M.A.N. auch Druckmaschinen baute. Bei GHH beschäftigte sich die halbjährlich tagende Runde der Werksleiter, die Betriebskommission, ab Anfang der 1960er Jahre immer wieder intensiv mit der NC-Technik, zog aus ihren Erkenntnissen jedoch andere Schlüsse als Heidelberg. Während Heidelberg seine Fertigung konsequent zu einer NC-Fertigung umstrukturierte und die Vorteile der dadurch gewonnenen Flexibilität höher als die Kosten bewertete, beschaffte der GHH-Konzern nur dann NC-Maschinen, wenn sie nachweislich wirtschaftlich waren. Dies führte dann Anfang der 1980er Jahre in der Leitungsebene zu der Erkenntnis, dass die GHH-Werke bei der NC-Nutzung in Relation zu vergleichbaren Firmen in Rückstand geraten waren.

Auch bei Daimler erfolgte die NC-Einführung im Vergleich zu Heidelberg langsam. Dies lag daran, dass NC-Maschinen im Untersuchungszeitraum für die PKW-Serienfertigung noch nicht geeignet waren, und die Leitung bei ihren Entscheidungen vermutlich zu wenig die kleineren Stückzahlen bei den LKWs und Sonderfahrzeugen berücksichtigte. Es waren deshalb Anfang der 1960er Jahre nur vereinzelt NC-Maschinen für Versuchszwecke beschafft worden. Diese wurden aber nicht richtig ge-

nutzt, weil sich niemand verantwortlich fühlte. 1963 wurde deshalb die Verfahrensentwicklung beauftragt, geeignete Anwendungen für die vorhandenen Maschinen zu finden und ab 1965 die Werke beim Einsatz von NC-Maschinen zu beraten.

Erst 1968 ging es einen großen Schritt vorwärts. Vorstand und Werkleitung beschlossen, für das Werk Untertürkheim mehrere NC-Maschinen zu beschaffen. Betreiber wurde die neu gegründeten „Betriebsstelle Bearbeitungszentrum“ (BEZ), die der Untertürkheimer Werkleitung unterstellt war. Gefertigt wurden auf den Maschinen des BEZ aber keine Serienteile, sondern hauptsächlich Versuchsteile. 1976 wurde das BEZ unter dem Namen Verfahrensentwicklung Numerik (VEN) der Verfahrensentwicklung angegliedert, weil unter anderem die NC-Beratung für die anderen Werke intensiver geworden war. Aufgelöst wurde die VEN erst 1990, als die NC-Technik Einzug in große Teile der Serienfertigung gehalten hatte und eine separate Versuchsfertigung keinen Sinn mehr hatte.

Zusammengefasst gingen die drei Unternehmen bei der NC-Einführung sehr unterschiedlich vor, weil ihre Anforderungen und Erwartungen an die NC-Maschinen stark divergierten. Am zügigsten erfolgte die NC-Einführung bei den Heidelberger Druckmaschinen, weil die zu fertigenden Teile und die benötigten Stückzahlen sehr gut zu der in den 1960er Jahren verfügbaren NC-Technologie passten und der Produktionsleiter von den Vorteilen der NC-Technik überzeugt war. Im Gegensatz zu den anderen Unternehmen wurde bei Heidelberger nicht so konsequent auf die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen geschaut, da in die Entscheidungsfindung auch die höhere Flexibilität einer Fertigung mit NC-Maschinen einfluss. Außerdem erhoffte sich Heidelberger eine Reduzierung des zusätzlichen Facharbeiterbedarfs bei Produktionsausweitungen. Obwohl die GHH-Tochter M.A.N. und Heidelberger Druckmaschinen fertigten und sich die Betriebskommission schon seit Anfang der 1960er Jahre intensiv mit der NC-Technik beschäftigte, beschaffte GHH viel weniger NC-Maschinen als Heidelberger. Das lag vor allem daran, dass bei GHH die „berechnete“ Wirtschaftlichkeit bei den Investitionsentscheidungen ein hohes Gewicht hatte, die Flexibilität bei der Entscheidungsfindung aber nur einen geringen Einfluss hatte. Insgesamt führte das bezogen auf die Unternehmensgröße bei GHH zu einem unterdurchschnittlichen NC-Bestand am Ende des Untersuchungszeitraums.

Auch Daimler tat sich anfangs schwer mit der NC-Einführung. Die Fertigungsleiter hatten Probleme, die ersten NC-Maschinen produktiv und wirtschaftlich einzusetzen. Einige Entscheidungsträger waren zu sehr im Großseriendenken verhaftet und bezogen die im Konzern an vielen Stellen vorhandenen Klein- und Mittelserien zu wenig in ihre Überlegungen ein. Damit die NC-Anwendungen zunehmen konnten, musste bei Daimler erst die interne Promotion-Abteilung BEZ (später VEN) gegründet werden. Sie sollte durch „best practice“ die Werke beim Einsatz von NC-Maschinen unterstüt-

zen. Das hatte aber nicht die Wirkung wie bei Heidelberger Druck, da die Unterstützung durch den Vorstand nicht vergleichbar war.

In der übrigen Metallindustrie verlief die Einführung der NC-Maschinen ähnlich unterschiedlich wie bei den genannten Firmen. Größere und finanziell gut ausgestattete Betriebe beschafften in der Anfangszeit ihre erste NC-Maschine oft aus Neugier. Sie wollten herausfinden, ob sie mit NC-Maschinen wirtschaftlicher fertigen könnten und welche organisatorischen Konsequenzen NC-Maschinen für ihren Betrieb hätten. Nur in Ausnahmefällen erfolgte der Kauf ihrer ersten NC-Maschinen zur Produktion von Teilen, die konventionell nicht hergestellt werden konnten.

Erst als Mitte der 1970er Jahre die Wirtschaftlichkeit durch die CNC-Maschinen signifikant zunahm, stiegen die Maschinenbeschaffungen stark an. Trotzdem betrug am Ende des Untersuchungszeitraums der Anteil der NC-Maschinen am westdeutschen Werkzeugmaschinenbestand nach einer Erhebung des VDW erst 2 %. Die NC-Durchdringung der Betriebe war also noch sehr gering und die Fertigungsstrukturen in der Metallindustrie hatten sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht wesentlich verändert.

Erst nach 1980 kam es zu starken Veränderungen der Fertigungsstruktur durch die NC-Maschinen, wie beispielhaft an der Automobilindustrie deutlich wird. War im Untersuchungszeitraum die Wirtschaftlichkeit der NC-Technik noch auf Klein- und Mittelserien beschränkt, wurde sie nach und nach auch für Großserien wirtschaftlich. Um mehr der von den Kunden geforderten Varianten fertigen zu können, rüsteten die Automobilhersteller ihre Transferstraßen für Motoren und Getriebe nach und nach mit NC-Bearbeitungseinheiten aus. Diese „NC-Transferstraßen“ konnten mehr Varianten zu vergleichbaren Kosten fertigen und konnten schneller umgerüstet werden.

Ähnliches galt für die zahlreichen Zulieferer der Automobilindustrie. Auch von ihnen wurde erwartet, mehr Produktvarianten liefern zu können, um die vielfältiger gewordenen Kundenwünsche abdecken zu können. Auch sie waren daher gezwungen, ihre Fertigung weiter zu flexibilisieren, was häufig die Anschaffung von NC-Maschinen erforderte.

Auch das produktionstechnische Innovationssystem, das nach dem Zweiten Weltkrieg in den westdeutschen Besatzungszonen neu aufgebaut werden musste, hatte einen erheblichen Einfluss auf die NC-Einführung, besonders ab Mitte der 1960er Jahre.

Bis Ende 1949 waren die wichtigsten nichtstaatlichen Organisationen des Innovationssystems wie die Hochschulgruppe Fertigungstechnik (HGF, ehemals HGB), der VDW und der VDI in Westdeutschland neu gegründet worden. Wegen der schwierigen wirtschaftlichen Lage und der knappen finanziellen Mittel konzentrierte sich die Zusammenarbeit in den ersten Jahren bis auf wenige Ausnahmen auf die Wiederaufnahme der persönlichen Kontakte und auf Forschung und Weiterentwicklung der konventionellen Werkzeugmaschinen. Ab Mitte der 1950er Jahre gab es zwar erste Arbeiten zur NC-

Technik an Hochschulen und etwas später auch in der Industrie, es kam aber bis Mitte der 1960er Jahre zu keiner engen Zusammenarbeit des produktionstechnischen Innovationssystems, um der NC-Technik zum Durchbruch zu verhelfen. Das lag vor allem am VDW, bei dem die Mehrheit der Mitglieder der NC-Technik noch ablehnend gegenüberstand. Hinzu kam, dass sich die Akteure bei den Steuerungsherstellern und auch bei den Werkzeugmaschinenherstellern mit der Veröffentlichung von technischen Details zu ihren NC-Entwicklungen zurückhielten; sie wollten ihre Entwicklungsergebnisse möglichst selbst verwerten und sie nicht mit ihren Wettbewerbern teilen, was letztlich die Entwicklung behinderte. Dies änderte sich erst Mitte der 1960er Jahre, als mehrere Faktoren zusammenkamen:

- Nach einem vertraulichen Vortrag von Simon vor dem VDW-Vorstand im Juni 1964, auf dem er u. a. von seiner USA-Reise berichtete, begann sich die Einstellung des VDW langsam zu ändern.
- Mitte der 1960er Jahre wurden auf neue und freiwerdende fertigungs- und produktionstechnische Lehrstühle Befürworter der NC-Technik berufen. Mit Simon (1964) und Spur (1965) in Berlin, sowie Stute (1965) in Stuttgart waren zusammen mit Opitz (WZL Aachen) ab Mitte der 1960er Jahre vier wichtige westdeutsche Lehrstühle mit Unterstützern der NC-Technik besetzt, die u. a. über die HGF einen großen Einfluss im produktionstechnischen Innovationssystem hatten.
- In den 1960er Jahren wurde die staatliche Forschungsförderung stark ausgebaut, um den technologischen Rückstand zu den USA zu reduzieren. Den genannten Professoren gelang es, in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre für die NC-Technik größere Forschungsaufträge bei öffentlichen Institutionen, dem VDW und den Werkzeugmaschinenherstellern zu akquirieren und damit ihre Institute auszubauen.

Die Einwerbung von öffentlichen Forschungsaufträgen wurde dadurch erleichtert, dass ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahren das Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung zunehmend Fördermittel für industriell wichtige Forschungen bereitstellte und über Projektträger¹⁹⁴⁰ verteilte. Das erste größere, von den vier Instituten gemeinsam bearbeitete Projekt war die Entwicklung der NC-Programmiersprache EXAPT, die anfangs vom Projektträger DFG, später von der Industrie, finanziert wurde.

Ab 1968 förderte der Projektträger DFG auch fertigungs- und produktionstechnische Sonderforschungsbereiche, in denen mehrere Institute in der Grundlagenforschung zusammenarbeiteten und dabei auch NC-Themen untersuchten. 1971 wurde die Förde-

¹⁹⁴⁰ Zum westdeutschen produktionstechnischen Innovationssystem gehörten, neben den Hochschulinstituten auch die Projektträger für die Grundlagen- und Verbundforschung (im Untersuchungszeitraum hauptsächlich die DFG und der Projektträger KfK), Vereine und Verbände wie VDW und VDI (ADB) und die Werkzeugmaschinen- und Steuerungshersteller. Ihre Akteure arbeiteten projektbezogen in unterschiedlichen Konstellationen zusammen und generierten eine Vielzahl von kleineren und größeren Weiterentwicklungen für die Werkzeugmaschinen.

rung des Bundes über den Projektträger KFK auf gemeinsame Projekte von Hochschulen und Industrie erweitert, um der Forschung mehr Praxisnähe zu geben und die industrielle Nutzung von Forschungsergebnissen zu beschleunigen.

Die Institute gaben mit ihren Forschungsergebnissen den Werkzeugmaschinenherstellern immer wieder innovative Impulse. Dabei favorisierten sie manchmal auch Konzepte und Ideen, die bei den industriellen Partnern wegen des hohen Entwicklungsaufwands anfangs auf wenig Gegenliebe stießen, letztlich aber zur heute noch starken Position der westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller auf dem Weltmarkt beitrugen. Dazu gehörten Forschungen und Untersuchungen zu modular konfigurierbaren CNC-Mehrprozessorsteuerungen, zur Werkstattprogrammierung, zu flexiblen Fertigungssystemen, zur Interpolation, zur Werkzeugüberwachung und zur Antriebstechnik, um nur einige zu nennen.

Ein wichtiger Nebeneffekt des starken personellen Ausbaus der Produktionsforschung an den Hochschulen ab Mitte der 1960er Jahre war, dass etwa ab 1970 immer mehr Diplomanden und erste Doktoranden mit fundierten NC-Kenntnissen ihre Ausbildung beendeten. Sie übernahmen nach ihrem Abschluss häufig direkt Führungspositionen in der Industrie und forcierten den Bau bzw. den Einsatz von NC-Maschinen bei den Werkzeugmaschinenherstellern bzw. Anwendern.

Zusammengefasst entstanden durch die teilweise enge Verflechtung zwischen staatlichen Forschungseinrichtungen und privaten Unternehmen Forschungs- und Entwicklungskooperationen, die anwendungsrelevante Entwicklungsergebnisse erzielten. Diese wurden durch die neu ausgebildeten produktionstechnischen Ingenieure in die industrielle Fertigung übertragen. Durch den Technologietransfer zwischen Werkzeugmaschinenherstellern, Steuerungsherstellern und Forschungseinrichtungen, der engen Zusammenarbeit mit Endanwendern und der Bereitschaft zu Innovationen entstanden so immer fertigungsgerechtere Maschinen- und Lösungskonzepte, durch die die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie immer leistungsfähiger wurde und sich eine führende Stellung auf dem Weltmarkt erarbeiten konnte. Dies war nicht zuletzt das Ergebnis der engen Zusammenarbeit im produktionstechnischen Innovationssystem.

Die NC-Technik veränderte auch die Beschäftigungssituation und Arbeitsinhalte in der Metallindustrie. Für die IG Metall, die Interessenvertretung der Metallarbeiter, waren die durch die NC-Technik ausgelösten Veränderungen nichts prinzipiell Neues, da sie schon öfters mit den Auswirkungen anderer Automatisierungstechnologien konfrontiert war. Schon ab 1957 gab es deshalb eine direkt dem Vorstand unterstellte Abteilung, die sich mit den Konsequenzen neuer Technologien und der Automatisierungstechnik für ihre Mitglieder beschäftigte. Um Antworten auf die damit zusammenhän-

genden Fragen und Probleme zu finden, führte die IG Metall in den 1960er Jahren drei große internationale Kongresse durch. Ein wichtiges Ergebnis war ihre Strategie zur Absenkung der Wochenarbeitszeit und zur Durchsetzung eines Rationalisierungsschutzabkommens.

Bis etwa Mitte der 1970er Jahre hatten andere Automatisierungstechnologien wie z. B. die Spritzgusstechnik stärkere Auswirkungen auf die Arbeitsplätze als die NC-Technik. Diese geriet erst in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre stärker in den Fokus der IG Metall, als die Anzahl der NC-Maschinen durch die CNC-Technik deutlich zunahm und es die durch konjunkturelle Probleme (Ölkrisen) freigesetzten Facharbeiter auf dem Arbeitsmarkt schwerer hatten, eine neue Beschäftigung zu finden. Die IG Metall unterstützte deshalb Bestrebungen, den Facharbeitern durch leistungsfähigere Bedienoberflächen die NC-Programmierung in der „Werkstatt“ zu ermöglichen, um neue Tätigkeitsfelder für die betroffenen Facharbeiter zu finden und ihre Arbeit aufzuwerten. Technisch möglich wurde das durch die Weiterentwicklung der NC-Steuerung zur mikroprozessorbasierten CNC-Steuerung. Erste Steuerungen mit Programmierunterstützung erschienen in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre auf dem Markt. Die damit mögliche Werkstattprogrammierung löste eine über Jahre andauernde Kontroverse aus, ob die Programmierung in der Werkstatt sinnvoll und wirtschaftlich sei. Sie versandete erst in den 1990er Jahren, als für fast alle NC-Maschinen zu moderaten Mehrkosten eine leistungsfähige, werkstattnahe Programmierung verfügbar war, und die Anwender auswählen konnten, wann und wie sie diese Programmiervariante in ihrem Betrieb nutzen wollten.

Die anfängliche Befürchtung der IG Metall, dass die Beschäftigten an NC-Maschinen in niedrigere Lohngruppen eingestuft werden könnten, bewahrheitete sich im Untersuchungszeitraum nicht. Vielmehr wurden die Bediener an NC-Maschinen tendenziell sogar etwas besser bezahlt als an den konventionellen Maschinen. Dies war ein Grund, warum die NC-Maschinen von der IG Metall nie ernsthaft bekämpft wurden. Ihr Ziel war es, die Arbeit an NC-Maschinen für ihre Mitglieder möglichst hochwertig und gut bezahlt zu gestalten. Ein weiterer Grund war, dass die Werkzeugmaschinenindustrie viele Beschäftigte hatte und ohne NC-Maschinen viele Arbeitsplätze in diesem Industriezweig gefährdet worden wären.

Mit der Zunahme von NC-Maschinen in der Fertigung wurde es immer wichtiger, den Facharbeitern Weiterbildungsangebote für die NC-Technik zu machen. Das IHK-Bildungszentrum Grunbach im Remstal griff diesen Gedanken als eines der ersten auf und bot ab 1979 NC-Schulungen für Facharbeiter an, um ihnen den Umstieg auf die neue Technik zu erleichtern. Die Qualität und Struktur der Schulungen sprach sich schnell herum, und diente als Blaupause für vergleichbare Einrichtungen in der Bundesrepublik Deutschland.

Parallel wurde begonnen, die NC-Technik in die Lehrpläne der gewerblichen Ausbildung zu integrieren, um neue Facharbeiter schon in der Ausbildung mit der NC-Technik vertraut zu machen. Wegen der föderalen Bildungsstruktur der Bundesrepublik Deutschland war dies jedoch ein langwieriger Prozess, der erst 1986 abgeschlossen war. Einige Firmen integrierten deshalb schon vorher die NC-Ausbildung auf eigene Verantwortung in die Ausbildungsphasen in ihrem Betrieb.

Das zentrale Element einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine ist die NC-Steuerung. Für ihre Funktion benötigt sie zuverlässige Sensoren und Aktoren. Am Entwicklungsbeginn der NC-Steuerungen standen diese zwar prinzipiell zur Verfügung, waren aber für Anwendungen im Maschinenbau nicht optimiert. Sie mussten deshalb parallel zur Steuerungsentwicklung an die Anforderungen der NC-Maschinen angepasst werden.

Besonders wichtig waren geregelte, dynamische (elektrische) Antriebe mit zuverlässigen Messsystemen zur Positions- und Geschwindigkeitserfassung, außerdem mechanische Komponenten wie Kugelgewindtriebe oder Zahnstangen für die Umwandlung der Motorumdrehungen in eine lineare Achsbewegung. Das Angebot dieser Komponenten verbesserte sich kontinuierlich. Etwa zeitgleich mit der Einführung der CNC-Steuerungen ab Mitte der 1970er Jahre standen auch dynamischere elektrische Antriebe zur Verfügung. Sie lieferten einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen.

Für die Fertigung kleiner sich wiederholender Losgrößen bot es sich in Betrieben mit mehreren NC-Maschinen an, den unhandlichen und verschleißbehafteten Lochstreifen mit dem NC-Programm durch Datenübertragung zwischen einem übergeordneten Rechner und den NC-Maschinen zu ersetzen. Diese Technik etablierte sich ab den 1970er Jahren unter dem Begriff DNC und wird auch heute noch – natürlich unter Verwendung modernster Netzwerktechnik – angewandt. Sie ist eine weitere Automatisierungsstufe der Fertigung mit NC-Maschinen, insbesondere wenn das Netzwerk noch zur Erfassung und zum Austausch von Betriebs- und Maschinendaten im Sinne von Industrie 4.0. genutzt wird.

Viele Werkstücke müssen auf verschiedenen Maschinen bearbeitet werden. Dies führte zu Überlegungen, die Maschinen ausgehend von einem zentralen Spannplatz über Transportvorrichtungen zu verbinden, den Werkstücktransport zwischen den Maschinen mit einem Rechner zu steuern und zu optimieren und die NC-Programmversorgung über DNC zu lösen. Für Anlagen dieser Art schufen Dolezalek und Rohpol Ende der 1960er Jahre den Begriff „flexibles Fertigungssystem“ (FFS). Erste Pilotsysteme wurden in der Bundesrepublik Deutschland Anfang der 1970er Jahre durch öffentlich geförderte Forschungsprojekte theoretisch untersucht und etwas später in Betrieb genommen. Einer der ersten westdeutschen Anwender einer privat

finanzierten Anlage war Ende der 1960er Jahre die Firma Heidelberger Druckmaschinen. Mitte der 1970er Jahre waren dann schon mehrere kommerziell genutzte FFS-Anlagen von verschiedenen Werkzeugmaschinenherstellern in Betrieb.

Die Fortschritte der Rechnertechnik, die Forschungen an den Hochschulen und die damit erhoffte Kostensenkung flexibler Fertigungssysteme lösten Anfang der 1980er Jahre eine FFS-Welle aus, die gegen Ende der 1980er Jahre wieder abflaute. Die Anwender hatten die Erfahrung gemacht, dass Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit der hochautomatisierten Anlagen oft schlechter als erwartet war. Hinzu kam, dass sich das Fertigungsspektrum oft schneller als geplant änderte, sodass die Anlagen trotz ihrer Flexibilität für den neuen Fertigungsmix nicht mehr geeignet waren und – wenn überhaupt möglich – kostspielig umgebaut werden mussten. Neue FFS-Anlagen wurden deshalb gegen Ende der 1980er Jahre deutlich kleiner und zurückhaltender geplant, und es wurde stärker darauf geachtet, dass die Maschinen möglichst flexibel nutzbar waren und das Personal mehr Eingriffsmöglichkeiten hatte. Das zeigt, dass die oft diskutierte menschenleere Fabrik noch weit entfernt war, auch wenn ein funktionierendes und gut ausgelegtes FFS deutlich weniger Personal benötigte als eine konventionell strukturierte Fertigung. Weiter wird deutlich, dass sehr lange Zeiträume erforderlich sind, um die optimale Struktur und Auslegung von Fertigungslinien zu finden.

Die immer leistungsfähigeren Rechner gaben auch dem CIM-Gedanken ab den 1980er Jahren neuen Schub. Der schon Ende der 1950er Jahre formulierte Grundgedanke von CIM war die Datendurchgängigkeit eines Werkstücks von der Konstruktion bis zu seiner Fertigung. Das bedeutet im Idealfall: Neue Werkstücke werden am Bildschirm konstruiert, das NC-Programm wird aus den Konstruktionsdaten automatisch erzeugt und die Fertigungsaufträge werden rechnergestützt auf die geeigneten Maschinen verteilt. Im besten Fall führt also die Verknüpfung der Konstruktionsdaten mit Werkzeugdaten, den Eigenschaften der NC-Maschinen und den räumlichen und sonstigen Gegebenheiten des Maschinenparks zu einer quasi automatischen Fertigung ohne manuelle Eingriffe. Ähnlich wie bei den FFS war die Komplexität einer so strukturierten automatisierten Fertigung in der Realität so groß, dass meistens nur Teilaspekte dieser Idee umgesetzt wurden. Erst mit dem in den letzten Jahren intensiv diskutierten Schlagwort „Industrie 4.0“ rückt eine durchgängigere Umsetzung des CIM-Gedankens wieder mehr in den Fokus, auch wenn bis heute die schon seit vielen Jahrzehnten diskutierte Vision einer menschenleeren Fabrik wegen der vielen fertigungstechnischen Unwägbarkeiten immer noch nicht umsetzbar ist.

Schon in den 1960er Jahren wurde der Kern der NC-Technik, Achsen bzw. Antriebe programmgesteuert und geregelt zu positionieren, auch von anderen Technologien aufgegriffen. Die bedeutendste industrielle Anwendung neben der NC-Technik ist heute der Roboter, dessen Steuerungstechnik im Detail aber stark von NC-Steuerungen

abweicht. Auch in vielen anderen Anwendungen der industriellen Automatisierung (z. B. Montage- und Verpackungsmaschinen etc.) steckt der Grundgedanke der NC-Technik. In der Medizintechnik, z. B. in Computertomographen, kommt das Grundprinzip der NC-Technik genauso zum Einsatz, wie im Automobil (etwa bei der Sitzverstellung) oder Konsumgütern wie dem Saugroboter oder einer Rollladensteuerung.

Abschließend lässt sich feststellen: Die NC-Technik wurde Ende der 1940er Jahre in den USA erfunden, um komplexe Werkstücke in der Flugzeugindustrie effektiver fertigen zu können. Wegen des Kalten Krieges wurde die Weiterentwicklung trotz noch unzulänglicher Rechnertechnik ohne Rücksicht auf die Kosten bis zur Industriereife durchgezogen. Die Nutzung der NC-Technik konzentrierte sich deshalb anfangs überwiegend auf die militärisch wichtige Flugzeugindustrie. Mit den Fortschritten der Rechnertechnologie durch immer höher integrierte Halbleiter wurden die NC-Steuerungen etwa ab 1960 immer kostengünstiger und zuverlässiger und fanden nach und nach den Weg in die breite industrielle Fertigung. Etwa ab Ende des Untersuchungszeitraums hatten sich CNC-Maschinen in der Metallindustrie bei Maschinenneuanschaffungen für kleinere und mittlere Stückzahlen weitgehend durchgesetzt. Die Betriebe konnten nur so die gestiegenen Anforderungen an Flexibilität und Kosten erfüllen. In der vorliegenden Arbeit wurden die damit verbundenen Fragen beantwortet, warum dieser Prozess etwa 30 Jahre dauerte, wie die Werkzeugmaschinenhersteller und Endanwender sich an die neue Technologie herantasteten, und wie es der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie mit Unterstützung des produktionstechnischen Innovationssystems gelang, die USA ab etwa 1980 beim Werkzeugmaschinenumsatz dauerhaft zu übertreffen.

Heute findet sich das Grundprinzip der NC-Technik sogar in vielen Konsumgütern, was nur Wenige wissen. Direkt sichtbar ist sie z. B. in einem Saugroboter oder einer Rollladensteuerung; nur indirekt z. B. in einem Automobil, bei dem die meisten Teile des Antriebsstrangs mit CNC-Maschinen gefertigt werden. Noch schwieriger ist es, bei den unzähligen Plastikteilen einen Bezug zur NC-Technik zu erkennen, obwohl fast jede dafür benötigte Spritzgussform auf einer NC-Maschine gefertigt wird.

Es kann also mit Fug und Recht behauptet werden, dass die NC-Technik eine Basisinnovation ist, da sie die Herstellung von vielen Produkten verbilligt und vereinfacht und auch die Basis für weitere Produkte wie z. B. Roboter wurde. Insofern war es richtig, dass ihr Erfinder John T. Parsons 1993 mit der Aufnahme in die „National Inventors Hall of Fame“ der USA geehrt wurde.¹⁹⁴¹

¹⁹⁴¹ Vgl. National Inventors Hall of Fame (1993).

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

AC	Adaptive Control
ADB	VDI-Fachgruppe Betriebstechnik; Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure
AdsD	Archiv der sozialen Demokratie
AEG	Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft
AFIPS	American Federation of Information Processing Societies
AIA	Aircraft Industries Association of America
AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“
AMC	US Air Force Material Command
AMEC	Aerospace Manufacturing Committee
APT	Automatically Programmed Tools
AUTOPIT	Automatisches Programmieren Inclusive Technologie
AV	Arbeitsvorbereitung
AWK	Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium
BAU	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung
BEZ	Betriebsstelle Bearbeitungszentrum
BK	Betriebskommission
BKS	Betriebskommissionssitzung
BBC	Brown, Boveri & Cie.
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BIS	Balluff Ident-System
BMAt	Bundesministerium für Atomfragen (1955–1957) für Atomkernenergie (1961–1962)
BMAtW	Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft (1957–1961)
BMBW	Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (1969–1994)
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie (1972–1994)
BMBF	Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung (1994–1998) Bundesministerium für Bildung und Forschung (1998-heute)
BMwF	Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung (1962–1969)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BW	Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH, Reutlingen
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPSY	Computer Aided Planing System
CATIA	Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application

CAx	Sammelbegriff für CAD, CAM, ...(x steht als Platzhalter)
CDC	Control Data Corporation
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIRP	Collège International pour la Recherche en Productique
CLDATA	Cutter Location Data
CNC	Computerized Numerical Control
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFVLR	Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt
DIAG	Deutsche Industrieanlagen GmbH
DIN	Deutsche Industrie Norm
DLR	Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt
DNA	Deutscher Normenausschuss
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DIHK	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
DMG	Deckel Maho Gildemeister
DMV	Deutscher Metallarbeiter-Verband
DNC	Direct Numerical Control
DTMB	Deutsches Technikmuseum Berlin
DUCT	Design Using Computer Technology
DV	Datenverarbeitung
EBM	Wirtschaftsverband Eisen, Blech und Metall verarbeitende Industrie
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EIA	Electronic Industries Alliance
EMI	Electric and Musical Industries Ltd.
EMO	Exposition Mondiale de la Machine Outil
ENIAC	Electronic Numerical Integrator and Computer
ERFA	Erfahrungsaustausch
EUV	Extreme Ultra Violet
EWA	Europäische Werkzeugmaschinenausstellung
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EXAPT	Extended Subset of APT
FFG	Fair Friend Group
FFS	Flexibles Fertigungssystem
FISW	FISW Forschungs- und Ingenieurgesellschaft für Steuerungstechnik GmbH
FNI	Fachnormenausschuss Informationsverarbeitung
FTK	Fertigungstechnische Kolloquium
FuE	Forschung und Entwicklung
FWi	Fachverband Werkzeugindustrie
GfK	Gesellschaft für Kernforschung
GE	General Electric
GHH	Gutehoffnungshütte, Aktienverein für Bergbau und Hüttenbetrieb

HdA	Humanisierung des Arbeitslebens
HGB	Hochschulgruppe Betriebswissenschaft
Hg	Hauptgruppe
HGF	Hochschulgruppe Fertigungstechnik
HSK	Hohlschaftkegel
IfaA	Institut für angewandte Arbeitswissenschaft
IG	Industriegewerkschaft
IFF	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb an der Universität Stuttgart
IHA	Internationale Hannover Ausstellung
IHK	Industrie- und Handelskammer
ifo	Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e. V.
IfW	Institut für Werkzeugmaschinen an der Universität Stuttgart
IMTS	International Manufacturing Technology Show
IPA	(Fraunhofer-) Institut für Produktionstechnik und Automatisierung Stuttgart
IPK	(Fraunhofer-) Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik Berlin
ISF	Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V., München
ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
ISO	International Organization for Standardization
ISW	Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen an der Universität Stuttgart
IWF	Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb an der Technischen Universität Berlin
ITT	International Telephone & Telegraph Corporation
ITW	Institut für Spanende Technologie und Werkzeugmaschinen an der Technischen Hochschule Darmstadt
IWW	Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung
KfK	Kernforschungszentrum Karlsruhe
LSI	Large Scale Integration
LKW	Lastkraftwagen
M.A.N.	Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (bis 1986)
MAN	MAN Aktiengesellschaft (ab 1986 nach Verschmelzung mit GHH)
MAN SE	MAN Aktiengesellschaft, Societas Europaea (ab 2009)
MINEX	Mini-EXAPT
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MPST	Mehrprozessorsteuerungssystem
ms	Millisekunde
MSI	Medium Scale Integration
MTU	Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen

NADI	Normenausschuss der Deutschen Industrie
NC	Numerical Control
NCS	Numerical Control Society
NFZ	Nutzfahrzeug
PC	Personal Computer
PC	Programmable Controller (bis etwa Anfang der 1980er Jahre)
PDV	Prozesslenkung mit Datenverarbeitungsanlagen
PFT	Programm Fertigungstechnik
PLC	Programmable Logic Controller (ab etwa Anfang der 1980er Jahre)
PTK	Produktionstechnisches Kolloquium
PTKA	Projektträger Karlsruhe
PTW	Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen an der Universität (ehemals Technischen Hochschule) Darmstadt
R&D	R&D Gesellschaft für elektrische Steuerungstechnik mbH & Co. KG
RFID	Radio Frequency Identification
RM	Reichsmark
RKW	Ursprünglich: Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit in Industrie und Handwerk; ab 1950: Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e. V.; seit 2000: RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e. V.
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
SBZ	Sowjetische Besatzungszone
SCI	Science Citation Index
SSI	Small Scale Integration
SEL	Standard Elektrik Lorenz AG
Sercos	Serial Realtime Communication System
SFB	Sonderforschungsbereich
SIP	Société d'Instruments de Précision
SNC	Aircraft Industries Association's Subcommittee on Numerical Control
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SSW	Siemens-Schuckertwerke
TAE	Technische Akademie Esslingen
TH	Technische Hochschule
TIB	Technische Informationsbibliothek Hannover
TNC	Tip Numeric Control
TRW	Thompson-Ramo-Wooldrige
TU	Technische Universität
TTL	Transistor-Transistor-Logik
TZ	Technisches Zentralblatt für praktische Metallbearbeitung

umati	universal machine tool interface
US	United States
USD	US-Dollar
VCS	Volumetric Compensation System
VDF	Vereinigte Drehbankfabriken
VE	Verfahrensentwicklung (Daimler)
VEN	Verfahrensentwicklung Numerik (Daimler)
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VDW	Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken
VOMAG	Vogtländische Maschinenfabrik Aktiengesellschaft
WGP	Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik
WZL	Werkzeugmaschinenlabor der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
ZVEI	Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie
ZW	Zentralbereich Werke der Siemens-Schuckertwerke

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Plakat „Humanisierung des Arbeitslebens“ (1976).....	19
Abbildung 2: Transmission einer Maschinengruppe mit Elektromotoren.	43
Abbildung 3: Entwicklung der Antriebstechnik von Werkzeugmaschinen.....	46
Abbildung 4: Aufzugsdruckknopfsteuerung von Klöckner-Moeller vor 1910 für Gleichstrom: a Wendeschütz, b drei Anlassschütze, c sieben Stockwerksrelais.....	50
Abbildung 5: Relaisrahmen der Heller-Bohrmaschine SBR 32 von 1959.....	51
Abbildung 6: Zweipoliges 30A Gleichstromschütz der Siemens-Schuckertwerke für Lichtstromkreise aus dem Jahr 1905	52
Abbildung 7: Schablone zur Überprüfung eines Hubschrauberrotorblatts	64
Abbildung 8: Erste numerisch gesteuerte Fräsmaschine im März 1952 am MIT	66
Abbildung 9: Erste NC-Fräsmaschine von Giddings & Lewis mit Magnet- bandeinheit um 1955	68
Abbildung 10: „Director unit“ der Giddings & Lewis NC-Fräsmaschine	68
Abbildung 11: Wiedemann Revolver-Stanz-presse R101 um 1954 mit 3-achsiger Positioniersteuerung von GE.....	69
Abbildung 12: Wiedemann Revolver-Stanz-presse R 101 um 1957 mit Lochstreifenleser	69
Abbildung 13: Zweiachsen-Positioniersteuerung MARK II Numerical Control von GE mit thyatrongesteuerten Servoantrieben um 1957 an einer Bohrmaschine	71
Abbildung 14: Prototyp des Bearbeitungszentrums Milwaukee-Matic von Kearney & Trecker um 1958.....	74
Abbildung 15: Bearbeitungszentrum Milwaukee-Matic von Kearney & Trecker (1960)	74
Abbildung 16: Stückzahlen der in den USA ausgelieferten NC-Maschinen.....	75
Abbildung 17: Werkzeugmaschinenproduktion in der BRD von 1949 bis 1981	84
Abbildung 18: Beschäftigte im Werkzeugmaschinenbau der BRD von 1950 bis 1981	84
Abbildung 19: Umsatz der Werkzeugmaschinenproduktion in Deutschland, den USA und Japan	85

Abbildung 20: Regionale Verteilung der WZM-Produktion in Deutschland 1939	86
Abbildung 21: Regionale Verteilung der WZM-Produktion in der BRD 1964	87
Abbildung 22: Regionale Verteilung der WZM-Produktion in der BRD 2019	88
Abbildung 23: Abnahmebranchen NC-Werkzeugmaschinen 1977–1979	88
Abbildung 24: Wissenschaftsausgaben in % des öffentlichen Gesamthaushalts	97
Abbildung 25: Entwicklung der Publikationstätigkeit in Deutschland	98
Abbildung 26: Entwicklung der FuE-Aufwendungen von Staat und Wirtschaft ab 1948	99
Abbildung 27: Patentanmeldungen in Deutschland ab 1812	100
Abbildung 28: Netzwerk des produktionstechnischen Innovationssystems ab 1970.	105
Abbildung 29: Revolverdrehbank am ITW in Darmstadt (um 1957) mit numerischem Zähler	107
Abbildung 30: Walzenkalibriermaschine von Waldrich Siegen mit AEG-NC- Bahnsteuerung	110
Abbildung 31: Anzahl der westdeutschen NC-Maschinenhersteller zwischen 1957 und 1971	114
Abbildung 32: Westdeutsche NC-Maschinenhersteller Mitte 1971	115
Abbildung 33: Numerische AEG-Bahnsteuerung um 1960 für Walzenkalibriermaschine	155
Abbildung 34: Hüller Hübomat mit Masing Numeric Typ B 3/3-P	170
Abbildung 35: Bohle Fräsmaschine mit SEL-Steuerung	174
Abbildung 36: Titelbild Prospekt der Sinumerik 230	179
Abbildung 37: Heller uni-Pro 80 NC-Steuerung	189
Abbildung 38: Marktanteile der NC-Steuerungshersteller zwischen 1970 und 1974 in der BRD	195
Abbildung 39: Weltmarktanteile der NC-Steuerungshersteller 1985	196
Abbildung 40: Prinzip der Fräserradiuskorrektur	202
Abbildung 41: Entwicklung der numerischen Steuerung	212
Abbildung 42: Produktionszahlen westdeutscher NC-Werkzeugmaschinen von 1963 bis 1983	213

Abbildung 43: Anteil CNC-Maschinen auf Werkzeugmaschinenausstellungen	214
Abbildung 44: NC-Bearbeitungszentrum MT 3 von Burkhardt & Weber (1959).....	231
Abbildung 45: Heller SBR 32 für die 6. Werkzeugmaschinen-Ausstellung 1959 in Paris	237
Abbildung 46: Bearbeitungszentrum Heller BRH 65 I W	238
Abbildung 47: Burr Transfer-Center TC 22	243
Abbildung 48: Burr Transfer-Center TC 1.....	244
Abbildung 49: TRUMATIC 20: Erste Werkzeugmaschine mit numerischer Bahnsteuerung zum Stanzen und Nibbeln	249
Abbildung 50: TRUMATIC 180 LASERPRESS: Kombinierte Blechbearbeitungsmaschinen zum Laserschneiden, Stanzen, Nibbeln und Umformen.....	250
Abbildung 51: Laserschneidmaschine L3000 mit fliegender Optik (1987)	252
Abbildung 52: Moderner Mehrspindelbohrkopf	272
Abbildung 53: Bohrkopf Heidelberger Druckmaschinen AG	273
Abbildung 54: Bestandsentwicklung und Investitionen für Werkzeugmaschinen bei M.A.N.-Augsburg.....	288
Abbildung 55: Entwicklung des NC-Maschinenbestands in den BK-Werken des GHH-Konzerns.....	291
Abbildung 56: Anteil der NC-Maschinen am Maschinenbestand von M.A.N. mit M.A.N.-Roland.....	292
Abbildung 57: Kugelgewindetrieb.....	304
Abbildung 58: Zahnstange mit Ritzel.....	305
Abbildung 59: Heller-Schaltschrank mit Relaisrahmen	311
Abbildung 60: Elektrohydraulischer Schrittmotor von Fanuc/Siemens.....	318
Abbildung 61: Ausschnitt aus einer Werbeanzeige von Indramat aus dem Jahr 1980	322
Abbildung 62: Modell einer Gesamtanlage mit Molins System 24	341
Abbildung 63: Funktionsaufteilung zwischen verschiedenen Mitarbeitern an NC- Maschinen.....	370

Abbildung 64: Bestand NC-Maschinen in der Bundesrepublik Deutschland von 1962–1980	375
Abbildung 65: Qualifikationen der NC-Programmierer	380
Abbildung 66: Herkunft der NC-Programmierer.....	380
Abbildung 67: Bewertung der sozialen Auswirkung des NC/CNC-Einsatzes durch Betriebsräte.....	381
Abbildung 68: Organisatorische Aufgaben bei der NC-Einführung	383
Abbildung 69: Berechnung der Fertigungskosten je Stück	400
Abbildung 70: Kostenkurve für ein Wirtschaftlichkeitsbeispiel Fräsen und Bohren eines Getriebegehäuses.....	401
Abbildung 71: Prognostizierte Entwicklung von Kostenkomponenten der Werkzeugmaschinen.....	402
Abbildung 72: Struktur der Fertigungskosten bei NC-Maschinen	405
Abbildung 73: Positionierbaugruppe WF 625 von Siemens	414
Abbildung 74: Steuerungssystem Indramat TRANS 01 für Transferstraßen	415
Abbildung 75: Achsanordnung eines Knickarmroboters.....	416

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht durchgeführter Interviews.....	37
Tabelle 2: Ausbildung Interviewpartner.....	38
Tabelle 3: Haupttätigkeiten der Interviewpartner im Untersuchungszeitraum	39
Tabelle 4: Gängige Halbleiterbauelemente der Automatisierungstechnik Anfang der 1960er Jahre	53
Tabelle 5: NC-Maschinen und NC-Steuerungen auf der IMTS 1960 in Chicago.....	73
Tabelle 6: Westdeutsche NC-Maschinenproduktion von 1957–1970	116
Tabelle 7: VDI-Richtlinien des Unterausschusses Informationsverarbeitung, Stand 1.7.1966.....	199
Tabelle 8: PDV-Projekte für flexible Fertigungssysteme Stand 1976	344

Quellen- und Literaturverzeichnis

Nicht publizierte Quellen

Archive

Hinweis: Kopien aus den Privatarchiven befinden sich als PDF-Dateien im Universitätsarchiv Stuttgart unter der Signatur SN113.

Archiv der NC-Gesellschaft Ulm

Ordner NCG-Geschichte, Kief, Hans B. (12.06.1975): Einladung zur Mitgliedschaft, Erbach.

Ordner NCG-Geschichte, Kief, Hans B. (15.07.1975): Verschiedene Rückfragen zur Deutschen NC-Gesellschaft.

Ordner NCG-Geschichte, NC-Gesellschaft (20.05.1986): NCG-Geschichte, Biberist.

Ordner NCG-Geschichte, NC-Gesellschaft (o. J.): Tabellarische NCG-Geschichte.

Archiv der sozialen Demokratie (AdsD, IG-Metall), Bonn

IGM 5/IGMA240146, Blum, Udo (September 1983): Referat zum Symposium „Arbeit und Technik“ vom 21. bis 23.9.1983 in Bremen, Frankfurt (Main).

Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin

Ordner Fritz Werner Werkzeugmaschinen AG, Archivmaterialien, Haak 1994, Werner und Kolb Werkzeugmaschinen GmbH (ca. 1986): Fritz Werner: Gestern-Heute-Morgen, Berlin.

Ordner NC-Drehmaschinen HE-HY, Gebr. Heinemann AG (09/1977a): HEINEMANN RA63 M CNC-Revolverdrehmaschine mit 3-Achsen-Microprocessor-Steuerung HEINEMANN-MEMORY, St. Georgen im Schwarzwald.

Ordner NC-Drehmaschinen HE-HY, Gebr. Heinemann AG (09/1977b): HEINEMANN-MEMORY, eine Microprozessor-Steuerung für 2 bis 4 Achsen, St. Georgen im Schwarzwald.

Ordner NC-Steuerungen 1, Brown, Boveri & Cie. AG, Baden (Schweiz) (1965): 9. Europäische Werkzeugmaschinenausstellung Brüssel.

Ordner NC-Steuerungen 1, Dr. Masing & Co. KG (15.09.1964): Numerische Maschinen-Steuerungen für Produktionsmaschinen, Erbach.

Ordner NC-Steuerungen 1, Dr. Masing & Co. KG (Mai 1965): Masing-Numeric-Steuerungen, Erbach.

Ordner NC-Steuerungen 1, Grundig Werke GmbH (März 1965): Numerical Control for Machine Tools, Fürth.

Ordner NC-Steuerungen 1, Standard Elektrik Lorenz AG (1964 oder 1965): Lochstreifen steuern Werkzeugmaschinen, Stuttgart.

Ordner NC-Steuerungen 2, Hermann Kolb, Maschinenfabrik, Köln-Ehrenfeld (31.08.1967): Referenzliste ausgelieferte numerisch gesteuerte Koordinaten-Bohrmaschinen, Köln.

Ordner NC-Steuerungen, Bönisch, Werner (Sommer 1967): Grundlagen der numerischen Steuerungstechnik, Fürth.

Archiv EXAPT-Verein, Aachen

Mitgliederliste, M.A.N.-Werk München (29.05.1967): Beitrittserklärung zum Verein zur Förderung des EXAPT-Programmiersystems, München.

Ordner EXAPT-Verein: Gründung, Satzung, Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (22.03.1967): Anwesenheitsliste Gründungsversammlung 22.3.1967, Aachen.

Ordner: Protokolle der Mitgliederversammlungen 1968–1975, Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (23.04.1970): Mitgliederversammlung 1970, Aachen.

Zusammenstellung Vorstände und Beirat EXAPT-Verein 1967 bis 1980, Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (1967 bis 1980): Vorstände und Beirat EXAPT-Verein 1967 bis 1980, Aachen.

Archiv Gebr. Boehringer (in Auflösung), Göppingen

Ordner Boe-(VDF)-Prospekte: NC-Drehmaschinen, Autoprogramer, Gebr. Boehringer GmbH (1968): Boehringer Autoprogramer, Göppingen.

Ordner VDW, Techn. Ausschuss, Schriftwechsel, Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (08.08.1975): Aktennotiz Besprechung Steuerungstechnik – Elektronische Bauelemente, Frankfurt.

Archiv Gebr. Heller: Bildarchiv, Nürtingen

Bild 3185-21, Gebr. Heller Maschinenfabrik (1959): Relaisrahmen SBR 32, Nürtingen.

Bild 3185-28, Gebr. Heller Maschinenfabrik (1959): Revolverbohrmaschine SBR 32, Nürtingen.

Archiv Gebr. Heller: Maschinenarchiv, Nürtingen

Ordner: Eigene Beschreibung über Schwachstromsteuerungen und numerische Steuerungen; Prospekt, Gunsser, Otto (05.07.1962): Besuch von Dr. Volk und Dir. Widmayer (Siemens-Schuckertwerke Erlangen).

Ordner: Eigene Beschreibung über Schwachstromsteuerungen und numerische Steuerungen; Prospekt, Opferkuch, Heinz (11.01.1963): Numerische Steuerung Siemens (SSW).

Ordner: NC 001 KBF 2 ELS-Komm 0670, Gebr. Heller Maschinenfabrik (9.8.61): Lochband-Programmiereinrichtung eines Schwartzkopff-Bohrwerks KBF 2 Messe Brüssel 1961, Nürtingen.

Ordner: VDI-Steuerungsausschuß, VDI, Fachgruppe Betriebstechnik (ADB) (14.07.1964): Richtlinie VDI 3254 – Allgemeine Richtlinien für die Genauigkeitsangaben bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen – Begriffe und Kenngrößen, S. 1–12, Düsseldorf.

Ordner: VDI-Steuerungsausschuss, VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (ADB) (19.10.1962): Niederschrift vom 19.10.1962 über die 6. Vollsitzung des Ausschusses Automatisierung in der Fertigung in Stuttgart, Haus der Industrie- und Handelskammer, Düsseldorf.

Archiv Gebr. Heller: Prospektarchiv, Nürtingen

Gesamtkataloge 1941 bis 1968, Gebr. Heller Maschinenfabrik (09/1965): Heller Prospekt Fabrikationsprogramm, Nürtingen.

Ordner: 100 Jahre Heller, Gunsser, Otto (03.07.1984): Skript Geschichte Heller, Nürtingen.

Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999, Gebr. Heller Maschinenfabrik (04/1966): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Nürtingen.

Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999, Gebr. Heller Maschinenfabrik (04/92): Mit uni-Pro CNC 90 steuern Sie sicher in die Zukunft, Nürtingen.

Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999, Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1973): Heller Quick-Pro; NC-Steuerung mit manueller Dateneingabe für Bettfräsmaschinen, Nürtingen.

Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999, Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1979): uni-Pro 80; NC-Steuerung für Werkzeugmaschinen; Ausgabe 10/1979, Nürtingen.

Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999, Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1980): uni-Pro 80; NC-Steuerung für Werkzeugmaschinen; Ausgabe 10/1980, Nürtingen.

Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999, Gebr. Heller Maschinenfabrik (10/1988): Steuerungssysteme uni-Pro, Nürtingen.

Ordner: Steuerungen 1963 bis 1999, Gebr. Heller Maschinenfabrik (12/1963): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Nürtingen.

Ordner Steuerungen 1963 bis 1999, Siemens AG (vermutlich 1967a): Numerisch gesteuerte Revolverbohrmaschine Typ SBR 32/8/1 mit SINUMERIK 261, Erlangen.

Ordner Steuerungen 1963 bis 1999, Siemens AG (vermutlich 1967b): Numerisch gesteuerte Revolverbohrmaschine Typ SBR 50 mit SINUMERIK 200, Erlangen.

Archiv Heidelberger Druckmaschinen AG: Einkaufsabteilung, Wiesloch

Ordner Entwicklung Palettmaschinen, Kuhnert, Hans (04.06.1970): Brief von Kuhnert vom 4. Juni 1970 zur Entwicklung der Palettmaschinen, Wiesloch.

Ordner Entwicklung Palettmaschinen, Kuhnert, Hans (09.04.1962): Bestellung Musterausführung einer Magazin-Bohrmaschine bei der Fa. Burr, S. 1–2, Wiesloch.

Ordner Maschinenerprobungsberichte 1, Heidelberger Druckmaschinen AG (1962–1974): Maschinenerprobungsberichte 1; Drehmaschinen, Fräsmaschinen.

Ordner Maschinenerprobungsberichte 2, Heidelberger Druckmaschinen AG (1965–1969): Maschinenerprobungsberichte 2; Schleifmaschinen, Bohrmaschinen u.a.

Ordner Milwaukee Matic 1964, Alfred H. Schütte GmbH & Co. KG (26.06.1964): Anlage Hauptmerkmale der Maschine zum Nachtragsangebot Milwaukee-Matic II, Köln-Deutz.

Ordner Milwaukee Matic 1964, Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (17.08.1965): Brief „Aufstellung und Inbetriebnahme der am 10.5.1965 eingegangenen Kearney & Trecker Universal-Fräs-Bohr- und Ausbohrmaschine Milwaukee-Matic Modell II“, Wiesloch.

Ordner Milwaukee Matic 1964, Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (31.07.1964): Bestellung Kearney & Trecker Milwaukee Matic Modell II, Wiesloch.

Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.04.1988, Sarvari (14.04.1988): Brief vom Einkauf an Direktor Pöppel nebst Anlagen zur Einführung der NC-Steuerung bzw. der NC-gesteuerten Werkzeugmaschine bei den Heidelberger Druckmaschinen AG, Wiesloch.

Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.4.1988, Kuhnert, Hans (02.02.1963): Notiz:
Versuchsausführung für eine numerische Maschinensteuerung (Anlage 13), Wiesloch.

Schreiben an Dir. Pöppel vom 14.4.1988, Ludwigsburger Maschinenbau (26.05.1961):
Brief bzgl. Reservierung von Fertigungskapazität, Wiesloch.

Archiv Otto Kienzle bei Prof. Tönshoff, Großburgwedel

25 Jahre Hochschulgruppe Fertigungstechnik 1937–1962, Kienzle, Otto (17.04.1962):
25 Jahre Hochschulgruppe Fertigungstechnik 1937–1962, Weinheim.

Archiv Technische Akademie Esslingen, Ostfildern

Lehrgang Nr. 1972/33.02/4, Rohs, Hans-Günther/Koschnick, Georg (09.04.1973):
Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Esslingen.

Lehrgang Nr. 1982/5834/31.020, Behrendt, Werner K. u. a. (06.10.1982): Numerisch
gesteuerte Fertigungen; Sicherung der Produktivität und Wirtschaftlichkeit – mit
Besichtigung –, Esslingen.

Archiv TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen

Trumpf GmbH + Co. KG (1967): TRUMATIC 20.

Trumpf GmbH + Co. KG (1979): TRUMATIC 180 LASERPRESS.

Trumpf GmbH + Co. KG (1987): TRUMATIC L3000.

Archiv Württembergischer Ingenieurverein (WIV) Stuttgart

Ordner WIV Arbeitskreis, ADB 91, Tully, Heinrich (27.05.1964): Brief an den
Württembergischen Ingenieurverein bezüglich der Zusammenarbeit zwischen ADB
und REFA bei Lehrgängen zum Programmieren von NC-Maschinen.

Ordner: WIV Arbeitskreis; ADB 91, VDI-Bildungswerk (1964): Lehrgang
Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen vom 20. bis 22. Mai 1964
in Darmstadt und Langen, Düsseldorf.

Ordner WIV Arbeitskreis ADB, VDI-Arbeitskreis der Betriebsingenieure (ADB)
Stuttgart (1962): Bericht über die Tätigkeit des VDI-Arbeitskreises der
Betriebsingenieure (ADB) Arbeitskreis Stuttgart im Kalenderjahr 1961, Stuttgart.

Daimler AG: Archiv der Verfahrensentwicklung, Stuttgart

Büschel Verfahrensentwicklung; Technische Angaben, Kirmse (26.03.1985): Beiträge zur technischen Chronik, Stuttgart.

Ordner: Interviews für die VE-Chronik, DaimlerChrysler AG, Verfahrensentwicklung (18.09.2000): Interview mit Herrn Zick zum Thema: „50jähriges Bestehen der Verfahrensentwicklung des Werkes Untertürkheim“, Stuttgart.

Ordner: Kirmse Berichte VE, Kirmse (1980): Jahresbericht 1979 der Verfahrensentwicklung, Stuttgart.

Ordner: Kirmse Berichte VE, Zick, Manfred (15.12.1978): VE-Bericht Nr. 11/1978 Flexible Universalfertigung, Stuttgart.

Historisches Archiv der MAN Augsburg

Aktengruppe 2.1.1, Der Betrieb; Einrichtungen Werkzeugmaschinen, Werkzeuge, Werkstoffe, Simon, Wilhelm (24.11.1960): Programmierung und Datenverarbeitung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, Wasseraufingen.

Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 66, M.A.N. (16.10.1961): Niederschrift über die 66. Betriebskommissions-Sitzung am 28./29. 9.1961 im M.A.N. Werk München, Augsburg.

Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7C K4; Nr. 66, Werkzeugmaschinenausschuss der Betriebskommission (28.09.1961): Bericht des Werkzeugmaschinenausschusses der BK über die 7. Europäische Werkzeugmaschinenausstellung vom 3.–12. September 1961 in Brüssel; vorgelegt der 66. Betriebskommissionssitzung am 28. und 29. Sept. 1961 in München (Programmpunkt 4), Augsburg.

Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 7c K4; Nr. 69, Neumann (26.04.1963): Kurzbericht über die 6. Tagung des Werkzeugmaschinen-Ausschusses der BK bei M.A.N. - Augsburg am 26. April 1963; 69. Betriebskommissions-Sitzung, Programmpunkt 14, München.

Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100, Festschrift zur 100. Betriebs-Kommissions-Sitzung, Historisches Archiv der MAN Augsburg (1978): 1933–1978: 100 mal Betriebs-Kommissions-Sitzung; Chronik, Augsburg.

Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100, M.A.N. (11.10.1978): Tagesordnung der 100. BKS am 13./14. Oktober 1978 im M.A.N.-Werk in Augsburg, Augsburg.

- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 100, M.A.N., G.T.S. (März 1978): Die Betriebskommission. Eine Darstellung ihrer Zusammensetzung, Aufgabe und Arbeitsweise, Augsburg.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 101, Erdle, Hans (06.04.1979): Ergebnis einer Umfrage zu den CNC-Werkzeugmaschinen, Augsburg.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 90, M.A.N. (11.10.1973): Niederschrift über die 90. BKS am 11. Oktober 1973 bei M.A.N.-München, Augsburg.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95, Dunkler, H. (09.04.1976): Flexible Fertigungssysteme. BKS-Vortrag am 9.4.1976, Friedrichshafen.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95, Kips (09.04.1976): NC-Programmiersysteme, Hamburg.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95, M.A.N., G.T.S. (09.04.1976): Tagesordnung der 95. BKS, Hamburg.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95, Moll, Hans (09.04.1976): Wirtschaftliche Automatisierung der Einzel- und Kleinserienfertigung aus Sicht des Anwenders, Hamburg.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 95, Sander, W. (09.04.1976): Wirtschaftliche und organisatorische Aspekte der NC-Fertigung, Hamburg.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98, Dunkler, H. (04.11.1977): Flexibles Fertigungssystem für Zylinderköpfe. Ergebnis einer Untersuchung. BKS-Vortrag am 4.11.1977, Friedrichshafen.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98, Historisches Archiv der MAN Augsburg (04.11.1977): Niederschrift über die 98. BKS am 4. November 1977 bei der MTU in Friedrichshafen, Friedrichshafen.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98, Sander, W. (04.11.1977): Angebotsvergleich für CNC-Drehmaschinen mit Handeingabesteuerung, Friedrichshafen.
- Hg 2, Der Betrieb, 2.8, Betriebskommissionen, V 8a K7; Nr. 98, Stute, Gottfried (04.11.1977): Konzeption und Anwendung neuer CNC-Steuerungen für Fertigungsmaschinen und -systeme, Friedrichshafen.
- Lebenslauf Dr. Otto Meyer, Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.): Lebenslauf Dr. Otto Meyer.
- Tabellarische Geschichte der M.A.N., Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.): M.A.N.-Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, Augsburg.

Tabellarische Geschichte GHH, Historisches Archiv der MAN Augsburg (o. J.):
Tabellarische Geschichte der GHH, Augsburg.

Tabellarischer Lebenslauf Hans Heinrich Moll, Historisches Archiv der MAN
Augsburg (nach 1979): Tabellarischer Lebenslauf Hans Heinrich Moll, Augsburg.

Historisches Archiv der MAN Truck & Bus SE, München, Karlsfeld

Ordnungsnummer 2.0 Betriebskommissionen, Regal 8.2.2, 109. BK-Sitzung 22.4.1983
Renk Augsburg, Neipp, Gerhard (22.04.1983): Bericht aus der BKU
„Werkzeugmaschinen“. Vortrag am 22.4.1983 auf der 109. BK-Sitzung, Augsburg.

Ordnungsnummer 2.0 Betriebsorganisation, Regal 8.2.2, 105. BK-Sitzung 3.4.1981
MTU München, Fernau, Wolf-Dietrich (03.04.1981): 105. Betriebskommission-
Sitzung am 3.4.1981. Bericht über die BKU Ausbildungsleiter, München.

Ordnungsnummer 2.0, Regal 8.2.2, 100. BK-Sitzung, Meyer, Otto (um 1943/1978):
Vorwort zum 10-jährigen Jubiläum der Betriebskommission (Anlage 4), vermutlich
Augsburg.

Ordnungsnummer 2.0, Regal 8.2.2, 100. BK-Sitzung, Moll, Hans (Oktober 1978):
Vorwort zur hundertsten Sitzung der M.A.N.-Betriebskommission, Augsburg.

Hochschularchiv RWTH, Aachen

Akte 12100, RWTH Aachen, Dekan der Fakultät für Maschinenwesen (15.07.1967):
Laudatio anlässlich der Ehrenpromotion des Herrn Generaldirektor Hubert H. A.
Sternberg.

VVZ 1961, RWTH Aachen (1961): Personal- und Vorlesungsverzeichnis für das
Studienjahr 1961/62, Aachen.

VVZ 1966, RWTH Aachen (1966): Personal- und Vorlesungsverzeichnis für das
Wintersemester 1966/67, Aachen.

Landesarchiv Baden-Württemberg, Abt. Hauptstaatsarchiv Stuttgart

EA 6/003 Bü 3301, Wirtschaftstreuhand G.m.b.H. (Juni 1947): Wirtschaftstreuhand
G.m.b.H. Stuttgart. Über die Kalkulationsprüfung und Kostenuntersuchung bei der
Firma Gebr. Heller O.H.G. Maschinenfabrik Nürtingen, Stuttgart.

EA 6/006 Bü 416, Industriegruppe Metall (ca. 1946): Industriegruppe Metall, Gebr.
Heller Maschinenfabrik.

Mercedes-Benz Classic, Archive, Stuttgart

PRMIT16500, Daimler-Benz AG (12.03.1960): Statistische Unterlagen zu den Ausführungen anlässlich der Pressekonferenz zum Genfer Salon am 12.3.1960 von Herrn Professor Dr.-Ing. e.h. F. Nallinger, Vorstandsmitglied und Chef-Ingenieur der Daimler-Benz Aktiengesellschaft, Stuttgart, URL: <https://mercedes-benz-publicarchive.com/marsClassic/searchresult/searchresult.xhtml?searchString=Genfer+salon+1960&searchId=0&searchType=detailed&resultInfoTypeId=175&thumbScaleIndex=1&rowCountsIndex=5#prevId=40950742>, Stand: 13.02.2022.

Werk Ut. 14/3, Daimler-Benz AG, Werk Untertürkheim (1970): Jahresbericht 1970, Stuttgart.

Werk Ut. 14/4, Daimler-Benz AG, Werk Untertürkheim (1972): Jahresbericht 1972, Stuttgart.

Werk Ut. 14/4, Daimler-Benz AG, Werk Untertürkheim (1977): Jahresbericht 1977, Stuttgart.

Privatarchiv Eduard Spreitzer, Wehingen

Gruner, Wolfgang (o. J.): Lebenserinnerungen Wolfgang Gruner.

Privatarchiv Hans B. Kief, Michelstadt

Bildersammlung Masing Numeric, Dr. Masing & Co. KG (o. J.): Hüller Hübomat mit Masing Numeric Typ B 3/3-P, Erbach/Ludwigsburg.

Kief, Hans B. (01.10.2004): 30 Jahre NC-Gesellschaft.

Werbeblätter Masing Numeric im Einsatz, Dr. Masing & Co. KG (1964-1968?): Masing Numeric im Einsatz, Erbach.

Privatarchiv Jürgen Hertrumpf, Marloffstein

Siemens AG (Februar bis April 1982): Entwicklung und Fertigung numerischer Steuerungen für Werkzeugmaschinen bei Siemens – Historischer Überblick, Erlangen.

Privatarchiv Michael Geiger, Starnberg

DVD Fertigungssysteme Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberger Druckmaschinen AG (ca. 1979): Film: Fertigungssysteme im Werk Wiesloch der Heidelberger Druckmaschinen AG, Wiesloch.

Ludwigsburger Maschinenbau GmbH, Ludwigsburg (1972): Maschinenprospekt TC 11, TC 22, TC2-S0, TC 33, Ludwigsburg.

Ordner Burr Fotos, Ludwigsburger Maschinenbau GmbH, Ludwigsburg (um 1970): Burr Transfer-Center TC 1, Ludwigsburg.

Ordner Fotos Burr, 8382/1770, Ludwigsburger Maschinenbau GmbH, Ludwigsburg (o. J.): Burr Transfer-Center TC 22, Ludwigsburg.

Ordner Referate ab 1990, Geiger, Michael (September 1993): EMO-Informationsgespräch Produktbereich: Fräsen + Bohren Deckel Maho AG, München.

Privatarchiv Thomas Wissert, Stuttgart

Atek 1, Glantschnig, Friedrich (20.01.2022): Rede zur EMO 1989 in Hannover, Hannover.

Atek 2, Meister, Eddy (22.01.2022): Mitteilung: Atek NC-System AG.

AWK 1, Meurer, Markus (10.08.2020): Mitteilung: Teilnehmerzahlen AWK, Aachen.

Boehringer 1, Gebr. Boehringer GmbH (2002/2003): 1844–2001 Boehringer Geschichte, Göppingen.

Boehringer 2, Gebr. Boehringer GmbH (1962): Numerische Steuerung.

Gettys 1, Gettys Manufacturing Company, Inc. (9/1979): Gettys; Serving Industry Since 1959, Racine, Wisconsin/U.S.A.

HdA 1, Zettel, Claudio (06.10.2022): Projektliste Humanisierung des Arbeitslebens (HdA), Bonn.

Heidenhain 1, Braasch, Jan (01.06.2021): Mitteilung: Marktanteil optischer Messsysteme bei Werkzeugmaschinen, Traunreut.

Heller 1, Haußmann, Bernd (18.11.2019): Mitteilung: Belegschaftszahlen Heller zwischen 1945 und 1950, Nürtingen.

Hochschule Esslingen 1, Hahn, Wolfgang (18.03.2018): Mitteilung: NC-Technik an der Ingenieurschule/HS-Esslingen, Lehre, Laborübungen, Maschinen.

Indramat 1, Indramat GmbH (4/91): Indramat: Innovative Antriebe, Antrieb zur Innovation, Lohr am Main.

Indramat 2, Indramat GmbH (1983): Werbeschrift von Indramat über wartungsfreie Servoantriebe, Lohr a. Main.

Indramat 3, Indramat GmbH (22.06.1983): AC-Servo-Anbieter 1983.

Infratest 1, Infratest-Industria (1974): Der Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in der BRD einschließlich West-Berlin, München.

Remesta 1, Gera, Elvira (17.02.2020): Mitteilung: Anmeldung/Abmeldung der Remesta GmbH im Handelsregister, Heiningen.

Siemens 1, Kessler, Winfried (02.01.2018 und 04.01.2018): Mitteilung: Historie der 1FT-Motoren bei Siemens, Bad Neustadt.

Siemens 2, Dietz, Ferdinand (25.02.2018): Mitteilung: Reparaturservice Sinumerik und Kundenkurse, Stuttgart.

Siemens 3, Siemens AG (1967): Faltblatt Sinumerik 230, Erlangen.

Privatarchiv Werner Boehringer, Göppingen

Gebr. Boehringer GmbH (23.03.1971): Weiterentwicklung der adaptiven Steuerung für EWA 1971, Göppingen.

Gebr. Boehringer GmbH (9/1971): Adaptive Steuerung, Göppingen.

Oerlikon-Boehringer (6/1983): VDF-Autoprogrammer, Göppingen.

VDF (1967–1971): VDF-NC-Stelle und VDF-NC-Maschinen GmbH.

Robert Bosch GmbH, Unternehmensarchiv, Stuttgart

Nr. 681202, Robert Bosch GmbH (05.12.1968): Pressemitteilung Mehrheitsbeteiligung an Masing.

Nr. 721103, Robert Bosch GmbH (Ende 1972): Robert Bosch Industrieausrüstung GmbH gegründet.

Siemens Historical Institute, Berlin

SAA 22542.1, Siemens AG (06.08.1982): Stellungnahme für die Wirtschaftspresse: Zusammenarbeit Siemens-Fanuc, Erlangen.

SAA 22542.2, Fujitsu Limited/Siemens AG (01.07.1972): Siemens-Fujitsu Numerical Control Agreement dated February 22, 1972, Tokyo.

SAA 22542.2, Fujitsu Limited/Siemens AG (22.02.1972): Agreement between Fujitsu Limited, Kawasaki and Siemens Aktiengesellschaft Unternehmensbereich Energietechnik Erlangen, Kawasaki Japan, Erlangen Deutschland.

SAA 22542.2, Siemens AG/Fujitsu Fanuc Limited (11.06.1975): Basic Agreement between Siemens Aktiengesellschaft Berlin and München and Fujitsu Fanuc Limited Tokyo, Tokyo, Japan/Erlangen, Deutschland.

SAA 41.A 1, Siemens AG (1969-1970): Druckschrift 500.31/326 SINUMERIK 320, Erlangen.

SAA LS 473, Siemens AG (September 1965): Electrical Engineering Information 9th European Machine Tool Exhibition Brussels, Erlangen.

Stadtarchiv Ludwigsburg

SK 4.4.2, Burr (1958–1981): Burr, Ludwigsburg.

Stiftung Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, Berlin

1.2.060 AEG Telefunken, TB 1545, Boese, Peter/Götz, Elmar (22.09.1959/16.02.1961): Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen; Teil III: Eigene Vorschläge.

1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1282, Mohr (13.12.56): Vorüberlegungen für die Programmsteuerung von Werkzeugmaschinen nach Tonbänder und ähnlichen Speicheranordnungen, Berlin.

1.2.060 AEG-Telefunken TB 1439, Meyer, R. (04.03.1959): Voruntersuchung für eine einfache Werkzeugmaschinensteuerung.

1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1463, Boese, Peter/Götz, Elmar (07.09.1959): Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen; Teil I: Grundlagen.

1.2.060 AEG-Telefunken, TB 1570, Blaum (12.09.1961): Numerische Werkzeugmaschinensteuerungen auf der 7. Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung Brüssel 1961.

I.2.060 AEG-ZS 0284, AEG (1960): Walzenkalibriermaschine von Waldrich Siegen mit AEG-Bahnsteuerung, Berlin/Siegen.

I.2.060 FS 079-1-75-01, AEG (1960): Numerische AEG-Bahnsteuerung für Walzenkalibriermaschine von Waldrich Siegen, Berlin.

Universitätsarchiv der TU Berlin

Bestand 707 VV WS 1964 und SS 1965, Technische Universität Berlin (1964): Vorlesungsverzeichnis und Programm der Technischen Universität Berlin; Wintersemester 1964/65, Sommersemester 1965, Berlin.

Universitätsarchiv der TU Darmstadt

Zs-7424, Technische Hochschule Darmstadt (1958): Personal- und Vorlesungsverzeichnis 1958/59, Darmstadt.

Zs-7424, Technische Hochschule Darmstadt (1965): Personal- und Vorlesungsverzeichnis 1965/66, Darmstadt.

Universitätsarchiv Stuttgart

Bestand 127, Nr. 200, Rektor und Senat der Technischen Hochschule Stuttgart (24.07.1954): Ehrensenator Heller, Hermann, Stuttgart.

Bestand 127, Nr. 24, Kuhnert, Hans (1968?): Lebenslauf, Stuttgart.

Bestand 127, Nr. 24, Prof. Stute (23.11.1973): Laudatio zur Ehrenpromotion von Hans Kuhnert, Stuttgart.

Bestand 127, Nr. 66, Boehringer, Rolf (07.07.1958): Brief über die Verdienste von Hermann Heller an Prof. Dolezalek.

Bestand 127, Nr. 66, Rektor und Senat der Technischen Hochschule Stuttgart (30.01.1959): Verleihungsurkunde an Fabrikant Dipl. Ing. Hermann Heller: Die Akademische Würde Doktor-Ingenieur Ehren halber.

Bestand 27, Nr. 148, Lange, K. (Juli 1966a): Anhang zum Protokoll über die HGF-Tagung 1966 in Rottach-Egern: Bericht über die gemeinsame Sitzung der Herren des VDW und der HGF am 29.4.1966 im Hotel Bachmair in Rottach-Egern, Stuttgart.

Bestand 27, Nr. 148, Lange, K. (Juli 1966b): Protokoll über die 24. Tagung der Hochschulgruppe Fertigungstechnik im Hotel Bachmair, Rottach-Egern, am Donnerstag, dem 28., und Freitag, dem 29. April 1966, Stuttgart.

Bestand 27, Nr. 148, Lange, K. (Mai 1967): Anhang zum Protokoll über die HGF-Tagung in Bad Neuenahr: Bericht über die gemeinsame Sitzung der Herren des VDW und der HGF am 28. 4.1967 im Kurhotel Bad Neuenahr, Stuttgart.

Bestand 27, Nr. 148, Victor, H. (1968): Bericht über die gemeinsame Sitzung der Herren des VDW und der HGF am 10.4.1968 im Kurhotel Bad Pyrmont, Karlsruhe.

Bestand 27, Nr. 190b, Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (16.12.1971): Denkschrift NC-Maschineneinsatz; Statistiken, Frankfurt a. M.

Bestand 27, Nr. 190b, Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (19.07.1972): Steigerung der Produktivität durch Einsatz von NC-Maschinen, Frankfurt a. M.

Bestand 27, Nr. 190b, Warnecke, Hans-Jürgen (02.12.1971): Konzept für eine Schrift an Regierungsstellen zur Förderung des Einsatzes von NC-Werkzeugmaschinen, Stuttgart.

Bestand 27, Nr. 190b, Warnecke, Hans-Jürgen (04.11.1971): Vorschläge zur Auswertung des Berichtes des IFO-Institutes für Wirtschaftsforschung, München, über die Probleme des Einsatzes numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart.

Bestand 27, Nr. 196, VDI-Bildungswerk (1960): Lehrgang: Automatisierung der Fertigung vom 28. 11. bis 2. 12.1960.

Bestand 27, Nr. 196, VDI-Bildungswerk (1961): Lehrgang: Automatisierung der Fertigung vom 12. 6. bis 16. 6.1961.

Bestand 27, Nr. 203a, Dolezalek, C. M. (08.12.1966): Notiz für CMD zu Punkt 1 der Tagesordnung Obmänner-Sitzung Ausschuß Automatisierung, Stuttgart.

Bestand 27, Nr. 203a, Seulen (15.07.1966): Niederschrift über die Besprechung am 25.7. 1966 in Stuttgart beim IFA betreffend Ausschuß Automatisierung in der Fertigung.

Bestand 27, Nr. 244 b, ADB, Ausschuss Automatisierung in der Fertigung (26.10.1960): Bericht über die 4. Vollsitzung des Ausschusses Automatisierung in der Fertigung.

Bestand 65, Nr. 15, Lasche 902, Quack, R. (13.07.1962): Unterbringung neuer Lehrstühle; Empfehlung des Wissenschaftsrates, Stuttgart.

Bestand 65, Nr. 5, Lasche 907, Kultusministerium Baden-Württemberg (13.12.1966): Umbenennung von Lehrstühlen und Instituten der Fakultät Maschinenwesen an der Universität Stuttgart, Stuttgart.

Bestand 81, Nr. 1, Dolezalek, C. M. (13.08.1963): Lehrstuhl „Werkzeugmaschinen B“, Stuttgart.

Bestand 81, Nr. 1, Hess, H. (18.01.1965): Berufungsvorschlag für die Besetzung des Lehrstuhls Werkzeugmaschinen B, Stuttgart.

Bestand 81, Nr. 1, Technische Hochschule Stuttgart, Rektoramt (15.09.1965): Besetzung des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen B mit Herrn Prof. Dr. Gottfried Stute, Stuttgart.

Bestand 81, Nr. 1, Weise, A. (23.01.1963): Aufstellung des Entwurfs aus Staatshaushaltsplan 1964, Stuttgart.

Bestand 81, Nr. 1, Weise, A. (29.01.1963): Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen B; Antrag auf Bewilligung einer Stelle, Stuttgart.

Personal- und Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1956, Technische Hochschule Stuttgart (1956): Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1956, Stuttgart.

Personal- und Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1961, Technische Hochschule Stuttgart (1961): Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1961, Stuttgart.

Personal- und Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1967, Technische Hochschule Stuttgart (1967): Personal- und Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 1967, Stuttgart.

Personal- und Vorlesungsverzeichnis Wintersemester 1955/56, Technische Hochschule Stuttgart (1955): Personal- und Vorlesungsverzeichnis Wintersemester 1955/56, Stuttgart.

Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, Stuttgart

WABW A16, IHK Stuttgart (1924–2010): IHK Region Stuttgart.

WABW A16/2/102/20, Horak (29.03.1978): Antrag auf Gewährung eines Zuschusses. Hier: Beschaffung einer NC-gesteuerten Drehmaschine für Fortbildungszentrum-Gemeinschaftslehrwerkstatt Grunbach, Stuttgart.

WABW A16/2/102/20, IHK Stuttgart (22.02.1978): Vermerk A7863-7 von Breitmeier an Dr. Horak: Anschaffung einer NC-gesteuerten Drehmaschine für das IHK-Bildungszentrum in Grunbach.

WABW A16/2/102/20, IHK Stuttgart (23.02.1987): Vermerk von Breitmeier an Herrn Kistner: Maschinenausstattung Ausbildungszentrum Grunbach. Mit Anlage von Erne: CNC-Maschinen im Bildungszentrum Grunbach, Stuttgart.

WABW A16/2/102/20, Industrie- und Handelskammer Mittlerer Neckar/IHK-Fortbildungszentrum Grunbach (November 1979): Pressemitteilung zur Übergabe einer CNC-gesteuerten Drehmaschine am 23.11.79, Grunbach.

WABW A16/2/102/20, Landesarbeitsamt Baden-Württemberg (30.11.1978): Gewährung eines Zuschusses über 111500 DM für Universal-Drehmaschine in Grunbach.

WABW A16/2/102/20, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg (16.05.1978): Zuschuss bis zur Höhe von 73590 DM an den Beschaffungskosten einer NC-gesteuerten Drehmaschine.

WABW A16-2/102/100, IHK Stuttgart (23.11.1982): NC-Experten an einem Tisch, Stuttgart.

WABW A16-2/102/156, IHK Stuttgart (03.02.1982): Vermerk an Herrn Assessor Frädlich; Die Vermittlung von Lerninhalten, die numerisch gesteuerte Maschinen betreffen, an Berufsschulen.

WABW A16-2/102/20, Augustin (20.04.1976): Anschaffung einer NC-gesteuerten Werkzeugmaschine, Grunbach.

WABW V5, VDMA Landesverband Baden-Württemberg (o. J.): Bestand VDMA Landesverband Baden-Württemberg.

WABW Y022 Ordner Marktuntersuchung 1977–1979, Boley & Leinen (15.06.1979): Kurzmitteilung 76 vom 15.6.1979.

WABW Y022 Ordner Marktuntersuchung 1977–1979, Boley & Leinen (27.02.1978): Brief an Walter Roser vom 10. Mai 1978.

WABW Y022 Ordner Marktuntersuchung 1977–1979, Roser, Walter (27.02.1978): Brief an Boley & Leinen vom 27.2.1978.

WABW Y181-58, Hahn & Kolb (12.12.1967): Protokoll über die Filialleiter-Tagung im Stammhaus Stuttgart am 12.12.1967.

Interviews

Hinweis: Die Transkriptionen der autorisierten Interviews befinden sich als PDF-Dateien im Universitätsarchiv Stuttgart (Signatur SN113). Es fehlen die Interviews von Bey, Blum, Eitel, Opferkuch und Zick, da diese nicht uneingeschränkt freigegeben wurden.

Bader, Hans-Peter (2017). Interview am 15.2.2017 durch Thomas Wissert.

Bey, Ingward (2017). Interview am 15.3.2017 durch Thomas Wissert.

Blum, Udo (25.2. und 2016). Interview am 25.2. und 18.7.2016 durch Thomas Wissert.

Boehringer, Werner; Böhringer, Heinz (2015). Interview am 5.2.2015 durch Thomas Wissert.

Brödner, Peter (2016). Interview am 7.4.2016 durch Thomas Wissert.

Brömer, Günter; Gurtner, Dieter; Kremper, Dieter; Stark, Peter (2015). Interview am 25.5.2015 durch Thomas Wissert.

Eberhard, Dietmar (2017). Interview am 9.11.2017 durch Thomas Wissert.

Eitel, Helmut (2014). Interview am 23.2.2014 durch Thomas Wissert.

Erne, Hanspeter (2014). Interview am 13.6.2014 durch Thomas Wissert.

- Felten, Klaus (2015). Interview am 30.3.2015 durch Thomas Wissert.
- Geiger, Michael (2016). Interview am 24.11.2016 durch Thomas Wissert.
- Goebel, Rainer (2016). Interview am 13.2.2016 durch Thomas Wissert.
- Götz, Elmar (2017). Interview am 24.11.2017 durch Thomas Wissert.
- Kenn, Herbert (2017). Interview am 28.1.2017 durch Thomas Wissert.
- Kief, Hans B. (2012). Interview am 15.12.2012 durch Thomas Wissert.
- Kremper, Dieter (2012 und 2016). Interview am 11.6.2012 und 18.3.2016 durch Thomas Wissert.
- Meißner, Hans (2015). Interview am 27.4.2015 durch Thomas Wissert.
- Miller, Walter (2013 und 2016). Interview am 8.7.2013 und 5.4.2016 durch Thomas Wissert.
- Nann, Rainer (2014). Interview am 1.10.2014 durch Thomas Wissert.
- Opferkuch, Heinz (2012). Interview am 23.9.2012 durch Thomas Wissert.
- Politsch, Hans Werner (2016). Interview am 16.1.2016 durch Thomas Wissert.
- Rohde, Reiner (2016). Interview am 12.7.2016 durch Thomas Wissert.
- Rohs, Hans-Günther (2013 und 2016). Interview am 13.2.2013 und 18.1.2016 durch Thomas Wissert.
- Roßkopf, Max (2014). Interview am 29.10.2014 durch Thomas Wissert.
- Schmid, Dietmar (2016). Interview am 13.5.2016 durch Thomas Wissert.
- Stolz, Gerhard (2014). Interview am 19.11.2014 durch Thomas Wissert.
- Weck, Manfred (24.02. und 2015). Interview am 24.02. und 25.02. 2015 durch Thomas Wissert.
- Weinlich, Leopold (2016). Interview am 16.2.2016 durch Thomas Wissert.
- Winkler, Hans-Henning (2014). Interview am 6.11.2014 durch Thomas Wissert.
- Zick, Manfred (2015). Interview am 23.3.2015 durch Thomas Wissert.
- Zoller, Eberhard (2018). Interview am 10.4.2018 durch Thomas Wissert.

Publizierte Quellen

Gedruckte Quellen

Ackerknecht, B. (1964a): Grundlagen des manuellen Programmierens numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, in: VDI-Bildungswerk (Hrsg.): Lehrgangshandbuch Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Lehrgang in Darmstadt vom 25. bis 27. Mai 1964, Düsseldorf, S. BW 342 1–19.

Ackerknecht, B. (1964b): Vorbeugende Instandhaltung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, in: VDI-Bildungswerk GmbH (Hrsg.): Lehrgangshandbuch Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen. Einführung in Konstruktion und Anwendung. Lehrgang in Stuttgart vom 23. bis 26. Juni 1964, Düsseldorf, S. BW 373 1–7.

Adam, Wolfgang (1975): Elektronische Werkzeugmaschinen-Steuerungen und Antriebe, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 70. Jg., Nr. 12, S. 625–630.

AEG Aktiengesellschaft (Seligenstadt) (1964?): AEG Fabrik Seligenstadt, Seligenstadt.

American Machinist (1960a): Guide to Numerical Control at the 1960 Chicago Shows, in: American Machinist, 104. Jg., Nr. 17, S. 191–194.

American Machinist (1960b): Supplement to „Guide to Numerical Control at the 1960 Chicago Shows“, in: American Machinist, 104. Jg., Nr. 19, S. 111.

Appt, Dieter/Baisch, Roderich/Brömer, Günter (1973): Wegmessung und Wegregelung an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 47. Jg., Beiheft „Steuerungen und Antriebe zur Automatisierung der Werkzeugmaschine“, S. 12–16.

Asche, Stefan (2020): Automatische Kalibrierung, in: VDI Nachrichten, 74. Jg. 28.2.2020, S. 20.

Augustesen, Hans Chr. (1980): Die Messe der Messen: Emo in Mailand. Boehringer hat gut abgeschnitten, in: Boehringer Werk, Nr. 1, S. 3–5.

Backé u. a. (1968): Die Auslegung von Vorschubantrieben für NC-Maschinen, in: Industrie-Anzeiger, 90. Jg., Nr. 67, S. 1519–1527.

Baisch, Roderich (1977): Die Anpaßsteuerung bei der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, in: Werkstatt und Betrieb, 110. Jg., Nr. 2, S. 75–78.

Baisch, Roderich/Klinge, Rolf/Wiehn, Peter (1970): Numerische Steuerungen des Systems SINUMERIK 500, in: Siemens-Zeitschrift, 44. Jg., Beiheft „Numerische Steuerungen“, S. 3–10.

Basilowski, Herbert (1969): SINUMERIK 270 und 271, zwei numerische Steuerungen für Bohr-, und Fräsmaschinen, Bearbeitungszentren und Lehrenbohrwerke, in: Siemens-Zeitschrift, 43. Jg., Nr. 6, S. 494–498.

Basilowski, Herbert/Gatti, Helmuth/Janke, Wolfgang (1979): SINUMERIK Sprint 8M, eine handprogrammierbare numerische Steuerung für Bohr- und Fräsmaschinen, in: Siemens-Energietechnik, 1. Jg., Nr. 9, S. 332–337.

Basilowski, Herbert/Hoffmann, Klaus-Rüdiger (1975): SINUMERIK 550C, eine numerische Steuerung mit Geräterechner PR310, in: Siemens-Zeitschrift, 49. Jg., Nr. 6, S. 346–351.

Basilowski, Herbert/Wiehn, Peter (1967): SINUMERIK 261, eine numerische Punkt- und Streckensteuerung für Bohr- und Fräsmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 41. Jg., Nr. 9, S. 731–734.

Baum, M. u. a. (1971): Automatisierung in der Arbeitsvorbereitung, in: Industrie-Anzeiger, 93. Jg., Nr. 60, S. 1503–1512.

Bäumel, Kurt (1967): Über die Wirtschaftlichkeit von NC-Maschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 450–455.

Beauchair, Wilfried de (1961a): Befehlscode für lochstreifengesteuerte Werkzeugmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 94. Jg., Nr. 7, S. 478–482.

Beauchair, Wilfried de (1961b): Istmaß-Erfassen, Interpolieren und Repetieren bei numerischer Programmsteuerung von Werkzeugmaschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 55. Jg., Nr. 2, S. 72–78.

Becker, H., et al. (1977): Steuerungen im Zeichen der Mikroprozessortechnik, in: Werkstatt und Betrieb, 110. Jg., Nr. 12, S. 803–812.

Behrendt, Werner (1958a): Dreidimensionale numerische Programmsteuerung für Werkzeugmaschinen und ihre praktische Anwendung in den Vereinigten Staaten von Amerika, in: Werkstatt und Betrieb, 91. Jg., Nr. 5, S. 217–222.

Behrendt, Werner (1958b): Programmgesteuerte Großfräsmaschinen im Flugzeugbau der Vereinigten Staaten, in: VDI Nachrichten, Nr. 2. 18.1.1958, S. 3–4.

Behrens, Dieter u. a. (1979): Speicherprogrammierbares Automatisierungssystem SIMATIC S5, in: Siemens-Energietechnik, 1. Jg., Nr. 2, S. 42–47.

Bennett, S. (1984): Nicholas Minorsky and the automatic steering of ships, in: IEEE control systems magazine, 4. Jg., Nr. 4, S. 10–15.

Bennett, S. (1996): A Brief History of Automatic Control, in: IEEE control systems magazine, 16. Jg., Nr. 3, S. 17–25.

- Bey, Ingward (1975): Datenverarbeitung in flexiblen Fertigungssystemen, in: Werkstattstechnik, 65. Jg., Nr. 4, S. 213–216.
- Boese, Peter (1961): Programmierung einer numerischen Werkzeugmaschinensteuerung, in: AEG-Mitteilungen, 51. Jg., Nr. ½, S. 25–34.
- Boese, Peter u. a. (1968): Lösung von Rationalisierungsaufgaben im Konstruktionsbereich. Rationalisieren im Konstruktionsbereich, in: Industrie-Anzeiger, 90. Jg., Nr. 67, S. 1488–1501.
- Boese, Peter/Götz, Elmar/Horn, Günter (1965): Die äußere Datenverarbeitung bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, in: Regelungstechnik, 13. Jg., Nr. 3, S. 124–133.
- Bohle, R. u. a. (1965): Wirtschaftlichkeit beim Einsatz numerisch gesteuerter Maschinen, in: Industrie-Anzeiger, 87. Jg., Nr. 61, S. 1431–1440.
- Bönisch, Werner (1966a): Grundlagen der numerischen Steuerungstechnik Teil 1, in: Konstruktion, Elemente, Methoden (KEM), Nr. 8, S. 43–45.
- Bönisch, Werner (1966b): Grundlagen der numerischen Steuerungstechnik Teil 2, in: Konstruktion, Elemente, Methoden (KEM), Nr. 9, S. 56–58.
- Bosch, Bernd (1981): Neuartiges Bedienkonzept für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, in: VDI-Z, 123. Jg., Nr. 17, S. 688–690.
- Brankamp, Klaus u. a. (1971): Planung und Entwicklung neuer Produkte der Investitionsgüterindustrie, in: Industrie-Anzeiger, 93. Jg., Nr. 60, S. 1483–1491.
- Breisig, F. (1905): Bericht über die Ausstellung des Elektrotechnischen Vereins 1904, in: Elektrotechnische Zeitschrift, 26. Jg., S. 369–392.
- Bretschneider, Jochen (2008): Geometriefehler kompensieren. Achtung, Werkzeugmaschinen mit VCS können genauer sein!, in: MAV, Nr. 10, S. 68–73.
- Brödner, Peter/Hamke, Friedrich (1969): Automatisierung und Arbeitsplatzstrukturen. Bericht über Methoden und Ergebnisse von Untersuchungen in der Einzel- und Kleinserienfertigung, in: Veröffentlichungen des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, 2. Jg., Band 1,2 (Nachdruck), S. 180–194.
- Brödner, Peter/Hamke, Friedrich (1970): Automatisierung und Arbeitsplatzstrukturen. Bericht über eine Prognose der mutmaßlichen Entwicklung in der Einzel- und Kleinserienfertigung, in: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, 3. Jg., Nr. 2, S. 137–172.
- Budnik (1955): Neue numerische Steuerverfahren für Werkzeugmaschinen, in: Werkstattstechnik, 45. Jg., Nr. 6, S. 287–288.

Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH (2013): Zukunft aus Tradition. Festschrift zum 125-jährigen Bestehen der Burkhardt+Weber Fertigungssysteme GmbH, Reutlingen.

Copold, M. C. (1960): Shall we buy numerical control?, in: American Machinist (Hrsg.): Numerical control for metalworking manufacturing, New York, S. 128–129.

Cordes, Helmuth (1957): Das Wesen der Automatisierung und ihre Grenzen, in: BBC-Nachrichten, 39. Jg., Ausgabe Sept./ Oktober, S. 119–121.

Cordes, Helmuth (1961): Verfahren zur Einzelpunktsteuerung bei Werkzeugmaschinen, in: BBC-Nachrichten, 43. Jg., Ausgabe Oktober, S. 616–623.

Cordes, L./Rubin, M. (1967): Zur 10. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Hannover, in: BBC-Nachrichten, 49. Jg., Ausgabe September, S. 454.

Dautel, E. (1961): Die elektrische Ausrüstung von Transfermaschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 55. Jg., Nr. 8, S. 400–409.

Debler, H. (1970): Programmierung und Steuerung von NC-Maschinen, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 65. Jg., Nr. 10, S. 531–535.

DMG Mori AG (2021): Geschäftsbericht 2020, Bielefeld, URL: <https://de.dmgmori-ag.com/resource/blob/543308/4deb720c0db40a9fec76cecd10e24dac/dmgmori20d-data.pdf>, Stand: 11.11.2021.

Dobbert, Jürgen (1968): Das AEG-Numeric-System, in: AEG-Mitteilungen, 58. Jg., Nr. 7, S. 402–403.

Dolezalek, C. M. (1957): Automatisierung in der industriellen Fertigung, Berlin.

Dolezalek, C. M. (1967): Zum Jahreswechsel, in: Werkstattstechnik, 57. Jg., Nr. 1, S. 1.

Dolezalek, C. M./Mech, E. (1960): Einfluss der Automatisierung auf die Entwicklung der Werkzeugmaschinen-Industrie, in: VDI Nachrichten, 14. Jg. 7.9.1960, S. 1 und 4.

Dolezalek, C. M./Ropohl, G. (1970): Flexible Fertigungssysteme - die Zukunft der Fertigungstechnik, in: Werkstattstechnik, 60. Jg., Nr. 8, S. 446–451.

Dr. Johannes Heidenhain GmbH (2021a): Jahresabschluss Dr. Johannes Heidenhain Gesellschaft mit beschränkter Haftung. Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2019 bis zum 31.12.2019, in: Bundesanzeiger. 11.1.2021, URL: https://www.wiso-net.de/document/JABU_5172a969db9146b417c0ec6cdcddbf70711fe9d7, Stand: 27.11.2021.

Dunn, Alison (2008): The father of invention. Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC, in: Manufacturing Automation, Ausgabe 12.09.2008, S. 16–18.

Dürr, A. (1953): Elektro-hydraulische Steuerungen, in: RWTH Aachen (Hrsg.): Aufwand, Leistung und Wirtschaftlichkeit neuzeitlicher Werkzeugmaschinen. Vorträge und Diskussionen zum 6. Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 1953, Essen, S. 87–93.

Dürr, A./Dautel, E. (1954): Schwachstrom-Steuerungen an Werkzeugmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 87. Jg., Nr. 7, S. 357–364.

Dürr, Claudia (2017): Transparente Fertigung, in: Motion World, Nr. 1, S. 10–11.

Dürr, Claudia (2020): Sinumerik One im Shop floor – Was leistet die neue CNC?, in: Werkstatt+Betrieb, Nr. 10, S. 56–58, URL: https://www.wiso-net.de/document/WEBE_42a5049fa528ede6cf63ea34bdebbf11e7ce051b, Stand: 18.04.2020.

E. S. (1949): Der Werkzeugmaschinenbau in Deutschland, in: Neue Züricher Zeitung, Morgenausgabe Nr. 1294. 24.6.1949, S. a3.

Eberle, Manfred/Waibel, Gerhard (1964): Ein analog-absolutes Lagemeßsystem für die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 38. Jg., Nr. 9, S. 669–672.

Eich u. a. (1968): Konstruktive Gestaltung und Automatisierung der Werkzeugmaschine, in: Industrie-Anzeiger, 90. Jg., Nr. 67, S. 1508–1519.

Eisinger, J. (1973): Die NC-Fertigung und ihre Auswirkung auf die Konstruktion, in: Werkstattstechnik, 63. Jg., Nr. 3, S. 137–142.

Engelskirchen, Wilhelm-Hans u. a. (1968): Organisatorische Maßnahmen beim rechnergestützten Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, in: Industrie-Anzeiger, 90. Jg., Nr. 67, S. 72–80.

Eversheim, Walter u. a. (1975): Stand und Entwicklungstendenzen der NC-Technik, in: Werkstattstechnik, 65. Jg., Nr. 5, S. 281–287.

Faust, Werner (1961): Gesteuerte Silizium-Stromrichter, in: BBC-Nachrichten, 43. Jg., Ausgabe November/ Dezember, S. 670–674.

Feist, Werner (1958): Ein Beitrag zur Systematik der Elemente der Steuer- und Regelungstechnik von Werkzeugmaschinen, in: VDI-Z, 100. Jg., Nr. 33, S. 1559–1566.

Feist, Werner (1961): Rationalisierung durch numerische Steuerungen für Werkzeugmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 35. Jg., Nr. 8, S. 567–574.

- Figner, Dieter (1970): Vollautomatische Steuerung einer Grosswerkzeugmaschine durch zwei NC-Stetigbahn-Steuerungssysteme, in: Brown Boveri Mitteilungen, 57. Jg., S. 334–336.
- Fladée, H.-D. (1980): Einfach zu bedienende Steuerung, in: Werkstatt und Betrieb, 113. Jg., Nr. 2, S. 95–96.
- Fleck, H. G./Heinbach, O. (1967): Beispiele über den wirtschaftlichen Einsatz numerisch gesteuerter Koordinatenbohrmaschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 478–485.
- Freymann, Wolfgang/Hofmann, Viktor (1959): SIMATIC-Steuerungen an Werkzeugmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 33. Jg., Nr. 10, S. 622–623.
- Friedrichs, Günter/Simoneit, Ferdinand (1964): Sind 35 Stunden genug?, in: Der Spiegel, Nr. 14, S. 51–57, URL: <https://magazin.spiegel.de/EpubDelivery/spiegel/pdf/46173389>, Stand: 15.02.2020.
- Gast, K. H./Krause N./Wetzel F. (1979): Numerische Steuerung für mehrachsige Bohr- und Fräsmaschinen, in: Werkstattstechnik, 69. Jg., Nr. 8, S. 495–499.
- Gebr. Heller Maschinenfabrik (1969): Bearbeitungszentren (Anzeige), in: ingenieur digest, 8. Jg., Nr. 10, S. 107.
- Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH (2019): HELLER 125; 1894-2019. Wir sind HELLER seit 125 Jahren, Nürtingen.
- Gehrels, Jürgen/Waibel, Gerhard (1973): Anwendungsbereiche freiprogrammierbarer numerischer Steuerungen, in: Siemens-Zeitschrift, 47. Jg., Beiheft „Steuerungen und Antriebe zur Automatisierung der Werkzeugmaschine“, S. 61–65.
- Geiger, Michael/Lukas, Roger/Wolfbauer, Rudolf (1978): CNC mit Bildschirm für Universal-Werkzeugfräsmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 111. Jg., Nr. 9, S. 605–606.
- Gesamtmetall (2020): Zahlen 2020, in: Die Metall- und Elektro-Industrie in der Bundesrepublik Deutschland in Zahlen / Gesamtmetall, die Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie, S. 1–68.
- Gesamtverband der metallindustriellen Arbeitgeberverbände e.V. (1983): Eingruppierung von Bedientätigkeiten an numerisch gesteuerten Maschinen aufgrund der Tarifverträge für die Metallindustrie, Köln.
- Geser, F. u. a. (1977): Numerische Steuerungen, in: Werkstattstechnik, 67. Jg., Nr. 12, S. 762–764.

Geyer, Werner/Waller, Siegfried (1964): SINUMERIK, ein Steuerungssystem für die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 38. Jg., Nr. 9, S. 663–668.

Geyer, Werner/Waller, Siegfried (1966): SINUMERIK B, ein Bahnsteuerungssystem für Werkzeugmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 40. Jg., Nr. 2, S. 55–60.

Geyer, Werner/Waller, Siegfried (1970): Direktführung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen mit einem Fertigungsleitreehner, in: Siemens-Zeitschrift, 44. Jg., Nr. 5, S. 271–275.

Glantschnig, Friedrich (1957): Elektronische Servo-, Programm- und Positioniergeräte, in: Brown Boveri Mitteilungen, 44. Jg., Nr. 11, S. 488–496.

Glantschnig, Friedrich (1967): Ein neues Bausteinsystem für numerische Steuerungen in integrierter Schaltungstechnik, in: BBC-Nachrichten, 49. Jg., Ausgabe September, S. 455–460.

Glantschnig, Fritz (1971): Die strukturelle Gliederung der NC-Systeme von Brown Boveri, in: Brown Boveri Mitteilungen, 58. Jg., Nr. 8, S. 324–330.

Glantschnig, Fritz/Burkhardt, Mario (1969): Die Programmierung des Stetigbahnsteuerungssystems NC 810, in: Brown Boveri Mitteilungen, 57. Jg., Nr. 5, S. 216–237.

Goebel, H. u. a. (1971): Projektierung flexibler Fertigungssysteme, in: Industrie-Anzeiger, 93. Jg., Nr. 60, S. 1512–1521.

Gold, Johannes (1980): Unsere B1T-Steuerung ist Spitze, in: Boehringer Werk, Nr. 1, S. 6–7.

Gölitzer, E. (1968): Ein neues numerisch gesteuertes Fertigungssystem, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 62. Jg., Nr. 2, S. 78–82.

Goll, Helmut (1967): Rationelles und wirtschaftliches Hobeln mit numerisch gesteuerten Hobelmaschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 456–463.

Götz, Elmar (1961): Digital arbeitende Interpolatoren für numerische Bahnsteuerungen, in: AEG-Mitteilungen, 51. Jg., Nr. ½, S. 34–44.

Götz, Elmar (1970a): Die numerische Steuerung in den 70er Jahren, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 65. Jg., Nr. 8, S. 405–410.

Götz, Elmar (1970b): Numerische Steuerung – heute, in: Werkstattstechnik, 60. Jg., Nr. 8, S. 439–445.

- Götz, Elmar/Mühlenkamp, Jochen (1974): In numerische Steuerungen integrierte programmierbare Anpaßsteuerungen, in: Werkstattstechnik, 64. Jg., Nr. 11, S. 694–699.
- Gunsser, Otto (1974): Flexible NC-Fertigungssysteme als Mittel zur Rationalisierung, in: Werkstatt und Betrieb, 107. Jg., Nr. 8, S. 463–468.
- Gunsser, Otto (1978): Heller, Werkzeugmaschinen für die Welt, in: Der Arbeitgeber, 30. Jg., Nr. 21, S. 1005–1010.
- Hammer, Helmut (1979a): Technische, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte der Werkstattprogrammierung. Teil 1: Technische Voraussetzungen und Möglichkeiten, in: VDI-Z, 121. Jg., Nr. 10, S. 999–1008.
- Hammer, Helmut (1979b): Technische, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte der Werkstattprogrammierung. Teil 2, in: VDI-Z, 121. Jg., Nr. 11, S. 1095–1099.
- Hans, Joachim/Ditschler, Hans Jürgen/Rüsseler, Gerhard (1970): Numerisch gesteuertes Wälzstoßen, in: VDI-Z, 112. Jg., Nr. 17, S. 1155.
- Hansen, Hermann (Dezember 1976): Es geht nicht nur um Heidenreich. Bericht über eine Betriebsschließung [von den Vertrauensleuten der Fa. Heidenreich Harbeck], Hamburg.
- Hartwig, P. (1995): 30 Jahre Indramat in Lohr am Main. Bilanz von 30 Jahren erfolgreicher Geschäftstätigkeit, in: Mannesmann-Rexroth-Hauspost, Nr. 5, S. 3–9.
- Hecker, H. (1980): Betriebserfahrung beim Einsatz von NC-Maschinen. Verkettete NC-Maschinen – Flexible Fertigungssysteme, in: AWF/RKW/VDI (Hrsg.): NC-Technologie. Kongr.: NC-Technologie ; Böblingen, 11. bis 13. Jun. 1980, München, S. 1–31.
- Heidelberger Druckmaschinen AG (1971): Bilanz zum 31. Dezember 1970, in: Bundesanzeiger, Nr. 122. 8.7.1971, S. 18–19.
- Heilbronner, Friedrich (2000): Die Dynamomaschine von Werner Siemens. Die Geburtsstunde billiger elektrischer Energie, in: Trischler, Helmuth (Hrsg.): Meisterwerke aus dem Deutschen Museum III, München, S. 24–27.
- Hellwig, Friedrich W./Kremper, Dieter/Röhrle, Josef (1985): SINUMERIK 850 und 880, modulare Steuerungen für komplexe Werkzeugmaschinen, in: Energie & Automation/Produktinformation Automatisierungstechnik, 5. Jg., Nr. 2, S. 8–11.
- Herberich, Wolfgang (1961): Ortsmeßverfahren bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, in: BBC-Nachrichten, 43. Jg., Ausgabe September, S. 623–627.
- Herger, Horst (1961): Kopieren ohne Modell – Wegregelung bei Werkzeugmaschinen, in: BBC-Nachrichten, 43. Jg., Ausgabe Oktober, S. 627–635.

Herger, Horst/Ritscherle, Hans (1961): Dateneingabe und Datenverarbeitung bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, in: BBC-Nachrichten, 43. Jg., Ausgabe Oktober, S. 603–610.

Hesse, A. (1960): Werkzeugmaschinen-Ausstellung unter Lieferdruck. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 93. Jg., Nr. 12, S. 751–755.

Hipp, M. (1856): Technisch historische Mitteilungen über den dermaligen Stand des elektrischen Webstuhls, in: Polytechnisches Centralblatt; Serie 3 Neue Folge, Nr. 22, S. 1366–1378.

Hoffmann, Klaus (1990): Das Ende einer Serie, in: manager magazin, Nr. 3, S. 66–77, Stand: 07.06.2018.

Hoffmann, Klaus-Rüdiger/Kulka, Helmut (1969): SINUMERIK 520, eine numerische Steuerung für Drehmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 43. Jg., Nr. 6, S. 490–494.

Hoffmann, Klaus-Rüdiger/Richter, Günther (1973): SINUMERIK 520K für Drehmaschinen, in: Siemens-Zeitschrift, 47. Jg., Beiheft „Steuerungen und Antriebe zur Automatisierung der Werkzeugmaschine“, S. 8–11.

Honisch, Werner (1971): NC812 – eine optimierte Bahnsteuerung für Drehmaschinen, in: Brown Boveri Mitteilungen, 58. Jg., Nr. 8, S. 352–357.

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1972): Jahresbericht 1972, Stuttgart.

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1980): Jahresbericht 1980, Stuttgart.

Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (2014): Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Lampertheim.

ISW Stuttgart (1990): 25 Jahre ISW, Stuttgart.

Kagermann, Henning/Lukas, Wolf-Dieter/Wahlster, Wolfgang (2011): Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution, in: VDI Nachrichten, 65. Jg. 1.4.2011, S. 2.

Kasischke, Kuno (1967): Ein neuer Programmierplatz, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 527–531.

Kieß, Frank-Michael (2017): Zerspaner arbeiten am „Stecker“ für Industrie 4.0, in: MAV, Nr. 10, S. 18–20.

Kipf, Günter (1967): Sinnvoller Einsatz numerisch gesteuerter Fräsmaschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 486–489.

- Kirchner, E./Tölle, H. (1965): Numerische Steuerung an Werkzeugmaschinen, in: M.A.N. Werkzeugzeitung, Nr. 8/9, S. 4–8.
- Kirchner, Gerhard/May, Helmut (1985): SINUMERIK-System3, elektronisches Getriebe, in: Energie & Automation/Produktinformation Automatisierungstechnik, 5. Jg., Nr. 2, S. 20–21.
- Kleinenhagen, G. (1967): Die Programmierung numerisch gesteuerter Drehmaschinen, in: VDF Mitteilungen, 18. Jg., Nr. 30, S. 46–53.
- Klinge, Rolf/Waibel, Gerhard (1966): Antriebe für Bahnsteuerungen, in: Siemens-Zeitschrift, 40. Jg., Nr. 2, S. 67–72.
- Kneis, Peter/Nijhoff, Henk (1981): Positionierbaugruppe WF 625 zur schnellen Lageregelung mit Automatisierungsgeräten des Systems SIMATIC S5, in: Siemens-Energietechnik, 3. Jg., Nr. 8–9, S. 265–269.
- Krägeloh, Werner (1965): Die Werkzeugdurchmesser-Kompensation bei der numerischen Bahnsteuerung, in: VDI-Z, 107. Jg., Nr. 25, S. 1219–1226.
- Kreher, Peter-Jürgen (1981): Wir werden die Fähnisse meistern, in: Boehringer Werk, 31. Jg., Nr. ¾, S. 3.
- Lazarus, Roger B. u. a. (1978): Computing at LASL in the 1940s and 1950s, Springfield, Va.
- Ledergerber, Alfred (1971): Adaptive Control - Möglichkeiten zur optimalen Nutzung von Werkzeugmaschinen, in: Industrie-Anzeiger, 93. Jg., Nr. 60, S. 1530–1538.
- Lott, Heinz-Günter (1961): Lagemessung bei der Lageregelung mit digitalem Sollwert, in: AEG-Mitteilungen, 51. Jg., Nr. ½, S. 45–49.
- Ludwigsburger Kreiszeitung (1976): Am Donnerstag wird Konkurs über das Vermögen der Lumag eröffnet. Die Beschäftigten wurden gestern fristlos entlassen – Auftragsabwicklung bis Ende Juni, in: Ludwigsburger Kreiszeitung, Nr. 9. 13.1.1976, S. 3.
- MAN SE, München (2021): Geschäftsbericht 2020, München, URL: https://www.volkswagenag.com/presence/investorrelation/publications/annual-reports/2021/man/MAN_GB_2020.pdf, Stand: 11.12.2021.
- Maskow, J./Thomas, W. (1979): Auswirkungen des Einsatzes von NC-Maschinen, in: Angewandte Arbeitswissenschaft, Nr. 79, S. 3–16.
- Mathée, G. (1960): Neukonstruktionen und Verbesserungen bei Bohr-, Fräs-, Erodier- und Sondermaschinen, in: Werkstattstechnik, 50. Jg., Nr. 12, S. 666–689.
- Matthée, G. (1964): Rationalisierung des Drehens, in: Werkstattstechnik, 54. Jg., Nr. 11, S. 605–618.

- Mattheis, M./Wissert, Thomas (1983): Flexible Platzcodierung für bedienerarmes automatisiertes Fertigen mit NC-Maschinen, in: Werkstattstechnik, 73. Jg., Nr. 10, S. 651–654.
- Matthes, H./Schiffelmann, H. (1977): NC-Steuerungen für Werkzeugmaschinen, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 72. Jg., Nr. 12, S. 625–634.
- MAV (2000): Berndt Heller, Geschäftsführer Gebr. Heller, in: MAV, Nr. 8, URL: https://www.wiso-net.de/document/MAV__MAV200008011114272313291714212114271614281217101415, Stand: 25.10.2017.
- Mayer, Wolfgang (1993): Vollbesitz an der Grundig-Verwaltungsgesellschaft geplant. Philips stellt Weichen. Schritte zur Übernahme auch der Kapitalmehrheit „in Diskussion“, in: Nürnberger Nachrichten. 3.11.1993, URL: http://www.wiso-net.de/document/NN__9204B1B39FC80131C1256E4B003E4D95, Stand: 11.12.2021.
- Mergler, H. W. (1962): Numerical Control. Here is the Patent Situation, in: Control engineering, 9. Jg., Nr. 2, S. 100–103.
- Mezger, W. (1966): Numerik-Werkzeugmaschinen auf der 9. EWA in Brüssel 1965. Maschinen für die spanende Bearbeitung, in: Werkstattstechnik, 56. Jg., Nr. 3, S. 119–122.
- Minorsky, N. (1922): DIRECTIONAL STABILITY OF AUTOMATICALLY STEERED BODIES, in: Journal of the American Society for Naval Engineers, 34. Jg., Nr. 2, S. 280–309.
- Mitthof, F. (1961): Vier Jahre Gemeinschaftsarbeit im Ausschuß Automatisierung in der Fertigung, in: Werkstattstechnik, 51. Jg., Nr. 3, S. 114–118.
- Moeller, Hein (1938): Über Schaltgeräte für Werkzeugmaschinen, in: Klöckner-Post, Nr. 1, S. 2–14.
- Moll, Hans (1956): Erfahrungen beim Betrieb von Transferstraßen, in: Industrie-Anzeiger, Nr. 47/48, S. 689–693.
- Moll, Hans (1970): Ingenieur und Automatisierung, in: VDI, Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Fertigungstechnik im Umbruch. 50 Jahre ADB; Vorträge der VDI-Tagung Wiesbaden 1970, Düsseldorf, S. 28–33.
- Möller, Edmund (1978): Fortschritt für wen. Werkzeugmaschinen – die „neue“ Generation, in: Der Gewerkschafter, 26. Jg., Nr. 7, S. 7–9.
- Monden, Richard (1961a): Neue Perspektiven im Maschinenbau. Ein Rückblick über die Werkzeugmaschinenausstellung in Chicago 1960, in: Metall, 13. Jg., Nr. 4. 22.2.1961, S. 10.

- Monden, Richard (1961b): Ungelöste Probleme der Automation. Unsere amerikanischen Kollegen über die Folgen der 2. industriellen Revolution, in: Der Gewerkschafter, 9. Jg., Nr. 3, S. 23–24.
- Moser, Sebastian (2016): Wieder ein Rekordjahr. Viele Werkzeugmaschinenhersteller verbuchten 2015 das beste Ergebnis der Firmengeschichte, in: Produktion, Nr. 37, S. 16.
- Mühlenkamp, Jochen (1968): AEG-Numeric 331, in: AEG-Mitteilungen, 58. Jg., Nr. 7, S. 403.
- Müller, Peter (1985): Rechnerkopplung für SINUMERIK-Werkzeugmaschinensteuerungen, in: Energie & Automation, 7. Jg., Nr. 4, S. 290–292.
- Müller-Traut, Hans/Opferkuch, Heinz (1965): Generalisierter AUTOSPOT-Postprocessor für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, in: IBM Nachrichten, Nr. 173, S. 2728–2751.
- NC-Gesellschaft (2019): Auflösung NC-Gesellschaft, in: Süddeutsche Zeitung, Nr. 271. 23.11.2019, S. 26.
- Neubrand, Paul (1975): Flexibles Fertigungssystem für Getriebeteile, in: Werkstatt und Betrieb, 108. Jg., Nr. 8, S. 481–487.
- Nowak, Inge (2020): Weniger Innovationen aus dem Südwesten, in: Stuttgarter Zeitung, 75. Jg. 22.12.2020, S. 9.
- O. V. (1936): Zusammenstellung Januar-Dezember 1936. Statistik der Wirtschaftsgruppe Maschinenbau, in: Rückmeldung der Fachgruppe Werkzeugmaschinen (VDW) für den Monat ... : Statistik der Wirtschaftsgruppe Maschinenbau, Zusammenstellung Januar-Dezember 1936.
- O. V. (1944): Heller-Betriebsgemeinschaft: Sommersonnenwende 1944; 1894–1944, Nürtingen.
- O. V. (1955): 3-D CAMS BY NUMERICAL CONTROL: Bendix Aviation Cuts Cam Output Time 90%, in: American Machinist, 7. November 1955, S. 172–173.
- O. V. (1958): Großes Bundesverdienstkreuz für Hermann Heller, in: Nürtinger Zeitung, 1958. Jg. 23.4.1958, S. 6–7.
- O. V. (1959a): Ein Lochband steuert eine Bohr- und Fräsmaschine, in: Nürtinger Zeitung, 1959. Jg. 3.10.1959.
- O. V. (1959b): Hermann Heller Ehrendoktor der Technischen Hochschule Stuttgart. Schöpferische Ideen für die Konstruktion von Werkzeugmaschinen und die Entwicklung elektrischer und hydraulischer Steuerungen, in: Nürtinger Zeitung, Nr. 25. 31.1.1959, S. 9.

- O. V. (1960a): Eine Universelle Werkzeugmaschinensteuerung, in: Draht und Welle, 10. Jg., Nr. 6, S. 6.
- O. V. (1960b): Growth of Numerical Control traced by AM/MM articles, reports, and new-product descriptions, in: American Machinist, 8. August 1960, S. 106–107.
- O. V. (1961a): VDI 3259; Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Lochstreifen (punched tape) als Informationsträger, in: Werkstattstechnik, 51. Jg., Nr. 3, S. 126.
- O. V. (1961b): Walter Hitzinger, in: Der Spiegel, Nr. 49, URL: <https://www.spiegel.de/politik/walter-hitzinger-a-19994718-0002-0001-0000-000043367703>, Stand: 24.11.2021.
- O. V. (1963a): Antriebe für Werkzeugmaschinen, in: Brown Boveri Mitteilungen, 50. Jg., Nr. 4/5, S. 217–324.
- O. V. (1963b): „Slave“ Motors, in: The Panama canal review, 13. Jg., Nr. 12, S. 17.
- O. V. (1964a): Aus Unternehmungen, in: Die Zeit, Nr. 41. 9.10.1964, URL: <https://www.zeit.de/1964/41/aus-unternehmungen/komplettansicht?print>, Stand: 29.01.2021.
- O. V. (1964b): Günter Friedrichs, in: Der Spiegel, Nr. 14, S. 51, URL: <https://magazin.spiegel.de/EpubDelivery/spiegel/pdf/46173396>.
- O. V. (1964c): Maschinen-Steuerungen, in: Maschine und Werkzeug, 65. Jg., Nr. 27, S. 5–9.
- O. V. (1964d): Mitteilung 581 Lehrkörper, in: Mitteilungsblatt der Technischen Universität Berlin, Nr. 53, S. 1–2.
- O. V. (1965a): Mitteilung 632 Lehrkörper, in: Mitteilungsblatt der Technischen Universität Berlin, Nr. 58, S. 1–2.
- O. V. (1966): Mitteilung 659 Lehrstühle und Institute, in: Mitteilungsblatt der Technischen Universität Berlin, Nr. 60, S. 2.
- O. V. (1967a): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen auf der 10. EWA in Hannover, in: Industrie-Anzeiger, 89. Jg., Nr. 101, S. 2274–2286.
- O. V. (1968a): Aus der Gemeinschaftsarbeit. Tätigkeitsbericht 1967 der VDI-Fachgruppe Betriebstechnik. Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure (ADB), in: Werkstattstechnik, 58. Jg., Nr. 4, S. 185–190.
- O. V. (1968b): „Direct NC“ from a computer. Here is an example of something brand new – and far advanced – in numerical control: a centralized computer directs operation of several machine tools at once, in: American Machinist, 112. Jg., Nr. 7, S. 96–97.

- O. V. (1968c): Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen, in: Werkstattstechnik, 58. Jg., Nr. 11, S. 560.
- O. V. (1969): Ausbildungszentrum für Lehrlinge im Remstal. Die Gemeinschaftslehrwerkstatt unserer Kammer in Grunbach eröffnet, in: Industrie und Handelsblatt, Nr. 11, S. 422–423.
- O. V. (1970a): Numeric 331 fräst komplizierte Oberflächen, in: Konstruktion, Elemente, Methoden: KEM, VII, Nr. 10, S. 110.
- O. V. (1971a): Entwicklung der Rationalisierung und des RKW, in: Rationalisierung, 22. Jg., Nr. 5, S. 141–163.
- O. V. (1971b): Zusammenfassung und Ausblick, in: Industrie-Anzeiger, 93. Jg., Nr. 69, S. 1769–1771.
- O. V. (1974): In der Zange zwischen Kosten und Preisen. Die Geschäftsleitung: 120 Millionen Umsatz im Jahr 1974, in: Das Boehringer Werk, 24. Jg., Nr. ½, S. 26–28.
- O. V. (1975a): Erstes Laser-Schneidsystem in der Schweiz industriell eingesetzt, in: Laser + Elektro-Optik, 7. Jg., Nr. 1, S. 18.
- O. V. (1975b): Machine tool show arouses low interest, in: The Engineer, 120. Jg., Nr. 6224, S. 13.
- O. V. (1976a): Auflistung der laufenden Entwicklungsvorhaben im Projekt PDV, in: PDV-Mitteilungen, Nr. 1, S. 58–71.
- O. V. (1976b): GILDEMEISTER überträgt als erster Hersteller die Taschenrechner-Elektronik auf Drehmaschinen. (Anzeige), in: Bild der Wissenschaft, 13. Jg., Nr. 12, S. 101.
- O. V. (1976c): PDV-Mitteilungen 1/1976. Projekt Prozeßlenkung mit DV-Anlagen, Karlsruhe.
- O. V. (1977a): Die neue NC-Generation der Werkzeugmaschinensteuerungen. Interview mit Gerhard Lochmann, in: Siemens-Zeitschrift, 51. Jg., Nr. 8, S. 583–585.
- O. V. (1977b): NC-Frä- und -Bohrmaschinen Typenreihe E, in: Werkstatt und Betrieb, 110. Jg., Nr. 9, Titelblatt.
- O. V. (1979): CNC-Bahnsteuerung mit Handeingabe, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 74. Jg., Nr. 10, S. 486.
- O. V. (1980a): Altersstruktur des industriellen Werkzeugmaschinenparks in der Bundesrepublik Deutschland. Eine Untersuchung des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. (VDW), Frankfurt/Main.

- O. V. (1980b): Schwierige Märkte im In- und Ausland – aber im ganzen eine zuversichtliche Beurteilung, in: Boehringer Werk, Nr. 4, S. 6–8.
- O. V. (1981a): Neue Normen für die Informationsverarbeitung, in: Computerwoche, Nr. 18, URL: https://www.wiso-net.de/document/CW__ce3ad4f467cbf8d84aa1b50033b3e1b36cbf2d5b, Stand: 11.12.2021.
- O. V. (1981b): Traumquote von 103 Prozent – aber Hartfried Burr stellt Strafanträge. Banken weisen Vorwürfe zurück – Gläubigerausschuß ebenfalls – Strafanträge zurückgewiesen, in: Ludwigsburger Kreiszeitung, 1981. Jg., Nr. 49. 28.2.1981, S. 3–4.
- O. V. (1986a): Bundeskartellamt / Wettbewerb nicht beeinträchtigt. Fusion CGE/ITT genehmigt, in: Handelsblatt, Nr. 238. 11.12.1986, S. 16, URL: http://www.wiso-net.de/document/HB__128611047%7CHBPM__128611047, Stand: 11.06.2018.
- O. V. (1986b): EG sieht Abschottung der Konkurrenz im Markt. Bußgeldverfahren gegen Siemens und Fanuc, in: Computerwoche, Nr. 3, URL: https://www.wiso-net.de/document/CW__9E06B833B7049458DAD2F580CAE4DD47, Stand: 11.10.2017.
- O. V. (1986c): Grundig übernimmt Atek NC-Systems, in: Computerwoche, Nr. 45, URL: https://www.wiso-net.de/document/CW__213B1128BA87AF77057931736E97E812, Stand: 25.09.2017.
- O. V. (1987a): Siemens und das japanische Unternehmen Fanuc Ltd. teilen sich beim Vertrieb von CNC-Steuerungen, Industrierobotern und Anlagen zur automatischen Programmierung nicht mehr die Märkte, in: Computerwoche, Nr. 24, URL: https://www.wiso-net.de/document/CW__D1037271C7916622C1768850C043B512, Stand: 11.10.2017.
- O. V. (1987b): Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen Zerspanungsmechaniker, Zerspanungsmechanikerin. (Industrielle Metall-Ausbildungsverordnung – IndMetAusbV), Bielefeld.
- O. V. (1991): Knacker aus Metall. Mit dem Nachbau einer von Charles Babbage entworfenen, aber nie verwirklichten Rechenmaschine feiert England den 200. Geburtstag des Erfinders, in: Der Spiegel, Nr. 28, S. 188–189, URL: <http://magazin.spiegel.de/EpubDelivery/spiegel/pdf/13488503>, Stand: 21.10.2018.
- O. V. (1992): Grundig übernimmt Numeric von Philips., in: Handelsblatt, Nr. 247. 22.12.1992, S. 15, URL: http://www.wiso-net.de/document/HB__129222103%7CHBPM__129222103, Stand: 08.06.2018.

- O. V. (1993): Beteiligung bei Gildemeister, in: Markt & Technik, Nr. 8, S. 1, URL: http://www.wiso-net.de/document/MT_MT199300001114291418211816302316111418161821131422, Stand: 08.06.2018.
- O. V. (1995): Heckler & Koch. Hekoma verkauft., in: Handelsblatt, Nr. 80. 25.4.1995, S. 18, URL: https://www.wiso-net.de/document/HB_049525097%7CHBPM_049525097, Stand: 04.02.2022.
- O. V. (1996a): Grundig trennt sich von Numeric-Sparte, in: Börsen-Zeitung, Nr. 135. 17.7.1996, S. 6, URL: http://www.wiso-net.de/document/BOEZ_9980716, Stand: 08.06.2018.
- O. V. (1996b): TNC-eine Erfolgsstory. Heidenhain feiert 100 000 TNC-Steuerungen, in: Produktion, Sonderheft Juni 1996, S. 2–3.
- O. V. (2003): Konzern hofft auf das Interesse von Investoren. Die Grundig AG muss Insolvenz anmelden, in: Nürnberger Zeitung. 15.4.2003, S. 2–3, URL: http://www.wiso-net.de/document/NZ_D379304E1E69D190C1256E4F00331325, Stand: 12.12.2021.
- O. V. (2005): Die virtuelle Maschine mit 3D Simulation, in: MAV, Nr. 10, S. 46.
- O. V. (2009): Mission Possible, in: Fertigung, Nr. 6, S. 6–9.
- O. V. (2010a): Marktpotenzial früh erkannt. Hans B. Kief, Pionier der NC-Technik, Mitbegründer der europäischen NC-Gesellschaft (NCG) und Autor des NC/CNC-Handbuchs, sprach mit uns über 50 Jahre Sinumerik, in: Motion World, 9. Jg., Juli 2010, S. 6–8.
- O. V. (2010b): Revolution in der Fertigung. Mit der weltweit ersten industrietauglichen NC läutete Siemens vor einem halben Jahrhundert ein neues Zeitalter für Fertigungsbetriebe ein., in: Motion World, 9. Jg., Juli 2010, S. 3–5.
- O. V. (2014): Integriertes Messsystem ist so genau wie ein Glasmaßstab, in: Maschinenmarkt, Nr. 25, S. 54, URL: https://www.wiso-net.de/document/MAMA_2801640d1c68aebaeaa71a98448cbaad67e1a225, Stand: 12.12.2021.
- O. V. (2017a): Die Wiege des Maschinenbaus kehrt zurück in die Republik. Wirtschaftskrisen, Rüstungswettlauf, Wiedervereinigung, in: Werkstatt+Betrieb, 150. Jg., Jubiläumsausgabe, S. 114–132.

O. V. (2017b): Heller setzt Industrie 4.0 jetzt in die Praxis um. Mit einer umfassenden Strategie soll die Produktivität weiter erhöht werden, in: Produktion, Nr. 49–50, S. 24, URL: https://www.wiso-net.de/document/PROD_9369108a4fa89b5c5fba4bd44ef435e13f2b67f1, Stand: 12.12.2021.

O. V. (2019): Werkzeugmaschinen: Umati als Türöffner für Industrie 4.0, in: Maschinenmarkt, Nr. 20, S. 12, URL: https://www.wiso-net.de/document/MAMA_421910216af67f9223260f94680527ce7cff9098, Stand: 16.07.2021.

O. V. (2020a): Meilenstein für Plug and Play im Maschinenbau, in: Industrie-Anzeiger, Nr. 26, S. 12, URL: https://www.wiso-net.de/document/IA_a7fc289fd0398a1eee3e6ab8c48712a9724eaa38, Stand: 16.07.2021.

O. V. (2020b): Strukturdaten der Werkzeugmaschinenindustrie, in: Marktbericht ...: die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie und ihre Stellung im Weltmarkt, S. 57–62, URL: https://vdw.de/wp-content/uploads/2020/06/pub_vdw-marktbericht_2019_2020-06-25.pdf, Stand: 09.01.2021.

O. V. (2021a): Daimler-Aktionäre stimmen Aufspaltung zu, in: Handelsblatt, Nr. 191. 4.10.2021, S. 23, URL: https://www.wiso-net.de/document/HB_301C36B1-8AE3-4E33-AA3B-714DBE451909%7CHBPM_301C36B1-8AE3-4E33-AA3B-714DBE451909, Stand: 12.12.2021.

O. V. (2021b): MAN SE. Handelsregister-Bekanntmachung, in: Bundesanzeiger. 1.9.2021, URL: https://www.wiso-net.de/document/HRBA_69ce8a110b002a6784b27ca7b6a92943d4610682, Stand: 12.11.2021.

Opferkuch, Heinz (1963): Von der Programmtabelle zum Lochstreifen. Untersuchung über die Einsatzmöglichkeit verschiedener Büromaschinen bei der Programmierung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 96. Jg., Nr. 6, S. 357–366.

Opferkuch, Heinz (1964): Manuelles Programmieren einer Revolverbohr- und Fräsmaschine mit automatischem Werkzeugwechsler, in: VDI-Bildungswerk (Hrsg.): Lehrgangshandbuch Programmieren numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Lehrgang in Darmstadt vom 25. bis 27. Mai 1964, Düsseldorf, S. BW 344 1–7.

Pabst, Wolfgang (1961): Eine numerische Werkzeugmaschinensteuerung, in: AEG-Mitteilungen, 51. Jg., ½, S. 22–25.

- Pease, William M. (1951): An Automatic Machine Tool, in: Scientific American, 187. Jg., Nr. 9, S. 101–115.
- Petzold, Dieter (1961): Lochstreifenkode für numerische Werkzeugmaschinensteuerungen, in: AEG-Mitteilungen, 51. Jg., Nr. 5/6, S. 226–234.
- Piesch, Hansi (1939a): Begriff der allgemeinen Schaltungstechnik, in: Archiv für Elektrotechnik (Berlin), 33. Jg., Nr. 10, S. 672–686.
- Piesch, Hansi (1939b): Über die Vereinfachung von allgemeinen Schaltungen, in: Archiv für Elektrotechnik (Berlin), 33. Jg., Nr. 11, S. 733–746.
- Poerschke, Karl (1965): Numerische Steuerungssysteme für Werkzeugmaschinen, in: Regelungstechnik, 13. Jg., Nr. 3, S. 144–146.
- Politsch, Hans Werner (1961a): Leistungsschau der europäischen Werkzeugmaschinenindustrie. Bericht von der 7.Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Brüssel, in: Werkstatt und Betrieb, 94. Jg., Nr. 12, S. 873–893.
- Politsch, Hans Werner (1964): Anpassungs-und ausbaufähige Punktsteuerungen für Werkzeugmaschinen, in: BBC-Nachrichten, 46. Jg., Januar, S. 20–27.
- Polz, Andreas/Runde, Stefan (2017): Kern der Digitalisierung, in: Digital Engineering Magazin, Nr. 6, S. 16–17.
- Röhrle, Josef (1981): Meßkreis für SINUMERIK-Steuerungen, in: Siemens-Energietechnik, 3. Jg., Nr. 8–9, S. 262–265.
- Rohs, Hans-Günther (1964): Besonderheiten der Konstruktion von Werkzeugmaschinen mit numerischer Dateneingabe, in: VDI-Bildungswerk GmbH (Hrsg.): Lehrgangshandbuch Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen. Einführung in Konstruktion und Anwendung. Lehrgang in Stuttgart vom 23. bis 26. Juni 1964, Düsseldorf, S. BW 365 1–14.
- Rohs, Hans-Günther (1966a): Was sind numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen?, in: Das Boehringer Werk, 16. Jg., Nr. 9, S. 10–11.
- Rohs, Hans-Günther (1966b): Wie funktioniert eine numerische Steuerung? (Teil 1), in: Das Boehringer Werk, 16. Jg., Nr. 12, S. 10–13.
- Rohs, Hans-Günther (1967): Wie funktioniert eine numerische Steuerung? (Teil 2), in: Das Boehringer Werk, 17. Jg., Nr. 4, S. 6–8.
- Rohs, Hans-Günther (1969): Grundsätzliches zur Wirtschaftlichkeitsrechnung bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, in: Werkstattstechnik, 59. Jg., Nr. 10, S. 481–484.

- Rohs, Hans-Günther/Augustesen, Hans Chr. (1967): Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen in Deutschland – heute und morgen, in: Industrie-Anzeiger, 89. Jg., Nr. 73, S. 1594–1599.
- Rohs, Hans-Günther/Keck, P. (1967): Man muss immer vorne bleiben. Ein Rückblick auf die 10. Europäische Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Hannover, in: Das Boehringer Werk, 17. Jg., Nr. 11, S. 7–10.
- Ross, Douglas T. (1956): Gestalt Programming: A New Concept in Automatic Programming, in: Proceedings of the Western Joint Computer Conference, S. 5–10.
- Ross, Douglas T. (1960): Computer-aided Design: a Statement of Objectives, Cambridge.
- Ruppert, Judith (2017): Vernetzung auf allen Ebenen, in: Motion World, Nr. 1, S. 4–5.
- Russ, Olexa (2001): The Father of the Second Industrial Revolution, in: Manufacturing Engineering, 126. Jg., Nr. 8, S. 42–54.
- Schinze, Günter (1960): Das AEG-Steuerungssystem LOGISTAT, in: AEG-Mitteilungen, 50. Jg., Nr. ½, S. 76–83.
- Schirdewahn, Hartmut/Sollmann, Werner (1985): Kompaktsteuerung SINUMERIK 810, in: Energie & Automation/Produktinformation Automatisierungstechnik, 5. Jg., Nr. 2, S. 23–25.
- Schneiberg, Josef (1966): Mai 1966: Erste Weltausstellung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in London, in: Das Boehringer Werk, 16. Jg., Nr. 7/8, S. 8–13.
- Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (1966): Bilanz zum 31. Dezember 1965, in: Bundesanzeiger, Nr. 128. 14.7.1966, S. 27.
- Schopper, Helmut (1967): Wirtschaftlichkeitsfragen beim Einsatz numerisch gesteuerter Rundschleifmaschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 490–493.
- Schühly, Verena (2018): Einer der Väter des Computers, in: Südwest Presse. 5.4.2018, URL: https://www.wiso-net.de/document/SWP__767eb35227aa474ec9914a9c786121be62748b74, Stand: 12.12.2021.
- Schuler, H. (1967): Die Wirtschaftlichkeit numerisch gesteuerter Drehmaschinen, in: VDF Mitteilungen, 18. Jg., Nr. 30, S. 54–60.
- Schulz, Herbert/Eibeck, G. (1964): Neuere Entwicklungstendenzen im Werkzeugmaschinenbau. Werkzeugmaschine und numerische Steuerung verschmelzen immer mehr, in: Werkstatt und Betrieb, 97. Jg., Nr. 12, S. 886–946.

Shannon, Claude E. (1938): A Symbolic Analysis of Relay an Switching Circuits, in: Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 57. Jg., Nr. 12, S. 471–495.

Shaw, Milton C. (1956): Anforderungen an Werkzeugmaschinen der Zukunft, in: Industrie-Anzeiger, 78. Jg., Nr. 47/48, S. 676–680.

Siemens AG (1988): SINUMERIK 8MC. Katalog NC 12, Nürnberg.

Siemens AG (ca. 1974): Siemens 1973/74. Das Unternehmen, die Technik, die Mitarbeiter ; [Werbebroschüre], München.

Siemens AG (Hrsg.) (1973): Siemens-Zeitschrift, 47. Jg., Beiheft „Steuerungen und Antriebe zur Automatisierung der Werkzeugmaschine“.

Siemens AG (Mai 1980): SINUMERIK System 7, Bedienungsanleitung, Erlangen, URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/22268388/sinumerik-system-7-bedienungsanleitung?dti=0&lc=de-CH>, Stand: 19.02.2020.

Simon, Ernst Ludwig (1966): Numerische Steuerungen mit Dreifach-Inductosyn, in: BBC-Nachrichten, 48. Jg., Ausgabe April, S. 230–235.

Simon, Wilhelm (1957a): Einige Probleme numerischer Wegvorgaben an Werkzeugmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 90. Jg., Nr. 10, S. 721–726.

Simon, Wilhelm (1957b): Steuerungsprinzipien an Werkzeugmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 90. Jg., Nr. 11, S. 791–798.

Simon, Wilhelm (1959): Werkzeugmaschinensteuerungen. Theorie und Praxis einiger Weiterentwicklungen, in: Werkstatt und Betrieb, 92. Jg., Nr. 11, S. 793–803.

Simon, Wilhelm (1960a): Laboratoriumserfahrungen an einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, in: Maschinenmarkt/ Werkzeugmaschinenpraxis, 66. Jg., Nr. 53, S. 17–21.

Simon, Wilhelm (1961): Informationsträger und Programmschrift, in: Werkstattstechnik, 51. Jg., Nr. 3, S. 124–126.

Simon, Wilhelm (1964): Entwicklung und Anwendung numerischer Steuerungen in den USA. Technischer Stand 1963. Bericht einer RKW-Studiengruppe, in: Werkstattstechnik, 54. Jg., Nr. 5, S. 206–208.

Simon, Wilhelm/Boese, Peter (1967): Numerische Steuerung und internationale Normung, in: Werkstattstechnik, 57. Jg., Nr. 8, S. 375–378.

Simonis, F.W/Frères, H. (1956): Internationale Werkzeugmaschinenausstellung in London vom 22. Juni bis 6. Juli 1956, in: VDI-Z, 98. Jg., Nr. 24, S. 1493–1530.

Spaeth, Birgit (2008): Fabriken werden zu wandlungsfähigen Produkten. Das IFF bringt Unternehmensstrukturen und Produktionsprozesse in Bewegung, in: Transmitter: Magazin der Fakultäten des Stuttgarter Maschinenbaus, 5. Jg., Nr. 3, S. 16–19.

Specht, D./Haak, René (1995): Bedingungen technologischer Innovationen im deutschen Werkzeugmaschinenbau. Eine vergleichende branchen- und betriebsspezifische Untersuchung der Entwicklung von 1945 - 1990 Abschlussbericht im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms Wirtschaftliche Strukturveränderungen, Innovationen und regionaler Wandel nach 1945. Abschlussbericht im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms wirtschaftliche Strukturveränderungen, Innovationen und regionaler Wandel in Deutschland nach 1945, Berlin.

Spieß, Jürgen (2015): 50 Prozent Umsatzplus als Ziel. Burkhardt+Weber stellen die neue Multitasking-Baureihe MCT 900 vor, in: Reutlinger Nachrichten. 26.9.2015, S. 26, URL: https://www.wiso-net.de/document/RLNR__8300790, Stand: 23.07.2017.

Spur, Günter (1976): Entwicklungstendenzen von spanenden Werkzeugmaschinen, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 71. Jg., Nr. 3, S. 83–91.

Spur, Günter (1987a): Menschenleere Fabrik? Tendenzen der Entwicklung „Flexibler Fertigungssysteme“, in: Phil-Tech, Nr. 1, S. 6–12.

Spur, Günter/Specht, Dieter/Schröder, Sascha (1994): Case B: Die Numerische Steuerung (NC-Machine Tools), in: Albach, Horst (Hrsg.): Culture and Technical Innovation: A Cross-Cultural Analysis and Policy Recommendations, S. 621–735.

Steeger, Anton (1956): Automatisierung der Werkzeugmaschinen als Ziel der Fertigungstechnik, in: Industrie-Anzeiger, Nr. 47/48, S. 681–688.

Steeger, Anton (1958): Rückblick auf die Tagung „Automatisierung der Fertigung“, in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Automatisierung der Fertigung. Vorträge d. VDI-Tagung Stuttgart 1957, Düsseldorf, S. 5.

Stocker, William M. (1960): The ABC's of Numerical Control, in: American Machinist, 104. Jg., Nr. 8. August, S. 93–108.

Stocker, William M./Emerson, Charles D. (1954): NUMERICAL CONTROL, what it means to Metalworking, in: American Machinist, 98. Jg., Nr. 25. Oktober, S. 133–156.

Stocker, William M./Emerson, Charles D. (1960): NUMERICAL CONTROL, what it means to Metalworking, in: American Machinist (Hrsg.): Numerical control for metalworking manufacturing, New York, S. 21–44.

Stöckmann, Paul/Richter, G. (1968): Maschinelles Erstellen von Lochstreifen für NC-Drehmaschinen, in: Werkstatt und Betrieb, 101. Jg., Nr. 10, S. 577–584.

- Stof, P./Vogt, G. (1977): Elektrische und elektronische Ausrüstungen für Werkzeugmaschinen: Antriebe, in: Werkstattstechnik, 67. Jg., Nr. 12, S. 761–762.
- Storr, Alfred (1968): Das Bemaßen von Werkstücken für die numerisch gesteuerte Bearbeitung, in: Steuerungstechnik, 1. Jg., Nr. 3, S. 97–102.
- Storr, Alfred (1976): Stand der Arbeiten an flexiblen Fertigungssystemen im Sonderforschungsbereich 155 der Universität Stuttgart, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 70. Jg., Nr. 12, S. 394–398.
- Streiter, Axel (2008): Der Zauber der runden Zahl, in: DUZ: unabhängige deutsche Universitätszeitung, 64. Jg., Beilage „40 Jahre Sonderforschungsbereiche“, 19. September, S. 6–7.
- Stromberger, Carl (1957): Über die Automatisierung in der Fertigung, in: Werkstatt und Betrieb, 90. Jg., Nr. 8, S. 477–482.
- Stüben, Heinz (1961): Von der Werkstattzeichnung zum Lochstreifen, in: BBC-Nachrichten, 43. Jg., Ausgabe Oktober, 610-616.
- Stüben, Heinz/Thron, Walter (1967): Der Minertia-Motor als reaktionsschneller Antrieb für Werkzeugmaschinen, in: BBC-Nachrichten, Nr. September, S. 482–487.
- Studer, Friedrich/Waibel, Gerhard (1970): Nahtstellenprobleme beim direkten Führen numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen mit einem Prozeßrechner, in: Siemens-Zeitschrift, 44. Jg., Beiheft „Numerische Steuerungen“, S. 38–46.
- Stute, Gottfried (1961): Über das Positionieren an Werkzeugmaschinen, in: AEG-Mitteilungen, 51. Jg., Nr. ½, S. 18–21.
- Stute, Gottfried (1964): Datenverarbeitungsanlage für Werkzeugmaschinen, in: AEG-Mitteilungen, 54. Jg., Nr. 5/6, S. 373–376.
- Stute, Gottfried (1971a): Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Gleichstrommaschinen als Vorschubantriebe für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Heft 1, Stuttgart.
- Stute, Gottfried (1971b): Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Gleichstrommaschinen als Vorschubantriebe für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Heft 2. Entwicklung eines Gleichstromverstärkers zur Ansteuerung von Gleichstrommaschinen, Stuttgart.
- Stute, Gottfried (1974a): Flexible Fertigungssysteme, in: Werkstattstechnik, 64. Jg., Nr. 3, S. 147–156.
- Stute, Gottfried (1974b): Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Gleichstrommaschinen als Vorschubantriebe für numerisch gesteuerte

Werkzeugmaschinen, Heft 3 Teil 1 und 2. Kenndaten elektrischer Vorschubantriebe, Stuttgart.

Stute, Gottfried (1974c): Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Gleichstrommaschinen als Vorschubantriebe für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Heft 3 Teil 3. Kenndaten elektrischer Vorschubantriebe, Stuttgart.

Stute, Gottfried (1978): Prozessüberwachung in flexiblen Fertigungssystemen, Karlsruhe.

Stute, Gottfried/Bauer, Erich (1974): Steuerungssystem für ein flexibles Fertigungssystem, in: Werkstattstechnik, 64. Jg., Nr. 3, S. 157–160.

Stute, Gottfried/Victor, H. (1970): IHA 70 Hannover / The Machine Tool Show Chicago. Eindrücke, Tendenzen, Entwicklung, in: Werkstattstechnik, 60. Jg., Nr. 12, S. 688–689.

Trumpf GmbH + Co. KG (2021a): Geschäftsbericht 2020/21, Ditzingen, URL: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Corporate/Annual_report/Current/TRUMPF-Geschaeftsbericht-2020-2021.pdf, Stand: 11.11.2021.

Uhrmeister, Hans (1956): Tonbandsteuerungen für Werkzeugmaschinen, in: Industrie-Anzeiger, 78. Jg., Nr. 54, S. 786–788.

Uhrmeister, Hans (1958): Numerisches Einstellen und Steuern von Werkzeugmaschinen mit Hilfe von Lochkarte, Lochstreifen und Magnetband, in: Werkstattstechnik, 48. Jg., Nr. 2, S. 116–120.

Universität Stuttgart / Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (1976): Arbeiten und Aufgaben am ISW: Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen / ISW, Stuttgart.

Universitätsbibliothek TU Berlin, Abt. Hochschularchiv (1974): Hochschulnachrichten, Personalien, in: TUB; Zeitschrift der Technischen Universität Berlin, 6. Jg., S. 367–370.

Van Amstel, E. u. a. (1971): Prozeßrechnereinsatz zur Automatisierung der Fertigung, in: Industrie-Anzeiger, 93. Jg., Nr. 60, S. 1522–1530.

Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (2019a): Marktbericht 2018. Die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie und ihre Stellung im Weltmarkt, Frankfurt am Main.

Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (Hrsg.) (1970): Tagungsbroschüre / Internationaler Congress für Metallbearbeitung (ICM) vom 8. bis 11.9.1970, anlässlich der IHA 70 in Hannover, Frankfurt a.M.

Viersma, T. J. (1965): Der gegenwärtige Stand der Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in Europa, in: Regelungstechnik, 13. Jg., Nr. 3, S. 98–109.

Vorstand der IG Metall Deutschland (1977): Automation, in: Geschäftsbericht ...des Vorstandes der Industriegewerkschaft Metall für die Bundesrepublik Deutschland, Nr. 1974–1976, S. 546–563.

Waibel, Gerhard (1971): Fertigungsautomatisierung mit rechnergeführten Werkzeugmaschinen, in: die maschine, 25. Jg., Nr. 6, S. 29–31.

Warnecke, Hans-Jürgen (2000): Eine neue Informationsdimension, in: Werkstattstechnik, 90. Jg., Nr. 7/8, S. 273a.

Weber, Herbert (1971): Fachbereich Kybernetik – ein Berliner Modell, in: TUB: Zeitschrift der Technischen Universität Berlin, 3. Jg., S. 134–148.

Williamson, D.T.N. (1967a): Ein neues Fertigungsverfahren, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 428–439.

Williamson, D.T.N. (1967b): „NEW WAVE“ in manufacturing. Visualize a conveyor-linked line of specialized, multi-spindle, contouring NC machines with automatic toolchanging - controlled by an on-line computer, in: American Machinist, 111. Jg., Nr. 19, S. 143–154.

Williamson, D.T.N. (1968): Ein neues Fertigungsverfahren, Teil 2, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 62. Jg., Nr. 1, S. 39–43.

Winget, J. L. (1955): Precision Data Recording and Repeating System (Inductosyn), in: Ohne Herausgeber (Hrsg.): 1955 National Telemetry Conference. The complete papers presented at Chicago, Illinois, May 18 - 20, 1955, Chicago, S. 55–58.

Winhold, Horst (1962): Numerische Steuerung von Arbeitsvorgängen, in: SEL Nachrichten, 10. Jg., Nr. 1, S. 32–36.

Winhold, Horst (1967): Ortsmeßsysteme für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, in: BBC-Nachrichten, 49. Jg., Ausgabe September, S. 464–471.

Winkler, Helmut (1973): Elektrische und elektrohydraulische Schrittmotoren, in: Siemens-Zeitschrift, 47. Jg., Beiheft „Steuerungen und Antriebe zur Automatisierung der Werkzeugmaschine“, S. 36–40.

Woletz, Arnold (2016): Der Name Boehringer bleibt. Das riesige Areal der ehemaligen Firma Boehringer wird neu vermarktet. Den traditionsreichen Namen kann das Gebiet aber wohl behalten. Auch einige alte Fabrikhallen und Fassaden werden stehen

bleiben., in: Neue Württembergische Zeitung. 12.3.2016, S. 18, URL:
https://www.wiso-net.de/document/NWZ_8556119, Stand: 23.07.2017.

Wöpfkemeier, H. F./Möbius, H. G. (1967): Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit numerisch gesteuerter Revolverdrehmaschinen, in: TZ für praktische Metallbearbeitung, 61. Jg., Nr. 9, S. 468–477.

Zentrum Berlin für Zukunftsforschung (1968): Informationsbroschüre über das Zentrum Berlin für Zukunftsforschung e. V., Berlin.

Zeppelin, W. von (1979): CNC-Drehautomat mit integriertem Programmiersystem, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 74. Jg., Nr. 10, S. 475–481.

Zoller, Paul-Günther (1987): Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, in: Boehringer Werk, 37. Jg., Nr. 2, S. 2.

Handelsregister

Amtsgericht Göppingen (01.03.1968): Remesta GmbH, HRB 205.

Amtsgericht Rottweil (23.01.1992): Heckler & Koch Elektronik GmbH in Schramberg-Waldmössingen. Die Gesellschafterversammlung vom 16. Dezember 1991 hat die Änderung der Firma und die entsprechende Änderung des Gesellschaftsvertrags in § 1 beschlossen. Die Firma ist geändert in: BWO Elektronik GmbH., HRB 431.

Internetquellen

Allianz Industrie 4.0 Baden Württemberg (2018): INDEX Virtuelle Maschine, URL:
<http://www.i40-bw.de/de/100orte/index-werke-gmbh-co-kg-hahn-tessky/>, Stand: 20.04.2018.

Balluff GmbH (2018): Geschichte Balluff, URL:
<https://www.balluff.com/local/de/company/history/>, Stand: 15.04.2021.

Bosch Rexroth AG (2019a): Kugelgewindetriebe | Bosch Rexroth Deutschland, URL:
<https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/lineartechnik/gewindetriebe/kugelgewindetriebe>, Stand: 06.02.2019.

Bosch Rexroth AG (2019b): Zahnstangenantrieb für Kugelschienenführungen | Bosch Rexroth Deutschland, URL:
<https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/lineartechnik/linearführungen/zahnstangenantrieb-fur-kugelschienenführungen#>, Stand: 12.02.2022.

Bosch Rexroth AG (2022): Unsere Geschichte, URL:

<https://www.boschrexroth.com/de/de/unternehmen/unsere-geschichte/>, Stand: 13.02.2022.

Bundesagentur für Arbeit (2013): Entwicklung der Arbeitslosenquote in Deutschland – bezogen auf abhängige zivile Erwerbspersonen (in Prozent) –, URL:

http://www.pub.arbeitsagentur.de/hst/services/statistik/000000/html/start/gif/b_aloq_zr.shtml, Stand: 25.07.2013.

Callan Technology (2015): History of Callan Technology producers of DC Servo motors and Industrial Motors, URL:

http://www.callantechnology.com/about_callan_technology/company_history.html, Stand: 13.02.2022.

Coinnews Media Group LLC (2018): US Inflation Calculator, URL:

<https://www.usinflationcalculator.com/>, Stand: 02.09.2018.

Daimler AG (31.08.2011): Unternehmensgeschichte der Daimler AG – Kurzfassung –, URL: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/print/2061090->

[Unternehmensgeschichte-2010-kurz-ddoc.xhtml?oid=9252751&ls=L2RIL2luc3RhbmNlL2tvLnhodGlsP29pZD05OTE1ODAwJmJlbElkPTEwMDEmZnJvbU9pZD05OTE1ODAwJmJvcmlcnM9dHJ1ZSZyZXN1bHRJbmZvVHlwZUlkePTE3NSZ2aWV3VHlwZT10aHVtYnMmc29ydERlZmluaXRpb249bWFudWFsc29ydC0xJnRodW1iU2NhbGVJbmRleD0wJnJvd0NvdW50c0luZGV4PTU!&rs=0](http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/print/2061090-Unternehmensgeschichte-2010-kurz-ddoc.xhtml?oid=9252751&ls=L2RIL2luc3RhbmNlL2tvLnhodGlsP29pZD05OTE1ODAwJmJlbElkPTEwMDEmZnJvbU9pZD05OTE1ODAwJmJvcmlcnM9dHJ1ZSZyZXN1bHRJbmZvVHlwZUlkePTE3NSZ2aWV3VHlwZT10aHVtYnMmc29ydERlZmluaXRpb249bWFudWFsc29ydC0xJnRodW1iU2NhbGVJbmRleD0wJnJvd0NvdW50c0luZGV4PTU!&rs=0), Stand: 18.12.2021.

Dr. Johannes Heidenhain GmbH (2021b): Antriebsgeneration Gen 3 für Heidenhain-Steuerungen, URL:

https://www.heidenhain.de/fileadmin/pdf/de/01_Produnkte/Prospekte/PR_Antriebsgeneration_GEN3_OEM_ID1303180_de_01.pdf, Stand: 13.02.2022.

Dr. Johannes Heidenhain GmbH (2021c): CNC PILOT 640, URL:

<https://www.heidenhain.de/produkte/cnc-steuerungen/cnc-pilot-640>, Stand: 12.11.2021.

Duden (2021): Computer, URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Computer>, Stand: 04.09.2021.

Dusold, Julia (2021): Das sind die größten Werkzeugmaschinen-Hersteller Europas,

URL: <https://www.produktion.de/wirtschaft/das-sind-die-groessten-werkzeugmaschinen-hersteller-europas-387.html>, Stand: 29.01.2022.

Fanuc Corporation (2021): FANUC's History - About FANUC - FANUC

CORPORATION, URL: <https://www.fanuc.co.jp/en/profile/history/index.html>, Stand: 13.02.2022.

Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (2019): XVI. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium 2019, URL: <https://www.ptk2019.de/>, Stand: 22.01.2021.

Fujitsu Limited (2019): Company milestones(Chronological table), URL: <https://www.fujitsu.com/global/about/corporate/history/company-milestones/history.html#anc-01>, Stand: 13.02.2022.

GARP Bildungszentrum e. V. (2021): Das GARP Bildungszentrum, URL: <https://www.garp.de/dasbildungszentrum>, Stand: 13.02.2022.

GBI-Genios (2020a): E. Zoller GmbH, Pleidelsheim; Konzernabschluss 2018, URL: https://www.wiso-net.de/document/JABU_9b70213bd1a9be631e3e4f081e0d19f453a3ab76, Stand: 15.04.2021.

GBI-Genios (2020b): Kelch GmbH, Weinstadt; Jahresabschluss 2018, URL: https://www.wiso-net.de/document/JABU_3d036dd17c9057145e8b7d8a9ddc368a26464bd0, Stand: 15.04.2021.

Gebr. Heller Maschinenfabrik (2021): Automationslösungen von und mit HELLER – HELLER das Magazin, URL: <https://www.heller.biz/magazin/artikel/automationsloesungen-von-und-mit-heller/>, Stand: 29.09.2021.

Gleason Corporation (2019): Gleason-Pfauter Maschinenfabrik GmbH, Ludwigsburg., URL: <https://www.gleason.com/de/operations/gleason-pfauter-maschinenfabrik-gmbh-ludwigsburg-germany/this-is-our-story>, Stand: 13.02.2022.

Gruner AG (2020): Gruner – Über uns, URL: <https://www.gruner.de/ueber-uns>, Stand: 13.02.2022.

Industrie- und Handelskammer Köln (2019): Das Rheinisch-Westfälische Wirtschaftsarchiv (RWWA), URL: https://www.ihk-koeln.de/Rheinisch_Westfaelisches_Wirtschaftsarchiv.AxCMS, Stand: 14.08.2019.

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart (2021a): Institut, URL: <https://www.isw.uni-stuttgart.de/institut/>, Stand: 20.01.2021.

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart (2021b): Unsere Mitarbeiter, URL: <https://www.isw.uni-stuttgart.de/institut/team/>, Stand: 20.01.2021.

Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart (2017): Geschichte des IfW | Institut für Werkzeugmaschinen | Universität Stuttgart, URL: <http://www.ifw.uni-stuttgart.de/institut/historie/index.html>, Stand: 24.08.2017.

ISW und FISW (2020): Lageregelseminar 2021, URL: <https://www.lageregelseminar-stuttgart.de/>, Stand: 13.02.2022.

Kraftfahrtbundesamt (2022): Kraftfahrt-Bundesamt - Bestand - Bestand in den Jahren 1960 bis 2020 nach Fahrzeugklassen, URL: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/2021/b_fzkl_zeitreihen.html?nn=3524712&fromStatistic=3524712&yearFilter=2021&fromStatistic=3524712&yearFilter=2021, Stand: 13.02.2022.

KUKA Aktiengesellschaft (2020): Die KUKA Geschichte, URL: <https://www.kuka.com/de-de/unternehmen/%C3%BCber-kuka/geschichte>, Stand: 13.02.2022.

Lego System A/S, 7190 Billund, Dänemark (2018): Geschichte - Mindstorms Lego.com, URL: <https://www.lego.com/de-de/mindstorms/history>, Stand: 15.09.2018.

Leopold Weinlich (2013): 50 Jahre Weinlich, URL: <https://www.weinlich.de/pdf/jubi50.pdf>, Stand: 13.02.2022.

MAN SE, München (2019): Museen, historische Archive der MAN SE, URL: <http://www.corporate.man.eu/de/unternehmen/geschichte/museum/museum.html>, Stand: 25.07.2019.

MAN Truck & Bus SE, München (2020): Geschichte MAN Truck & Bus SE, URL: <https://www.mantruckandbus.com/de/unternehmen/geschichte.html>, Stand: 13.02.2022.

National Inventors Hall of Fame (1993): John T. Parsons, URL: <https://www.invent.org/inductees/john-t-parsons>, Stand: 13.02.2022.

R&D Steuerungstechnik GmbH & Co. KG (o. J.): Firmenprofil | R&D, URL: <http://rud.info/de/firmenprofil/>, Stand: 13.02.2022.

Robert Bosch GmbH (2020): Bosch in Deutschland, Erbach, URL: <https://www.bosch.de/unser-unternehmen/bosch-in-deutschland/erbach/>, Stand: 13.02.2022.

Sandvik Coromant (2016): Prometec GmbH wird Teil von Sandvik Coromant, URL: https://www.sandvik.coromant.com/de-de/news/press_releases/pages/prometec-gmbh-becomes-part-of-sandvik-coromant.aspx, Stand: 13.01.2020.

Sercos International e.V. (2021a): Mit Tradition und Innovation in die Zukunft; 25 Jahre Sercos International – 10 Jahre Sercos III: Ein Rückblick, URL:

<https://www.sercos.de/news-events/newsdetail/mit-tradition-und-innovation-in-die-zukunft/>, Stand: 13.02.2022.

Sercos International e.V. (2021b): Mitgliedschaft in der Sercos Nutzerorganisation, URL: <https://www.sercos.de/organisation/mitgliedschaft/>, Stand: 13.02.2022.

Siemens AG (1996): SINUMERIK 840C Lieferfreigabe Systemsoftware 5.4 – ID: 4216149 – Industry Support Siemens, URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/4216149/sinumerik-840c-lieferfreigabe-systemsoftware-5-4?dti=0&pnid=14575&lc=de-WW>, Stand: 16.09.2018.

Statista (2021): Absatz von Industrierobotern weltweit bis 2024 | Statista, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/29386/umfrage/weltweiter-absatz-fuer-industrie-roboter-seit-2004/>, Stand: 06.11.2021.

Statista GmbH (2022): Bruttoinlandsprodukt in Deutschland 1950-2021, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/4878/umfrage/bruttoinlandsprodukt-von-deutschland-seit-dem-jahr-1950/>, Stand: 13.02.2022.

Statistisches Bundesamt (2020): Privathaushalte nach Haushaltsgröße im Zeitvergleich, URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Tabellen/lrbev05.html>, Stand: 13.02.2022.

Statistisches Bundesamt (2021): Durchschnittliche Bruttomonatsverdienste, Zeitreihe, URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Verdienste/Verdienste-Verdienstunterschiede/Tabellen/liste-bruttomonatsverdienste.html>, Stand: 13.02.2022.

Trumpf GmbH + Co. KG (2021b): Die Vorteile unserer Stanz-Laser-Maschinen, URL: https://www.trumpf.com/de_DE/loesungen/vorteile-trumpf-maschinen/vorteile-stanz-laser-maschinen/, Stand: 13.02.2022.

VDMA (2021): Der VDMA, URL: <https://www.vdma.org/der-verband>, Stand: 13.02.2022.

Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (2019b): Leistungen für unsere Mitglieder, URL: <https://vdw.de/der-vdw/leistungen/>, Stand: 13.02.2022.

Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V. (EXAPT-Verein) (2020): Chronologischer Überblick; Kontinuität und Fortschritt, 50 Jahre EXAPT-Verein, URL: <https://www.exapt-verein.de/de/chronologischer-ueberblick>, Stand: 13.02.2022.

Vollmer Werke Maschinenfabrik GmbH (2020): VOLLMER – Ihr Schleifmaschinenhersteller für Schärfe und Präzision, URL: <https://www.vollmer-group.com/de/>, Stand: 13.02.2022.

Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (2017): Hydrokraft: Bestand Y274, URL: <https://wabw.uni-hohenheim.de/73197>, Stand: 11.02.2020.

Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg (2020): Willkommen beim Wirtschaftsarchiv Baden-Württemberg, URL: <https://wabw.uni-hohenheim.de/>, Stand: 13.03.2021.

Normen, Richtlinien

DIN 19239 (Entwurf):1979-01: Messen, Steuern, Regeln; Steuerungstechnik; Speicherprogrammierte Steuerungen, Programmierung, Beuth Verlag, Berlin, URL: <https://perinorm-s.redi-bw.de/perinorm/document.aspx?hitnr=0&q=AC:DE18101360>, Stand: 20.12.2021.

DIN 2080-1:2011-11: Steilkegelschäfte für Werkzeuge und Spannzeuge – Teil 1: Form A, Beuth Verlag, Berlin, URL: <http://perinorm-s.redi-bw.de/volltexte/CD21DE04/1814744/1814744.pdf?>, Stand: 20.12.2017.

DIN 66025-1:1972-02: Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 66215-2:1982-02: Programmierung numerisch gesteuerter Arbeitsmaschinen; CLDATA; Nebenteile des Satztyps 2000, Beuth Verlag, Berlin, URL: <https://perinorm-s.redi-bw.de/perinorm/document.aspx?hitnr=0&q=AC:DE18200220>, Stand: 19.12.2021.

DIN 69893-1:2011-04: Kegel-Hohlschäfte mit Plananlage – Teil 1: Kegel-Hohlschäfte Form A und Form C; Maße und Ausführung, Beuth Verlag, Berlin, URL: <http://perinorm-fr.redi-bw.de/volltexte/CD21DE04/1755468/1755468.pdf?>, Stand: 21.12.2017.

DIN ISO 7388-1:2014-7: Werkzeugschäfte mit Kegel 7/24 für automatischen Werkzeugwechsel – Teil 1: Maße und Bezeichnung von Schäften der Formen A, AD, AF, U, UD und UF (ISO 7388-1:2007), Beuth Verlag, Berlin, URL: <http://perinorm-s.redi-bw.de/volltexte/CD21DE05/2151878/2151878.pdf?>, Stand: 20.12.2017.

ISO 69831-1:2009-12: Automation systems and integration - Numerical control of machines - Program format and definitions of address words - Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems, Beuth Verlag, Berlin, URL: <https://perinorm-fr.redi-bw.de/perinorm/fulltext.aspx?fulltextid=2b6b7c6e196c4afe987574cd2912f4e4&userid=2a504bd1-203d-4196-b45d-d103bc26312f>, Stand: 15.12.2021.

VDI-Richtlinie 1000:2017-02: VDI Richtlinienarbeit. Grundsätze und Anleitungen, Beuth Verlag, Berlin.

VDI-Richtlinie 2814:1975-11: Werkzeugschäfte für automatischen Werkzeugwechsel, Beuth Verlag, Berlin.

VDI-Richtlinie 3424:1972-05: Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen; Direktsteuerung mit Hilfe von Digitalrechnern, Beuth Verlag, Berlin.

Patente

Glenn, Daniel: Ball-bearing screw-jack. 30.08.1898. Erfinder: Glenn, Daniel.

Anmeldedatum: 7.10.1897. USA, Patentschrift US610044A, URL:

<https://patents.google.com/patent/US610044A>, Stand: 14.04.2021.

Soc. An. des Etablissements Leon Hatot, Paris: Schaltungsanordnung für kollektorlose Motoren. 31.3.1960. Erfinder: Lavet, Marius/Dietsch, Jacques. Anmeldedatum:

13.9.1954. DE, Patentschrift DE10078678B, URL:

<https://patents.google.com/patent/DE1078678B/de?inventor=Lavet%2c+Marius&oq=Lavet%2c+Marius&page=1>, Stand: 13.12.2021.

Stevenson, H. M.: Lifting-jack. 29.03.1898. Erfinder: Stevenson, H. M.

Anmeldedatum: April 1897. USA, Patentschrift US601451, URL:

<https://patents.google.com/patent/US601451A/en?q=US601451>, Stand: 14.04.2021.

Literatur

Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (Hrsg.) (1965): Wege zur Kostensenkung in der Einzel und Serienfertigung. 12. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 1965, Essen.

Abelshauser, Werner (2011): Deutsche Wirtschaftsgeschichte. Von 1945 bis zur Gegenwart, 2. Aufl., München.

Abrams, Lynn (2010): Oral history theory, London, URL:

<http://hsozkult.geschichte.hu-berlin.de/rezensionen/2011-2-057>.

Adam, Wolfgang (1972): Numerische Steuerungen auf der 12. EWA in Mailand.

Bericht aus dem Institut für Werkzeugmaschinen an der Technischen Universität

Berlin, o. Prof. Dr. Ing. G. Spur, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 67. Jg., Nr. 1, S. 28–34.

Adam, Wolfgang (1973a): Informationsfluss in rechnergeführten Fertigungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der erforderlichen Systemelemente. Diss. Techn. Univ., Fachbereich 11 – Konstruktion u. Fertigung, Berlin.

Adam, Wolfgang (1973b): Internationale Werkzeugmaschinen-Ausstellung Hannover 1973: 13. Elektronische Werkzeugmaschinen-Steuerungen und Antriebe. Bericht aus

dem Institut für Werkzeugmaschinen an der Technischen Universität Berlin, o. Prof. Dr. Ing. G. Spur, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 68. Jg., Nr. 12, S. 676–685.

Agrawal, Krishna Chandra (2001): Industrial power engineering and applications handbook K.C. Agrawal, Boston.

Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (Hrsg.) (1956): 50 Jahre AEG, Berlin.

Andres, Christopher Magnus (1996): Die bundesdeutsche Luft- und Raumfahrtindustrie 1945 - 1970. Ein Industriebereich im Spannungsfeld von Politik, Wirtschaft und Militär, Frankfurt am Main/Berlin.

Appel, Jo/Dacol, Brigitte (Hrsg.) (1982): Gabler-Bürolexikon, Wiesbaden.

Aßmus, Manfred (1969): Numerische Steuerungen aus pneumatischen Bauelementen. Diss. RWTH Aachen, Aachen.

Attiyate, Yvonne H./Shah, Raymond R. (1992): Wörterbuch der Mikroelektronik und Mikrorechnertechnik mit Erläuterungen, Berlin, Heidelberg.

Babbage, Charles (1982): On the Mathematical Powers of the Calculating Engine, in: Randell, Brian (Hrsg.): The Origins of Digital Computers: Selected Papers, Berlin, Heidelberg, S. 19–54.

Bähr, Johannes/Banken, Ralf/Flemming, Thomas (2008): Die MAN. Eine deutsche Industriegeschichte, München.

Bartl, Rainer u. a. (2002): Fünfzig Jahre Verfahrensentwicklung. Vom Musterbau zur Produktions- und Werkstofftechnik Technologien für Aggregate und Komponenten, Stuttgart.

Bauer, Reinhold (2006): Gescheiterte Innovationen. Fehlschläge und technologischer Wandel, Frankfurt.

Bauert-Keetman, Ingrid (1966): Maschinen für die Welt. Schiess Aktiengesellschaft 1866–1966, Düsseldorf, Düsseldorf.

Beauchair, Wilfried de (2005): Rechnen mit Maschinen. Eine Bildergeschichte der Rechentechnik, Berlin/Heidelberg/New York.

Bechmann, Gotthard/Vahrenkamp, Richard/Wingert, Bernd (1979): Mechanisierung geistiger Arbeit. E. sozialwissenschaftl. Begleitunters. zum Rechnereinsatz in d. Konstruktion, Frankfurt/Main, New York.

Becker, Norbert (2004): Die Geschichte der Universität Stuttgart, in: Becker, Norbert (Hrsg.): Die Universität Stuttgart nach 1945. Geschichte Entwicklungen Persönlichkeiten, Ostfildern, S. 31–41.

- Behrendt, Werner K. (1982): Die frühen Jahre der NC-Technologie: 1954 bis 1963, in: Technische Rundschau, 82. Jg., Nr. 19, S. 19–21.
- Benad-Wagenhoff, Volker (1993): Industrieller Maschinenbau im 19. Jahrhundert, Stuttgart.
- Benad-Wagenhoff, Volker/Paulinyi, Akos/Ruby, Jürgen (1993): Die Entwicklung der Fertigungstechnik, in: Wengenroth, Ulrich (Hrsg.): Technik und Wirtschaft, Düsseldorf, S. 189–241.
- Benz, Wolfgang (1999): Pariser Verträge, in: Benz, Wolfgang (Hrsg.): Deutschland unter alliierter Besatzung 1945 - 1949/55. [ein Handbuch], Berlin, S. 361.
- Benz, Wolfgang (2009): Deutschland unter alliierter Besatzung 1945–1949, in: Benz, Wolfgang/Gebhardt, Bruno/Häfele, Rolf (Hrsg.): Deutschland unter alliierter Besatzung. 1945 - 1949, 10. Aufl., Stuttgart, S. 3–221.
- Benz, Wolfgang/Gebhardt, Bruno/Häfele, Rolf (Hrsg.) (2009): Deutschland unter alliierter Besatzung. 1945 - 1949, 10. Aufl., Stuttgart.
- Birk, Peter (1985): Lernen am Computer, in: Der Gewerkschafter, 33. Jg., Nr. 1, S. 27–28.
- Blum, Udo (1980): Produktions- und Fertigungstechnik unter dem Einfluß der Mikroelektronik, in: Industriegewerkschaft Metall (Hrsg.): Rationalisierung und Humanisierung der Arbeit. Arbeitstagung der Industriegewerkschaft Metall, 18./19. Oktober 1979, SulzbachTaunus, Frankfurt am Main, S. 43–52.
- Bode, Hendrik W. (1945): Network analysis and feedback amplifier design, New York.
- Booth, Alan (2007): The management of technical change. Automation in the UK and USA since 1950, Basingstoke.
- Böttger, Joachim (1993): Forschung für den Mittelstand. Die Geschichte der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) im wirtschaftspolitischen Kontext, Köln.
- Bradley, Ian (1972): A history of machine tools, Hemel Hempstead.
- Brecher, Christian u. a. (Hrsg.) (2017): Internet of Production für agile Unternehmen. AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2017, 18. bis 19. Mai, Aachen.
- Brenner, Otto (1963): Vorwort, in: Friedrichs, Günter (Hrsg.): Automation und technischer Fortschritt in Deutschland und den USA; Ausgew. Beitr. zu e. internationalen Arbeitstagung d. Industriegewerkschaft Metall für d. Bundesrepublik Deutschland (3. bis 5. Juli 1963 im Amerika Haus Frankfurt a.M.) Red.: Günter Friedrichs, Frankfurt am Main.

- Brewer, R. C. (1963): Die numerische Steuerung auf der 8. Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung, in: *ingenieur digest*, 2. Jg., Nr. 12, S. 27–38.
- Brödner, Peter (1985): *Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in d. Zukunft d. Fabrik*, Berlin.
- Bruderer, Herbert (2020): *Meilensteine der Rechentechnik*, 3. Aufl., Berlin/Boston.
- Brunner, Bernd (1978): *Flexibles Fertigungssystem für Zylinderköpfe*, Karlsruhe.
- Burkhardt, Arthur (1969): Geleitwort, in: Pentzlin, Kurt/Kienzle, Otto (Hrsg.): *Fertigungstechnische Automatisierung. 18 Beitr. aus Theorie u. Praxis*. Hrsg.: Kurt Pentzlin, Otto Kienzle, Berlin, Heidelberg usw., S. VII–XI.
- Buschhaus, Dieter (1982): *Die Werkzeugmaschinenberufe im Wandel der Technik. Auswirkungen numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen auf die Qualifikationsanforderungen*, Berlin.
- Buschmann, Mirko (2012): Ungleiche Systeme - Gemeinsame Pfade: Merkmale des Maschinenbaus im „Dritten Reich“, in der Bundesrepublik und in der DDR, in: Fraunholz, Uwe/Hänseroth, Thomas (Hrsg.): *Ungleiche Pfade? Innovationskulturen im deutsch-deutschen Vergleich*, Münster.
- Butz, Felix u. a. (2006): Maschinenelemente und -komponenten (ab 1940), in: Eversheim, Walter/Pfeifer, Tilo/Weck, Manfred (Hrsg.): *100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006; [Jubiläumsschrift]*, Berlin, S. 212–240.
- Childs, James J. (1965): *Principles of numerical control*, New York.
- Clark, Stephen C. (2008): History of Numerical Control at General Electric, in: Thomas, Richard A. (Hrsg.): *History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988*, Charlottesville, VA, S. 81–85.
- Clausnitzer, Ralf (1974): *Der Einsatz von NC-Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse einer Erhebung über Maschinenarten und -hersteller, Steuerungsarten und -hersteller, Werkstattorganisation und -personal, Programmierorganisation und -personal*, Stuttgart-Vaihingen.
- Czauderna, Karl-Hainz (1979): *Konrad Zuse, der Weg zu seinem Computer Z 3* Karl-Hainz Czauderna, München.
- Derenbach, Till (1974): *Die CNC-Steuerung. Ein Beitrag zum Einsatz frei programmierbarer Kleinrechner in numerischen Werkzeugmaschinensteuerungen*, Düsseldorf.

Diedrich, Torsten (1999): Entmilitarisierung, in: Benz, Wolfgang (Hrsg.): Deutschland unter alliierter Besatzung 1945 - 1949/55. [ein Handbuch], Berlin, S. 342–345.

Diekmann, Thomas/Klotz, Ulrich (1980): Veränderung der Organisation des Arbeitsablaufs bei Werkzeugmaschinen durch den Einsatz von Mikrocomputern, Bonn.

Dilling, H.-J. u. a. (1973): IHA '73-Spiegel gebremster Konjunktur. Bericht von der Internationalen Werkzeugmaschinen-Ausstellung Hannover, in: Werkstatt und Betrieb, 106. Jg., Nr. 12, S. 905–1005.

Dilling, H.-J. u. a. (1975): Ruhige Premiere der EMO. Numerisch gesteuerte Bohr- und Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren, in: Werkstatt und Betrieb, 108. Jg., Nr. 9, S. 587–594.

Dittmann, Frank (1993): Die Entwicklung der Technik elektrischer Antriebe in Deutschland von den Anfängen im 19. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Diss. TU Dresden, Dresden.

Dittmann, Frank (1998): Geschichte der elektrischen Antriebstechnik in Deutschland, in: Jäger, Kurt/Dittmann, Frank/Stölting, Hans-Dieter (Hrsg.): Alles bewegt sich. Beiträge zur Geschichte elektrischer Antriebe, Berlin, S. 7–126.

Dolezalek, C. M. (1961): Automatisierung der Fertigung. VDI-Lehrschau in Stuttgart, Düsseldorf.

Dolezalek, C. M. (1964): Das Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb und das Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, in: Dolezalek, C. M. (Hrsg.): Festschrift anlässlich der Schlüsselübergabe am 26. Juni 1964 für die drei Fertigungsinstitute der Technischen Hochschule Stuttgart, Stuttgart, S. 29–35.

Dolezalek, C. M. (1965/66): Umdruck für die Vorlesungen Automatisierung in der Fertigung I und Automatisierung in der Fertigung II, Stuttgart.

Dolezalek, C. M. (1968): Prinzipien der automatisierten Fertigung, in: VDI, Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Automatisierung in der industriellen Fertigung. Gemeinsame Probleme in verschiedenen Industriezweigen. Vorträge d. VDI-Tagung, Stuttgart 1967, Düsseldorf, S. 5–9.

Dolezalek, C. M. (1971): Fertigungssysteme, in: Tuffentsammer, Karl (Hrsg.): Fertigungstechnisches Kolloquium '70. Vorträge der Tagung Stuttgart 1970, Düsseldorf, S. 5–10.

Dr. Johannes Heidenhain GmbH (Hrsg.) (1998): Dr. Johannes Heidenhain – ein Unternehmer. Zum hundertsten Geburtstag Dr. Johannes Heidenhains herausgegeben von der Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut, Traunreut.

- Dresing, Thorsten/Pehl, Thorsten (Hrsg.) (2015): Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende, 6. Aufl., Marburg.
- Duelen, Gerard (1973): Steuerung von Werkzeugmaschinen mit Prozessrechnern. Diss. 1973. Berlin, Techn. Univ., Fachbereich 11 – Konstruktion u. Fertigung, Berlin.
- Dürr, Alfred (1949): Hydraulische Antriebe und Druckmittelsteuerungen an Werkzeugmaschinen, München.
- Ebert, Hans J./Kaiser, Johann B./Peters, Klaus (1992): Willy Messerschmitt – Pionier der Luftfahrt und des Leichtbaues. Eine Biographie, Bonn.
- Eckstein, F./Jung, P./Buttstädt, K.-H. (1967): Europäische Werkzeugmaschinen 1967. Bericht von der 10. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Hannover im September 1967, in: Werkstatt und Betrieb, 100. Jg., Nr. 12, S. 881–943.
- Egger, Michael (2013): Der kleine Oral History Ratgeber, Graz.
- Eidenmüller, Bodo (2002): Das Jahrhundert der Massenproduktion. Der Beitrag der Fertigungswirtschaft für die Entwicklung der Produktion in der Siemens AG, München.
- Eifert, Christiane (2009): Antisemit und Autokönig. Henry Fords Autobiographie und ihre deutsche Rezeption in den 1920er-Jahren, in: Zeithistorische Forschungen/Studies in Contemporary History, 6. Jg., Nr. 2, S. 209–229, URL: <https://dnb.info/1217250298/34>, Stand: 02.10.2022.
- Engelberger, Joseph F. (1985): Historical Perspective of Industrial Robots, in: Nof, Shimon Y. (Hrsg.): Handbook of industrial robotics, New York, S. 3–8.
- Engelskirchen, Wilhelm-Hans/Eversheim, Walter (2006): NC-Technik und Programmiersysteme (ab 1965), in: Eversheim, Walter/Pfeifer, Tilo/Weck, Manfred (Hrsg.): 100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006; [Jubiläumsschrift], Berlin, S. 351–360.
- Etzkowitz, Henry/Leydesdorff, Loet (1997): Universities in the Global Knowledge Economy, in: Etzkowitz, Henry/Leydesdorff, Loet (Hrsg.): Universities and the global knowledge economy. A triple helix of university-industry-government relations, London, S. 1–8.
- Eversdijk, Nicole/Lademacher, Horst (Hrsg.) (2001): Der europäische Nordwesten. Historische Prägungen und Beziehungen; ausgewählte Aufsätze, Münster.
- Eversheim, Walter/Pfeifer, Tilo/Weck, Manfred (Hrsg.) (2006): 100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006; [Jubiläumsschrift], Berlin.

- Fabian, Cornelia (2012): Technologieentwicklung im Spannungsfeld von Industrie, Wissenschaft und Staat. Diss., 2011. Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, TU Bergakademie Freiberg.
- Falk, S. (1965): Beispiele für den wirtschaftlichen Einsatz von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Automatisierung in der Fertigungstechnik. Wechselwirkungen zwischen Konstruktion u. Fertigung. Vorträge d. VDI-Tagung, Stuttgart 1964, Düsseldorf, S. 77–84.
- Feldenkirchen, Wilfried (2003): Die ersten 100 Jahre. (1883 - 1983), München.
- Feldenkirchen, Wilfried/Bartels, Almuth (1997): 150 Jahre Siemens. Das Unternehmen von 1847 bis 1997, München.
- Felten, Klaus (1977): Die Gestaltung von Fertigungssystemen zur Bearbeitung von Rotationsteilen. Diss. RWTH Aachen, Aachen.
- Fermer, Hugh (1995): Machine tools. A history 1540 - 1986, Amberley.
- Fisch, Jörg (1992): Reparationen nach dem Zweiten Weltkrieg, München.
- Folz, Franz Josef (1980): Über die Anfänge der Zerspanforschung, Düsseldorf.
- Ford, Henry (1922): My life and work, London.
- Freeman, Christopher (1987): Technology policy and economic performance. Lessons from Japan, London.
- Freeman, Christopher (1995): The „National System of Innovation“ in historical perspective, in: Cambridge Journal of Economics, 19. Jg., Nr. 1, S. 5–24.
- Friedrichs, Günter (1971): Computer und Angestellte. Beiträge zur dritten internationalen Arbeitstagung der Industriegewerkschaft Metall für die Bundesrepublik Deutschland über Rationalisierung Automatisierung und technischen Fortschritt 5. bis 8. März in Oberhausen, Frankfurt am Main.
- Friedrichs, Günter (Hrsg.) (1963): Automation und technischer Fortschritt in Deutschland und den USA; Ausgew. Beitr. zu e. internationalen Arbeitstagung d. Industriegewerkschaft Metall für d. Bundesrepublik Deutschland (3. bis 5. Juli 1963 im Amerika Haus Frankfurt a.M.) Red.: Günter Friedrichs, Frankfurt am Main.
- Friedrichs, Günter (Hrsg.) (1965): Automation; Risiko und Chance. Beiträge zur zweiten internationalen Arbeitstagung der Industriegewerkschaft Metall für die Bundesrepublik Deutschland über Rationalisierung, Automatisierung und technischen Fortschritt, 16. bis 19. März 1965 in Oberhausen, Frankfurt.
- FTK (1979): Schriftliche Fassung der Vorträge zum Fertigungstechnischen Kolloquium, Berlin/Heidelberg.

- Garski-Hoffmann, Petra/Tietzen, Reinhard (2011): Nürtingen 1918 - 1950. Weimarer Republik – Nationalsozialismus – Nachkriegszeit, Nürtingen/Frickenhäusen.
- Gather, Matthias (1977): Adaptive Grenzregelung für das Stirnfräsen. Leistungsregelung, Ratterbeseitigung, selbsttätige Schnittaufteilung. Diss. Techn. Hochsch., Fak. für Maschinenwesen, Aachen.
- Gautzsch, K. (1964): Die Anwendung des Lochstreifens im betrieblichen Bereich, in: Eicken, W. u. a. (Hrsg.): Der Lochstreifen in informationsverarbeitenden Systemen, Wiesbaden, S. 37–40.
- Gebhardt, Armin (1970): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen. Probleme ihres Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland; Gutachten erstellt im Auftrag des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken, München.
- Gebhardt, Armin/Hatzold, Ottfried (1978): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, in: Nabseth, Lars (Hrsg.): Neue Technologien in der Industrie. E. internat. Studie über d. Verbreitung von 8 Produktionsverfahren, Berlin, München, S. 26–68.
- Gebhardt, Armin/Hild, Reinhard (1969): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen. Hemmnisse und Förderung ihrer Verbreitung in der Bundesrepublik Deutschland; Gutachten erstellt im Auftrag des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken, München.
- Gebr. Heller Maschinenfabrik (ca. 1968): Heller. Gebr. Heller, Maschinenfabrik GmbH, Nürtingen, Nürtingen.
- Geer, Rudolf/Bartel, Gerhard (1984): Zur Neuordnung der industriellen Metallberufe, Köln.
- Gehrig, Astrid (1996): Nationalsozialistische Rüstungspolitik und unternehmerischer Entscheidungsspielraum. Vergleichende Fallstudien zur württembergischen Maschinenbauindustrie, München.
- Geppert, Alexander C.T. (1994): Forschungstechnik oder historische Disziplin? Methodische Probleme der Oral History, in: Geschichte in Wissenschaft und Unterricht, 45. Jg., S. 303–323.
- Gerke, P. R. (2013): Digitale Kommunikationsnetze: Prinzipien, Einrichtungen, Systeme.
- Gesellschaft für Fertigungstechnik/Fertigungstechnisches Kolloquium/FTK (2012): Schriftliche Fassung der Vorträge zum Fertigungstechnischen Kolloquium am 25. und 26. September in Stuttgart, Stuttgart.
- Geyer (1956): Werkzeugmaschinen, in: Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (Hrsg.): 50 Jahre AEG, Berlin, S. 329–330.

- Gläser, Jochen/Laudel, Grit (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen, 4. Aufl., Wiesbaden.
- Glunk, Fritz R. (1991): Ein Jahrhundert VDW. 1891–1991; Zeitgeschichte, Vereinsgeschichte, Werkzeugmaschinen-geschichte, München.
- Glunk, Fritz R./Weidemann, Dieter (1989): 100 Jahre Pittler. 1889–1989; ein Stück Werkzeugmaschinen-Geschichte, München.
- Goebel, H. (1965): Automatischer Werkzeugwechsel, Grundsätzliches und Beispiele, in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Automatisierung in der Fertigungstechnik. Wechselwirkungen zwischen Konstruktion u. Fertigung. Vorträge d. VDI-Tagung, Stuttgart 1964, Düsseldorf, S. 47–54.
- Gottl-Ottlilienfeld, Friedrich von (1926): Fordismus. Über Industrie u. techn. Vernunft, 3. Aufl., Jena.
- Gräßler, Iris (2004): Kundenindividuelle Massenproduktion. Entwicklung, Vorbereitung der Herstellung, Veränderungsmanagement, Berlin/Heidelberg.
- Groß, Hans/Stute, Gottfried (1981): Elektrische Vorschubantriebe für Werkzeugmaschinen, Berlin.
- Gross, R./Marx, A. (2014): Festkörperphysik, 2. Aufl.
- Grünert, Bernd (1975): Neuere Softwareentwicklungen bei CNC-Einheiten. Softwareanpassung, Fehlerdiagnose, Datenerfassung. Diss. RWTH Aachen, Aachen.
- Grupp, Hariolf (2006): Zur Entwicklung des deutschen Innovationssystems und seiner gegenwärtigen Wettbewerbsposition: Persistenz oder Paradigmenwechsel?, in: Reith, Reinhold/Pichler, Rupert/Dirninger, Christian (Hrsg.): Innovationskultur in historischer und ökonomischer Perspektive. Modelle, Indikatoren und regionale Entwicklungslinien, Innsbruck, S. 111–132.
- Grupp, Hariolf/Dominguez-Lacasa, Iciar/Friedrich-Nishio, Monika (2002): Das deutsche Innovationssystem seit der Reichsgründung. Indikatoren einer nationalen Wissenschafts- und Technikgeschichte in unterschiedlichen Regierungs- und Gebietsstrukturen; mit 11 Tabellen, Heidelberg, URL: <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz098114131cov.htm>.
- Gunsser, Otto (1965): Gesichtspunkte für die Auswahl automatisierter Fertigungsmittel, in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Automatisierung in der Fertigungstechnik. Wechselwirkungen zwischen Konstruktion u. Fertigung. Vorträge d. VDI-Tagung, Stuttgart 1964, Düsseldorf, S. 27–38.
- Haak, René (1997): Die Entwicklung des deutschen Werkzeugmaschinenbaus in der Zeit von 1930 bis 1960. Diss. Technische Universität, Berlin.

- Haas, Markus (1997): Spanende Metallbearbeitung in Deutschland während der Zwischenkriegszeit (1918–1939), Hamburg.
- Häberlein, Tobias (2011): Technische Informatik. Ein Tutorium der Maschinenprogrammierung und Rechnertechnik, Wiesbaden.
- Hachtmann, Rüdiger (2011): Fordismus, Version 1.0, in: Docupedia-Zeitgeschichte, Erstveröffentlichung 27.10.2011, URL: <http://dx.doi.org/10.14765/zzf.dok.2.280.v1>, Stand: 13.12.2021.
- Hachtmann, Rüdiger/Saldern, Adelheid von (2009): „Gesellschaft am Fließband“. Fordistische Produktion und Herrschaftspraxis in Deutschland, in: Zeithistorische Forschungen/Studies in Contemporary History, 6. Jg., Nr. 2, S. 186–208, URL: <https://d-nb.info/1217250301/34>, Stand: 06.01.2022.
- Haederle, Hermann (ca. 1938): 10 Jahre VDF /hrsg. von den Vereinigten Drehbank-Fabriken. [verantwortlich für Gesamtentwurf und Text: Hermann Haederle], Göppingen.
- Hahn, Rolf (2001): SIMATIC Erfolg mit System. Vom Transistor zur Totally Integrated Automation, Erlangen.
- Hahn und Tessky, INDEX-Werke K. G./Blum, Dieter (1989): 75 Jahre INDEX. 1914–1989, Esslingen am Neckar.
- Harmssen, Gustav Wilhelm (1948a): Reparationen, Sozialprodukt, Lebensstandard. Heft 1, Allgemeiner Teil, Bremen.
- Harmssen, Gustav Wilhelm (1948b): Reparationen, Sozialprodukt, Lebensstandard. Heft 2, Einzeldarstellungen Erster Teil, Bremen.
- Harmssen, Gustav Wilhelm (1948c): Reparationen, Sozialprodukt, Lebensstandard. Heft 3, Einzeldarstellungen Zweiter Teil, Bremen.
- Hartmann, Frank (2006): Globale Medienkultur. Technik, Geschichte, Theorien, Wien.
- Haurenherm, Franz (2012): Von der Hollerithmaschine zum Computer: IBM Datenverarbeitung in der Verwaltung, Hamburg.
- Häuser, Kurt (1984): Erste Anwendungen numerischer Steuerungen, in: Werkstatt und Betrieb, 117. Jg., Nr. 11, S. 719–721.
- Heisel, Uwe/Stehle, Thomas (2014): Bedeutung der Zerspantechnik, in: Heisel, Uwe u. a. (Hrsg.): Handbuch Spanen, 2. Aufl., München, S. 10–19.
- Hellmann, Kai-Uwe (2019): Der Konsum der Gesellschaft. Studien zur Soziologie des Konsums, 2. Aufl., Wiesbaden, Germany/[Heidelberg].

- Herbst, Ludolf (2016): Gab es ein nationalsozialistisches Wirtschaftssystem?, in: Ritschl, Albrecht (Hrsg.): Das Reichswirtschaftsministerium in der NS-Zeit. Wirtschaftsordnung und Verbrechenskomplex, Berlin/Boston, S. 611–644.
- Hermann-Traub-Maschinenfabrik (1988): 50 [Fünfzig] Jahre drehen / Traub, Reichenbach/Fils.
- Herold, Hans-Hermann/Maßberg, Wolfgang/Stute, Gottfried (1971): Die numerische Steuerung in der Fertigungstechnik, Düsseldorf.
- Hesse, S./Schnell, G. (2008): Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation: Funktion – Ausführung – Anwendung.
- Heßler, Martina (2012): Kulturgeschichte der Technik, Frankfurt am Main.
- Heßler, Martina/Thorade, Nora (2019): Die Vierteilung der Vergangenheit. Eine Kritik des Begriffs Industrie 4.0, in: Technikgeschichte, 86. Jg., Nr. 2, S. 153–170.
- Hinz, Horst (1976a): Elektronik revolutioniert den maschinenbau, in: Der Gewerkschafter, 24. Jg., Nr. 12, S. 34–35.
- Hinz, Horst (1976b): Werkzeugmaschinen unter technologiedruck, in: Der Gewerkschafter, 24. Jg., Nr. 11, S. 36–37.
- Hinz, Horst (1981): Unternehmensmanagement auf dem Prüfstand, in: Der Gewerkschafter, 29. Jg., Nr. 11, S. 42–43.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (1993): NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozess. Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik, Frankfurt, New York.
- Hoffmeister, Katrin (1999): Vereinigtes Wirtschaftsgebiet, in: Benz, Wolfgang (Hrsg.): Deutschland unter alliierter Besatzung 1945 - 1949/55. [ein Handbuch], Berlin, S. 311–314.
- Hofmann, Johann (2015): Industrie 4.0, in: Kief, Hans B./Roschiwal, Helmut A./Schwarz, Karsten (Hrsg.): CNC-Handbuch 2015/2016. CNC, DNC, CAD, CAM, FFS, SPS, RPD, LAN, CNC-Maschinen, CNC-Roboter, Antriebe, Energieeffizienz, Werkzeuge, Industrie 4.0, Fertigungstechnik, Richtlinien, Normen, Simulation, Fachwortverzeichnis, München, S. 675–685.
- Holmes, Lowell L. (2008): Numerical Control History, in: Thomas, Richard A. (Hrsg.): History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988, Charlottesville, VA, S. 5–22.
- Hormann, Dirk (1973): Betrieb rechnergesteuerter Fertigungssysteme. Diss. Aachen, Techn. Hochsch., Fak. für Maschinenwesen, Aachen.

- Hubmann, Hanns (2009): Die Anfänge der BRD. Bilder der Adenauerzeit, München.
- Hughes, Thomas P. (1986): The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera, in: Social Studies of Science, 16. Jg., Nr. 2, S. 281–292.
- Hyman, Anthony (1987): Charles Babbage, 1791–1871. Philosoph, Mathematiker, Computerpionier.
- Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (2013): 120 Jahre PTW. Leistung, Begeisterung, Innovationen, Darmstadt.
- Jäckle-Sönmez, Yvonne/Richter, Nikolaus/Schneider, Bernhard (1985): Technische Neuerungen und Qualifikation der Beschäftigten, Stuttgart.
- Jäger, Kurt/Dittmann, Frank/Stölting, Hans-Dieter (Hrsg.) (1998): Alles bewegt sich. Beiträge zur Geschichte elektrischer Antriebe, Berlin.
- Jahns, Christopher/Schöffler, Christine (2008): Logistik – von der Seidenstraße bis heute, Wiesbaden.
- Janzen, Karl-Heinz (1976): Der fortschritt darf nicht zu unseren lasten gehen, in: Der Gewerkschafter, 24. Jg., Nr. 5, S. 10–11.
- Janzen, Karl-Heinz (1983a): Vorwort, in: Janzen, Karl-Heinz (Hrsg.): Maschinen wollen sie – uns Menschen nicht. Rationalisierung in der Metallwirtschaft; eine Bestandsaufnahme des Vorstandes der Industriegewerkschaft Metall, Abteilung Automation und Technologie, Düsseldorf, S. 5.
- Janzen, Karl-Heinz (Hrsg.) (1983b): Maschinen wollen sie – uns Menschen nicht. Rationalisierung in der Metallwirtschaft; eine Bestandsaufnahme des Vorstandes der Industriegewerkschaft Metall, Abteilung Automation und Technologie, Düsseldorf.
- Jüstel, Klaus (1962): Über Aufbau und Betriebssicherheit numerischer Punktsteuerungen. Diss. RWTH Aachen, Aachen.
- Kaebnick, H. (1970): Rückblick auf die IHA 70; Internationale Werkzeugmaschinen-Ausstellung Hannover; 1. Einführung, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 65. Jg., Nr. 10, S. 513–514.
- Kaiser, Walter/König, Wolfgang (Hrsg.) (2006): Geschichte des Ingenieurs. Ein Beruf in sechs Jahrtausenden, München/Wien.
- Kappel, Fritz (1966): 75 Jahre VDW. 1891 – 1966, Frankfurt am Main.
- Keck, Otto (1993): The National System for Technical Innovation in Germany, in: Nelson, Richard R. (Hrsg.): National innovation systems. A comparative analysis, New York, NY, S. 115–157.

Kellner, Peter (1971): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen und ihre derzeitigen Anwendungsgebiete im Hinblick auf ihre technischen Eigenarten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Diss. 1971. Techn. Univ., Fachbereich f. Wirtschaftswiss., Berlin.

Keppeler, M./Swoboda, W. (1980): Bericht über die 3. EMO in Mailand 1979, Zweiter Teil: Elektrische und elektronische Ausrüstungen, in: Werkstattstechnik, 70. Jg., Nr. 2, S. 150–151.

Kern, Horst/Schumann, Michael (1984): Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in d. industriellen Produktion: Bestandsaufnahme, Trendbestimmung, München.

Kernforschungszentrum (1980): Realisierung eines modularen, flexiblen Fertigungssystems mit automatischer Informationsverarbeitung, Karlsruhe.

Kersten, Manfred/Schmid, Walter (1999): Heckler & Koch. HK; die offizielle Geschichte der Oberndorfer Firma Heckler & Koch; Einblicke in die Historie, Beschreibung der Waffenmodelle, Darstellung der Technik, Wuppertal.

Kief, Hans B./Roschiwal, Helmut A./Schwarz, Karsten (Hrsg.) (2020): CNC-Handbuch. CNC, DNC, CAD, CAM, FFS, SPS, RPD, LAN, CNC-Maschinen, CNC-Roboter, Antriebe, Energieeffizienz, Werkzeuge, Industrie 4.0, Fertigungstechnik, Richtlinien, Normen, Simulation, Fachwortverzeichnis Fachwortverzeichnis, 31. Aufl., München.

Kienzle, Herbert (1913): Arbeitsweise der selbsttätigen Drehbänke. Kritik und Versuche, Berlin, Heidelberg.

Kiesow, Julia (2015): Wirtschaftskrisen in Deutschland. Zugl.: Gießen, Univ., Diss., 2014. Springer VS, Wiesbaden.

Kleinöder, Nina/Müller, Stefan/Uhl, Karsten (2019): Die Humanisierung des Arbeitslebens. Einführung und methodische Überlegungen, in: Kleinöder, Nina (Hrsg.): »Humanisierung der Arbeit«. Aufbrüche und Konflikte in der rationalisierten Arbeitswelt des 20. Jahrhunderts, Bielefeld, S. 9–32.

Klingebiel, Jürgen (2007): Drehmaschinensteuerungen bei Max Müller, Gildemeister Max Müller und Gildemeister Automation, in: Denkena, Berend (Hrsg.): Werkzeugmaschinenbau in Hannover II, Garbsen.

Kluft, Werner (1983): Werkzeugüberwachungssysteme für die Drehbearbeitung. Diss. RWTH Aachen, Aachen.

Kohring, Günter (1966): Grundlagen und Praxis numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, München.

- Kollmer-von Oheimb-Loup, Gert (1985): Gebr. Boehringer GmbH, Maschinenfabrik - Eisengießerei, Göppingen. 1900 - 1979, Stuttgart.
- Kollmer-von Oheimb-Loup, Gert (Hrsg.) (2005): Die Bestände des Wirtschaftsarchivs Baden-Württemberg. Unternehmen, Industrie- und Handelskammern, Handwerkskammern, Verbände, Vereine, Nachlässe, Ostfildern.
- Kompe, Cornelia (2006a): Die dritte Generation im WZL: Walter Eversheim, Wilfried König, Tilo Pfeifer und Manfred Weck (1973–2002/3/4), in: Eversheim, Walter/Pfeifer, Tilo/Weck, Manfred (Hrsg.): 100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006; [Jubiläumsschrift], Berlin, S. 89–145.
- Kompe, Cornelia (2006b): Die zweite Generation im WZL: Herwart Opitz (1936–1973), in: Eversheim, Walter/Pfeifer, Tilo/Weck, Manfred (Hrsg.): 100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006; [Jubiläumsschrift], Berlin, S. 37–87.
- Koop, Andreas (2010): MAHO. Eine Firmenchronik; [1920–1995], München.
- Koschnick, Georg/Meyer, Bernhard Ernst/Rohs, Hans-Günther (1977): Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, Grafenau/Württ.
- Krause, Gisela M. (2006): Archiv der sozialen Demokratie der Friedrich-Ebert-Stiftung Bestandsübersicht, Bonn.
- Kronenberg, M. (1956): Das Wichtigste von der amerikanischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Chicago 1955, in: Werkstattstechnik, 46. Jg., Nr. 3, S. 97–116.
- Kronenberg, M. (1961): Die amerikanische Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Chicago 1960. Teil 1, in: Werkstatt und Betrieb, 94. Jg., Nr. 1, S. 1–28.
- Kubot, Tina/Dittmann, Frank (2016): Geschichte einer Vision, in: Kultur & Technik, 40. Jg., Nr. 3, S. 12–19.
- Labella, Vincent A. (2008): The Wiedemann Story using General Numeric Control, in: Thomas, Richard A. (Hrsg.): History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988, Charlottesville, VA, S. 209–212.
- Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH Aachen (1960): Spanende Werkzeugmaschinen auf der Werkzeugmaschinen-Ausstellung Hannover 1960. Bericht des Laboratoriums für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH Aachen (Leiter: Professor Dr.-Ing. H. Opitz), in: Industrie-Anzeiger, 82. Jg., Nr. 89/90, S. 1489–1567.

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH Aachen (1963): Spanende Werkzeugmaschinen auf der 8. EWA in Mailand, in: Industrie-Anzeiger, Nr. 98, S. 2179–2275.

Langenbacher, Karl (1963): Vielspindlig denken. Eine Festschrift zum 75-jährigen Bestehen der Firma Burkhardt & Weber; [dem Andenken Louis Webers gewidmet], Reutlingen.

Laur-Ernst, Ute (1982): Qualifizierungskonzept für das Arbeiten mit CNC-Maschinen im Rahmen der Erstausbildung für Metallberufe. E. zu diskutierender Vorschlag; Projektbericht 1 zum FP 5.015 d. BIBB, Berlin.

Laux, Christel u. a. (1981): 125 Jahre Verein Deutscher Ingenieure. 1856 – 1981; Jubiläumsschrift, Düsseldorf.

Leibinger, Berthold (2007): Prof. Dr.-Ing. E.h. Berthold Leibinger berichtet aus seiner Arbeit, in: Stiftung Werner-von-Siemens-Ring (Hrsg.): Berthold Leibinger. Preisträger 2005; Verleihung des Ehrenrings für Verdienste um Naturwissenschaft und Technik am 13. Dezember 2006 in Berlin [Festschrift zur Preisverleihung], Berlin.

Leibinger, Berthold (2010): Wer wollte eine andere Zeit als diese. Ein Lebensbericht, Hamburg, URL: <http://www.murmann-verlag.de/>.

Leibinger, Berthold (2014): Erfahrungen, Erfolge, Entwicklungen. Der Weg der Werkzeugmaschinenindustrien in Deutschland, Japan und den USA, Göttingen.

Lembke, Dietrich (1993): Untersuchung der Gestaltungsmöglichkeiten für die Schnittstelle Maschine/Werkzeug. Diss. Techn. Hochsch., Fak. für Maschinenwesen, Aachen.

Linn, Rolf (2005): Steuerungstechnik in Hannover, in: Denkena, Berend (Hrsg.): Werkzeugmaschinenbau in Hannover, Garbsen, S. 139–158.

Lippmann, Walter (1947): The Cold War. A study in U.S. foreign policy, New York.

List, Friedrich (1841): Das nationale System der politischen Oekonomie, Stuttgart/Tübingen.

Ludwigsburger Maschinenbau GmbH, Ludwigsburg (1958): Ludwigsburger Maschinenbau GmbH., Ludwigsburg/Württ. Feinstbohrwerke, Sondermaschinen, Transferstrassen, Ludwigsburg.

Lukas, Roger (1977): Beitrag zur Lageregelung an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen. Ermittlung von Einstellgrenzen für dauerschwingungsfreies Verhalten eines nichtlinearen Lageregelkreises mit Getriebelose und Schlittenreibung. Diss. Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt.

- Lundvall, Bengt-Åke (1992): Preface, in: Lundvall, Bengt-Åke (Hrsg.): National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning, London, S. xii–xiii.
- Luxbacher, Günter (1997): Die historischen Sammlungen der AEG kamen nach Berlin zurück. Das technische Gedächtnis von Berlin, in: Berliner Zeitung. 21.5.1997, URL: <http://www.berliner-zeitung.de/die-historischen-sammlungen-der-aeg-kamen-nach-berlin-zurueck-das-technische-gedaechtnis-von-berlin-15955206>, Stand: 16.09.2017.
- Luxbacher, Günther (2017): DIN von 1917 bis 2017. Normung zwischen Konsens und Konkurrenz im Interesse der technisch-wirtschaftlichen Entwicklung, Berlin/Wien/Zürich.
- Maas, Hans (2003): Wendemarken. Erlebnisse aus Familienbetrieben in Gießen, Taunusstein und anderswo, Mittelständische Industriegeschichte, Fernwald.
- Makarov, Sergey N./Ludwig, Reinhold/Bitar, Stephen J. (2016): Practical Electrical Engineering, Cham, URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-21173-2>, Stand: 12.12.2021.
- Maskow, Jürgen/Thomas, Werner (1979): Organisation des NC-Maschineneinsatzes. Planungs- u. Entscheidungstab. zur rationellen Gestaltung d. Zusammenwirkens von Arbeitskräften u. Betriebsmitteln; Fachbericht aus d. Forschungsinst. für Rationalisierung an d. Rhein.-Westfäl. Techn. Hochsch. Aachen, Berlin, Köln.
- Maßberg, Wolfgang (1965): Der Einfluss der Vielgestaltigkeit eines Werkstückes auf den wirtschaftlichen Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen und maschineller Programmierverfahren. Diss. Aachen, Techn. Hochsch., Fak. für Maschinenwesen, Aachen.
- Mazurek, W. (1982): Den neuen Technologien den Giftzahn ziehen, in: Der Gewerkschafter, 30. Jg., Nr. 2, S. 32–33.
- Meyer, F. (1970): Grußwort, in: VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (ADB) (Hrsg.): 50 Jahre ADB. [1920–1970], Düsseldorf, S. 3.
- Mignon, Ulrich (1976): Neuordnung der Metallberufe, in: Der Gewerkschafter, 24. Jg., Nr. 12, S. 22–23.
- Milberg, Joachim (2015?): Der Mensch Günter Spur, in: Acatech (Hrsg.): Günter Spur, Zukunft denken, Wandel gestalten, München/Berlin/Brüssel, S. 5–10.
- Mistele, Siegfried (1994): Wie wir hundert Jahre wurden. Gebr. Heller vom Jahre 1894 bis 1994, Nürtingen.
- Mlynek, Klaus u. a. (Hrsg.) (2009): Stadtlexikon Hannover. Von den Anfängen bis in die Gegenwart, Hannover.

- Möbus, W. (1963): Neuentwicklungen im Werkzeugmaschinenbau. Eine Nachlese zur 8. EWA, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 58. Jg., Nr. 12, S. 556–558.
- Möller, Edmund (1982a): 5000 mehr = 9000 weniger. CNC-maschinen dringen weiter vor, in: Der Gewerkschafter, 30. Jg., Nr. 5, S. 6–7.
- Möller, Edmund (1982b): Bedingungen längst nicht optimal, in: Der Gewerkschafter, 30. Jg., Nr. 5, S. 7–9.
- Mommertz, Karl Heinz (1981): Bohren, Drehen und Fräsen. Geschichte d. Werkzeugmaschinen, Reinbek bei Hamburg.
- Moormann, Marion (2000): 150 Jahre Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft. 1850-2000; vom Schnellpressenbauer zum weltweit führenden Lösungsanbieter für die gesamte Druck- und Verlagsindustrie, Heidelberg.
- Mrosik, Jan (2019): Vorstoß ins Internet der Dinge, in: Boes, Andreas/Langes, Barbara (Hrsg.): Die Cloud und der digitale Umbruch in Wirtschaft und Arbeit. Strategien, Best Practices und Gestaltungsimpulse, Freiburg/München/Stuttgart, S. 63–68.
- Müller, Moritz (2019): Die IG Metall im Diskurs um die Humanisierung des Arbeitslebens, in: Kleinöder, Nina (Hrsg.): »Humanisierung der Arbeit«. Aufbrüche und Konflikte in der rationalisierten Arbeitswelt des 20. Jahrhunderts, Bielefeld, S. 255–275.
- Müller, Stefan (2019): Das Forschungs- und Aktionsprogramm „Humanisierung des Arbeitslebens“ (1974–1989), in: Kleinöder, Nina (Hrsg.): »Humanisierung der Arbeit«. Aufbrüche und Konflikte in der rationalisierten Arbeitswelt des 20. Jahrhunderts, Bielefeld, S. 59–88.
- Nann, Rainer (1972): Rechnersteuerung von Fertigungseinrichtungen. Beitrag zur Automatisierung der Fertigung durch den Einsatz von Digitalrechnern, Berlin u.a.
- NC-Gesellschaft (1976): NC-Handbuch, Michelstadt.
- Neidhöfer, Gerhard (2008): Michael von Dolivo-Dobrowolsky und der Drehstrom. Anfänge der modernen Antriebstechnik und Stromversorgung, Berlin [u.a.].
- Noble, David F. (1978): Social choice in machine design. The case of automatically controlled tools, and a challenge for labor, in: Politics & society, 8. Jg., Nr. 3, S. 313–347.
- Noble, David F. (1979): Maschinen gegen Menschen. Die Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, Stuttgart.
- Noble, David F. (1984): Forces of production. A social history of industrial automation, New York.

- Nordmann, Klaus (1990): Ein Beitrag zur Verschleiss- und Bruchüberwachung rotierender Werkzeuge. Univ., Diss. Universität Saarbrücken, Saarbrücken.
- Nuber, Christoph/Schultz-Wild, Rainer (1990): Facharbeitereinsatz und Verbreitung von Werkstattprogrammierung - Neue Durchsetzungschancen eines vieldiskutierten Konzepts?, in: Rose, Helmuth (Hrsg.): Programmieren in der Werkstatt. Perspektiven für Facharbeit mit CNC-Maschinen, Frankfurt/Main, S. 155–183.
- O. V. (1959c): Hermann Heller, in: Werkstattstechnik, 49. Jg., Nr. 12, S. 701.
- O. V. (1960c): Empfehlungen des Wissenschaftsrates zum Ausbau der wissenschaftlichen Einrichtungen, Tübingen.
- O. V. (1961c): Numerische Steuerungen dringen vor. Bildbericht von der 7. Europäischen Werkzeugmaschinenausstellung und der Fachschau Schweißen und Schneiden, in: Metall, 13. Jg., Nr. 18. 21.9.1961, S. 8–9.
- O. V. (1965b): 41 Beispiele zum technischen Fortschritt, in: Friedrichs, Günter (Hrsg.): Automation; Risiko und Chance. Beiträge zur zweiten internationalen Arbeitstagung der Industriegewerkschaft Metall für die Bundesrepublik Deutschland über Rationalisierung, Automatisierung und technischen Fortschritt, 16. bis 19. März 1965 in Oberhausen, Frankfurt, S. 545–572.
- O. V. (1965c): 8. Ordentlicher Gewerkschaftstag; Entschliebung über Automation und technischen Fortschritt, in: Friedrichs, Günter (Hrsg.): Automation; Risiko und Chance. Beiträge zur zweiten internationalen Arbeitstagung der Industriegewerkschaft Metall für die Bundesrepublik Deutschland über Rationalisierung, Automatisierung und technischen Fortschritt, 16. bis 19. März 1965 in Oberhausen, Frankfurt, S. 1113–1115.
- O. V. (1967b): 10. Europäische Werkzeugmaschinenausstellung, in: Maschinenmarkt, 73. Jg., Nr. 90, S. 1887–1898.
- O. V. (1970b): Ausschüsse und Unterausschüsse der VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (ADB), in: VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (ADB) (Hrsg.): 50 Jahre ADB. [1920–1970], Düsseldorf, S. 17–19.
- O. V. (1986d): Facharbeit an Werkzeugmaschinen. Das Konzept Werkstattprogrammierung, Frankfurt am Main.
- O. V. (1988): In memoriam Karl Tuffentsamer, in: Tuffentsammer, Karl/Berger, Manfred (Hrsg.): Flexibles Fertigungssystem. Beiträge zur Entwicklung des Produktionsprinzips; Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich „Fertigungstechnik“ der Univ. Stuttgart, Weinheim, S. X.

- O. V. (2006): Tabellarischer Anhang Dissertationen, in: Eversheim, Walter/Pfeifer, Tilo/Weck, Manfred (Hrsg.): 100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006; [Jubiläumsschrift], Berlin, S. 716–804.
- O. V. (2008a): Photographs of the Earliest Applications, in: Thomas, Richard A. (Hrsg.): History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988, Charlottesville, VA, S. 285–308.
- O. V. (2008b): SME Golden Anniversary Issue. A Review of Manufacturing and the Society That Guides Its Progress, in: Thomas, Richard A. (Hrsg.): History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988, Charlottesville, VA, S. 23–29.
- O. V. (2017c): VII. Anhang. Übersichten, in: Dipper, Christof u. a. (Hrsg.): Epochenschwelle in der Wissenschaft. Beiträge zu 140 Jahren TH/TU Darmstadt (1877–2017), Darmstadt, S. 476–485.
- Olesten, Nils O. (1970): Numerical control, New York.
- Opitz, Herwart (1966): Anwendungsbereiche numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen und Wirtschaftlichkeitskriterien. Vorgetragen auf dem Dt. Ingenieurtag 1966 in Berlin, Düsseldorf.
- Opitz, Herwart u. a. (1971): Rechnerunterstütztes Konstruieren, Opladen.
- Opitz, Herwart/Uhrmeister, Hans/Jüstel, Klaus (1958): Aufbau und Wirkungsweise einer Magnetbandsteuerung, Opladen.
- Ose, Karl (1982): 100 Jahre schalten, steuern, schützen. Ein Beitrag zur Geschichte d. Niederspannungs-Schaltgeräte in Deutschland, Bonn.
- Pätzold, Armin (1975): Automatisierung der Fertigungssteuerung unter besonderer Berücksichtigung der Verarbeitung von Betriebsdaten. Diss. Techn. Univ., Fachbereich 11 – Konstruktion u. Fertigung, Berlin.
- Paulinyi, Akos (1989): Industrielle Revolution. Vom Ursprung der modernen Technik, Reinbek bei Hamburg.
- Pavel, Günter (2004): Ein Pionier der Automatisierung – Carl-Martin Dolezalek, in: Becker, Norbert (Hrsg.): Die Universität Stuttgart nach 1945. Geschichte Entwicklungen Persönlichkeiten, Ostfildern, S. 258–261.
- Petrich, Hermann (1989): 100 Jahre Heidenhain. 1889–1989, Traunreut.
- Petzina, Dietmar (1994): Standortverschiebungen und regionale Wirtschaftskraft in der Bundesrepublik Deutschland seit den fünfziger Jahren, in: Wysocki, Josef (Hrsg.):

- Wirtschaftliche Integration und Wandel von Raumstrukturen im 19. und 20. Jahrhundert, Berlin, S. 101–127.
- Pfetsch, Frank R. (1982): Datenhandbuch zur Wissenschaftsentwicklung. D. staatl. Finanzierung d. Wiss. in Deutschland 1850–1975, Köln.
- Pigan, Raimond/Metter, Mark (2008): Automatisieren mit PROFINET. Industrielle Kommunikation auf Basis von Industrial Ethernet, 2. Aufl., Erlangen.
- Piore, Michael J./Sabel, Charles F. (1985): Das Ende der Massenproduktion. Studie über d. Requalifizierung d. Arbeit u. d. Rückkehr d. Ökonomie in d. Gesellschaft, Berlin.
- Politsch, Hans Werner (1961b): Über die Anwendung einer numerischen Zählersteuerung für einen neuzeitlichen Revolverdrehautomaten. Diss. Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt.
- Pritschow, Günter (1972): Ein Beitrag zur technologischen Grenzregelung bei der Drehbearbeitung. Diss. Technische Universität Berlin, Berlin.
- Rake, H. (1983): Abschlußbericht des Sonderforschungsbereiches 55 „Fertigungstechnik“ für den Forschungszeitraum 1968–1983, Aachen.
- Rehr, Winfried (1972): Echtzeitsteuerung von Fertigungseinrichtungen. Ein Beitr. z. Automatisierung durch Prozessrechnereinsatz. Diss. Aachen, Techn. Hochsch., Fak. für Maschinenwesen, Aachen.
- Reintjes, J. Francis (1991): Numerical control. Making a new technology, New York.
- Reitz, K. (1979): 100 Jahre Industrieanzeiger; 100 Jahre Fachpublizistik im Dienst der Technik, in: Industrie-Anzeiger, 100. Jg., Sonderheft 100 Jahre Fachpublizistik im Dienst der Technik, S. 10–13.
- Remmerswaal, Joost L. (Hrsg.) (1991): Forty years of CIRP. The history of the International Institution for Production Engineering Research; 1951-1991, Middelburg, NL.
- Rempp, Helmut (1981): Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen des CNC-Werkzeugmaschinenereinsatzes. Studie des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung, Eschborn.
- Rohs, Hans-Günther (1960): Die Erfassung der Fertigungsaufgaben für spanende Werkzeugmaschinen. Habil. RWTH Aachen, Aachen.
- Rolt, Lionel Thomas Caswell (1986): Tools for the job. A history of machine tools to 1950, London.
- Roschmann, K. (1965): Einsatz von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen im Fertigungsbetrieb, in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Automatisierung in der

Fertigungstechnik. Wechselwirkungen zwischen Konstruktion u. Fertigung. Vorträge d. VDI-Tagung, Stuttgart 1964, Düsseldorf, S. 91–96.

Rose, Helmuth (Hrsg.) (1990): Programmieren in der Werkstatt. Perspektiven für Facharbeit mit CNC-Maschinen, Frankfurt/Main.

Rosenthal, Gabriele (1995): Erlebte und erzählte Lebensgeschichte. Zugl.: Kassel, Gesamthochsch., Habil.-Schr., 1993. Campus-Verl, Frankfurt/Main/New York.

Ross, Douglas T. (1981): Origins of the APT Language for automatically programmed tools, in: Wexelblat, Richard L. (Hrsg.): History of programming languages, New York, S. 279–367.

Ruby, Jürgen (1985): Die Einführung des Elektroantriebs an Werkzeugmaschinen, in: Maschinenbau-Technik: wiss.-techn. Zeitschrift für Forschung, Entwicklung u. Konstruktion, 34. Jg., Nr. 11, S. 499–501.

Ruby, Jürgen (1995): Maschinen für die Massenfertigung, Stuttgart.

Ruby, Jürgen (1997): Zur Entwicklungsgeschichte der Werkzeugmaschine, Magdeburg.

Ruppert, Friedrich (1907): Aufgaben und Fortschritte des deutschen Werkzeugmaschinenbaues, Berlin, Heidelberg, URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-92186-5>, Stand: 12.12.2021.

RWTH Aachen (1986): 80 Jahre WZL – Innovation aus Tradition. Impulse für die Produktionstechnik, Aachen.

Saldern, Adelheid von/Hachtmann, Rüdiger (2009): Das fordistische Jahrhundert: Eine Einleitung, in: Zeithistorische Forschungen/Studies in Contemporary History, 6. Jg., Nr. 2, S. 174–185, URL: <https://d-nb.info/121725031X/34>, Stand: 10.01.2022.

Sämann, Werner (1969): Leistungsentlohnung an numerisch gesteuerten Maschinen, Darmstadt/Berlin/Köln/Frankfurt/M.

Schatz, A. (1960): Rückblick auf die Werkzeugmaschinen-Ausstellung Hannover 1960. Weitere Fortschritte im Drehen, Schleifen, Verzahnen und Räumen, in: Werkstattstechnik, 50. Jg., Nr. 12, S. 637–666.

Schatz, A. (1961): Die Entwicklung in der drehenden, schleifenden, wälzenden und geradlinigen Abspannung. Bericht über die 7. Europäische Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Brüssel, in: Werkstattstechnik, 51. Jg., Nr. 12, S. 610–641.

Schenck, Max. W. (2014): Technischer Fortschritt - oft im Verborgenen..., in: Wessel, Horst A. (Hrsg.): Von der Feile zum hochpräzisen Maschinenelement. A. Mannesmann, Remscheid-Bliedinghausen, 1796 - 2014, Remscheid, S. 129–134.

- Schikarski, Horst (1966): Die gedruckte Schaltung. Herstellung, Anwendung u. Reparatur von gedruckten Schaltungen, Stuttgart.
- Schlesinger, G. (1932): Technische Vollendung und höchste Wirtschaftlichkeit im Fabrikbetrieb, Berlin, Heidelberg.
- Schmid, Dietmar/Demmel, Peter/Hoffmann, Hartmut (2017): Werkzeugmaschinen. Aufbau, Konstruktion und Systemverhalten.
- Schmid, Wolfgang (1952): Automatologie. Grundlagen der Selbststeuerung von Fertigungsmaschinen, München.
- Schmidt, Klaus (1992): 175 Jahre Koenig & Bauer. 1817 - 1992, Würzburg.
- Schramm, Manuel (2008): Wirtschaft und Wissenschaft in DDR und BRD. Die Kategorie Vertrauen in Innovationsprozessen, Köln.
- Schröder, Sascha (1995): Innovation in der Produktion. Eine Fallstudienuntersuchung zur Entwicklung der numerischen Steuerung, München/Wien.
- Schroll, Karl-Heinz (2015): Indramat – der Weg eines Pionierunternehmens, in: Geschichts-und Museumsverein Lohr a. Main (Hrsg.): Lohrer Unternehmen und Persönlichkeiten. Ein Querschnitt, Lohr a. Main, S. 173–180.
- Schultz-Wild, Rainer/Weltz, Friedrich (1973): Technischer Wandel und Industriebetrieb. Die Einführung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik, Frankfurt/M.
- Schulz, Herbert (1966): Das Zusammenwirken von Werkzeugmaschine und numerischer Steuerung. Ein Beitrag zur Auswahl und Auslegung von Steuerungssystemen für Maschinen mit digitaler Punktsteuerung. Diss. Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt.
- Schumpeter, Joseph A. (1912): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, Leipzig.
- Schwab, Gerhard (1996): Die Entwicklung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie von 1945–1995, Frankfurt am Main.
- Schwarz, Bernhard (1986): Beiträge zu reaktionsschnellen und hochgenauen Drehstrom-Positioniersystemen. Diss. Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Seherr-Thoss, Hans-Christoph von (1979): Die deutsche Automobilindustrie. E. Dokumentation von 1886 bis 1979, 2. Aufl., Stuttgart.
- Seligman, Ben B. (1963): Technischer Fortschritt und Beschäftigung in den USA, in: Friedrichs, Günter (Hrsg.): Automation und technischer Fortschritt in Deutschland und den USA; Ausgew. Beitr. zu e. internationalen Arbeitstagung d. Industriegewerkschaft Metall für d. Bundesrepublik Deutschland (3. bis 5. Juli 1963 im Amerika Haus Frankfurt a.M.) Red.: Günter Friedrichs, Frankfurt am Main, S. 57–79.

Simon, Wilhelm (1960b): Steuerungsprobleme moderner Werkzeugmaschinen in kritischer Betrachtung von Wilhelm Simon. Darmstadt, T. H., F. f. Maschinenbau, Hab.Schr. v. 19. Juli 1960 (Nicht f. d. Aust.). Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt.

Simon, Wilhelm (1963): Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen. Einführung in die Automatisierung der Einzel- und Kleinserienfertigung mit nachrichtenverarbeitenden Mitteln, München.

Simon, Wilhelm (1971): Die numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen. Grundlagen, Systemanalyse u. industrielle Anwendung, 2. Aufl., München.

Slater, Robert (1989): Portraits in silicon, Cambridge, Mass.

Smiley, Jane (2010): The man who invented the computer. The biography of John Atanasoff, digital pioneer, New York.

Spur, Günter (1974): Dokumentation / 2. PDV-Kolloquium Flexible Fertigungssysteme, [am 7.11.1974 im Kernforschungszentrum Leopoldshafen bei Karlsruhe], Karlsruhe.

Spur, Günter (1975): Die automatische Fabrik, eine Utopie?, in: Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Universität Berlin (Hrsg.): Produktionstechnisches Kolloquium 1975. Schritte auf dem Weg zur automatischen Produktion von morgen; Verfahren, Bausteine, Grenzen; Berlin, 25. April 1975, Berlin, S. 1–10.

Spur, Günter (1979): Produktionstechnik im Wandel. Hrsg. aus Anlass d. 75jährigen Bestehens d. Inst. für Werkzeugmaschinen u. Fertigungstechnik d. Techn. Univ. Berlin. [Georg Schlesinger zum Gedenken], München, Wien.

Spur, Günter (1987b): Beitrag zur Wissenschaftsgeschichte der Hochschulgruppe Fertigungstechnik, in: Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik (Hrsg.): Produktionswissenschaft. Ein Beitrag zur Geschichte der Hochschulgruppe Fertigungstechnik, Aachen, S. 10–72.

Spur, Günter (1991): Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen. Eine kulturgeschichtliche Betrachtung der Fertigungstechnik, München.

Spur, Günter (2004): Vom Faustkeil zum digitalen Produkt. Ein kulturgeschichtlicher Beitrag zur Entwicklung der Berliner Produktionswissenschaft, München/Wien.

Spur, Günter (2005): Die Wurzeln der ZWF. Zum Erscheinen des 100. Jahrgangs 2005, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 100. Jg., Nr. 1–2, S. 6–7, URL: https://www.wiso-net.de/document/ZWF_200501002, Stand: 23.09.2018.

- Spur, Günter (Hrsg.) (1967): Fertigungstechnik in Lehre, Forschung und Praxis, Freiburg/Br.
- Spur, Günter/Eßer, Gerd (2013): Innovationssystem Produktionstechnik, München.
- Spur, Günter/Pritschow, Günter (1971): Adaptive control an spanenden Werkzeugmaschinen, in: VDI, Fachgruppe Betriebstechnik (ADB) (Hrsg.): Fertigungstechnisches Kolloquium ,70. Vorträge der Tagung Stuttgart 1970, Düsseldorf, S. 67–73.
- Spur, Günter/Stöferle, Theodor (1979): Handbuch der Fertigungstechnik, München.
- Standard Elektrik Lorenz AG (1979): Die ersten 100 Jahre SEL. 1879–1979, München.
- Stehle, Peter (1966): Eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsrechnung. Diss. Aachen, Techn. Hochsch., Fak. für Maschinenwesen, Aachen.
- Steinhilber, Herbert (1984): Planung und Realisierung von Werkzeugversorgungssystemen für die NC-Bearbeitung, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.
- Stephan, Heinz (1996): Werksgeschichte der Maschinenfabrik Lorenz im Zeitgeschehen von 1890 bis 1990, Ettlingen.
- Stich, Konrad (2013): 40 Jahre NC- und Antriebstechnik im Werkzeugmaschinenbau. 1970 – 2010; eine Zeitreise durch die Vergangenheit, Berlin.
- Stölting, Hans-Dieter (1998): Geschichte elektrischer Kleinmaschinen, in: Jäger, Kurt/Dittmann, Frank/Stölting, Hans-Dieter (Hrsg.): Alles bewegt sich. Beiträge zur Geschichte elektrischer Antriebe, Berlin, S. 127–187.
- Storr, Alfred (2004): Richtungsweisend für die Produktionsautomatisierung – Gottfried Stute, in: Becker, Norbert (Hrsg.): Die Universität Stuttgart nach 1945. Geschichte Entwicklungen Persönlichkeiten, Ostfildern, S. 279–283.
- Stöver, Bernd (2008): Der Kalte Krieg, 3. Aufl., München.
- Streb, Jochen (2018): TRUMPF. Geschichte eines Familienunternehmens, München.
- Strunk, Peter (2000): Die AEG. Aufstieg und Niedergang einer Industriellegende, 2. Aufl., Berlin.
- Stucke, Andreas (1993): Institutionalisierung der Forschungspolitik. Entstehung, Entwicklung und Steuerungsprobleme des Bundesforschungsministeriums, Frankfurt/Main.
- Stute, Gottfried (1966): Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen I und II. Umdruck zur Vorlesung, Stuttgart.

- Stute, Gottfried (1967): Bericht über ‚Adaptive control‘ bei Werkzeugmaschinen, Stuttgart.
- Sutherland, I. (1963): Sketchpad. A man-machine graphical communication system: Reissued 1965.
- Swiniartzki, Marco (2017): Der Deutsche Metallarbeiter-Verband 1891–1933, Köln, Weimar, Wien.
- Swiridoff, Paul (1969): Heller 1894/1969. Ein Betriebsrundgang, Schwäbisch Hall.
- Taylor, Frederick Winslow (1903): Shop management, New York.
- Taylor, Frederick Winslow (1911): The principles of scientific management, New York.
- Thomas, Richard A. (2008a): Early Pioneers 1942 – 1988. General Electric - NC History, in: Thomas, Richard A. (Hrsg.): History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988, Charlottesville, VA, S. 35–54.
- Thomas, Richard A. (2008b): The Numerical Control Society (1962-1994), in: Thomas, Richard A. (Hrsg.): History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988, Charlottesville, VA, S. 113–125.
- Thomas, Richard A. (Hrsg.) (2008c): History of numerical control. A history of the role the General Electric Company played in the development of numerical control for machine tools, 1943 – 1988, Charlottesville, VA.
- Trischler, Helmuth (2001): Das bundesdeutsche Innovationssystem in den „langen 70er Jahren“: Antworten auf die „amerikanische Herausforderung“, in: Abele, Johannes (Hrsg.): Innovationskulturen und Fortschrittserwartungen im geteilten Deutschland, Köln, S. 47–70.
- Trischler, Helmuth (2007): „Made in Germany“: Die Bundesrepublik als Wissensgesellschaft und Innovationssystem, in: Hertfelder, Thomas/Rödter, Andreas (Hrsg.): Modell Deutschland. Erfolgsgeschichte oder Illusion?; mit 4 Tabellen und 14 Abbildungen, Göttingen, S. 44–60.
- Troitzsch, Ulrich (1991): Technischer Wandel in Staat und Gesellschaft zwischen 1600 und 1750, in: Paulinyi, Akos/Troitzsch, Ulrich (Hrsg.): Propyläen Technikgeschichte, Frankfurt/M., S. 8–267.
- Tuffentsammer, Karl/Berger, Manfred (1988a): Der Sonderforschungsbereich 155 - Fertigungstechnik - Ausgangssituation - Ziele - Umfeld, in: Tuffentsammer, Karl/Berger, Manfred (Hrsg.): Flexibles Fertigungssystem. Beiträge zur Entwicklung

des Produktionsprinzips; Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich „Fertigungstechnik“ der Univ. Stuttgart, Weinheim, S. 1–8.

Tuffentsammer, Karl/Berger, Manfred (1988b): Vorwort, in: Tuffentsammer, Karl/Berger, Manfred (Hrsg.): Flexibles Fertigungssystem. Beiträge zur Entwicklung des Produktionsprinzips; Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich „Fertigungstechnik“ der Univ. Stuttgart, Weinheim, S. XI–XV.

Tuffentsammer, Karl/Berger, Manfred (Hrsg.) (1988c): Flexibles Fertigungssystem. Beiträge zur Entwicklung des Produktionsprinzips; Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich „Fertigungstechnik“ der Univ. Stuttgart, Weinheim.

Uhl, Karsten (2019): Eine lange Geschichte der „menschenleeren Fabrik“. Automatisierungsvisionen und technologischer Wandel im 20. Jahrhundert, in: Butollo, Florian/Nuss, Sabine (Hrsg.): Marx und die Roboter. Vernetzte Produktion, Künstliche Intelligenz und lebendige Arbeit, Berlin, S. 74–90.

Uhl, Karsten (2021): Industriearbeit im Zeitalter der Computerisierung. CNC-Maschinen im Maschinenbau, in: Berliner Debatte Initial, 32. Jg., Nr. 3, S. 113–123, URL: https://www.wiso-net.de/document/BDI_9271787ffc675b00c12db5466f1298fb02f78309, Stand: 13.01.2022.

Uhrmeister, Hans (1960): Die dynamischen Eigenschaften hydraulischer Vorschubmotoren für Werkzeugmaschinen. Diss. Aachen, Techn. Hochsch., Aachen.

Unruh, Randolph (2002): Chronik Werk Berlin. 1902–2002; DaimlerChrysler; 100 Jahre Werk Berlin, 2. Aufl., Berlin.

Vahrenkamp, Richard (2010): Von Taylor zu Toyota. Rationalisierungsdebatten im 20. Jahrhundert, Lohmar/Köln.

Vajna, Sándor u. a. (1994): CAD/CAM für Ingenieure. Hardware, Software, Strategien, Wiesbaden.

Van der Spiegel, Jan u. a. (2000): The ENIAC, History, Operation and Reconstruction in VLSI, in: Rojas, Raúl/Hashagen, Ulf (Hrsg.): The first computers. History and architectures, Cambridge, Mass, S. 121–178.

VDI, Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (1968): Automatisierung in der industriellen Fertigung. Gemeinsame Probleme in verschiedenen Industriezweigen. Vorträge d. VDI-Tagung, Stuttgart 1967, Düsseldorf.

VDI-Fachgruppe Betriebstechnik (ADB) (Hrsg.) (1970): 50 Jahre ADB. [1920–1970], Düsseldorf.

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (1958): Automatisierung der Fertigung. Vorträge d. VDI-Tagung Stuttgart 1957, Düsseldorf.

Vitr, Mirco/Weck, Manfred (2006): Steuerungstechnik (ab 1962), in: Eversheim, Walter/Pfeifer, Tilo/Weck, Manfred (Hrsg.): 100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006; [Jubiläumsschrift], Berlin, S. 315–349.

Vogler, Carl-Heinz (2020): 101 Dinge, die man über UNIMOG wissen muss, München.

Vollmer, Harald/Witte, H. (1985): NC-Organisation für Produktionsbetriebe. Leitfaden für die Integration numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in Produktionsbetrieben, München/Wien.

Vorländer, Herwart (1990): Mündliches Erfragen von Geschichte, in: Vorländer, Herwart (Hrsg.): Oral history. Mündlich erfragte Geschichte; acht Beiträge, Göttingen, S. 7–28.

Vorstand der IG Metall Deutschland (1968): Automation und Kernenergie, in: Geschäftsbericht ...des Vorstandes der Industriegewerkschaft Metall für die Bundesrepublik Deutschland, Nr. 1965–1967, S. 71–81.

Vorstand der IG Metall Deutschland (1971): Automation, in: Geschäftsbericht ...des Vorstandes der Industriegewerkschaft Metall für die Bundesrepublik Deutschland, Nr. 1968–1970, S. 81–91.

Warnecke, H. J. (ca. 1972): Steigerung der Produktivität durch Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, Frankfurt/M.

Warnecke, Hans-Jürgen (2004): Von der Produktionslinie zum Netzwerk – Die Entwicklung der Produktion in den letzten vier Jahrzehnten, in: Klocke, Fritz/Pritschow, Günter (Hrsg.): Autonome Produktion, Berlin/Heidelberg, S. 17–26.

Weingart, Peter/Taubert, Niels C. (2006): Das Bundesministerium für Bildung und Forschung, in: Weingart, Peter (Hrsg.): Das Wissensministerium. Ein halbes Jahrhundert Forschungs- und Bildungspolitik in Deutschland, Weilerswist, S. 11–29.

Weisberg, David E. (2008): The Engineering Design Revolution. The People, Companies and Computer Systems That Changed Forever the Practice of Engineering, Englewood, CO, URL: <http://www.cadhistory.net/>.

Wengenroth, Ulrich (2001): Vom Innovationssystem zur Innovationskultur. Perspektivwechsel in der Innovationsforschung, in: Abele, Johannes (Hrsg.): Innovationskulturen und Fortschrittserwartungen im geteilten Deutschland, Köln, S. 23–32.

- Wentz, Wilfried (1973): Beitrag zur Automatisierung der Steuerung von Fertigungsprozessen durch den Einsatz von Prozessrechnern. Diss. Berlin, Techn. Univ., Fachbereich 11 – Konstruktion u. Fertigung, Berlin.
- Werth, Karl-Heinz (1983): Einsatz von Mehrprozessorsystemen zur numerischen Steuerung von Werkzeugmaschinen. E. Beitr. zur Entwicklung von Steuerungssystemen mit verteilter Intelligenz, Düsseldorf.
- Wichmann, Hans (1990): Von Morris bis Memphis. Textilien der Neuen Sammlung Ende 19. bis Ende 20. Jahrhundert, Basel.
- Winkel, Harald (1974): Die Wirtschaft im geteilten Deutschland 1945–1970, Wiesbaden.
- Winkler, Hans-Henning (1973): Planung und Organisation technologisch orientierter Informationszentren. Dargestellt am Beispiel des Informationszentrums für Schnittwerte. Diss. RWTH Aachen, Fakultät für Maschinenwesen, Aachen.
- Winkler, Hans-Henning u. a. (1974): Rahmenkonzeption „Flexible Fertigungssysteme“, 1974. Aufl., Karlsruhe.
- Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik (Hrsg.) (1987): Produktionswissenschaft. Ein Beitrag zur Geschichte der Hochschulgruppe Fertigungstechnik, Aachen.
- Wissert, Thomas (2017a): Antriebstechnik, in: Schmid, Dietmar u. a. (Hrsg.): Werkzeugmaschinen. Aufbau, Konstruktion und Systemverhalten, Haan-Gruiten, S. 472–481.
- Wissert, Thomas (2017b): CNC-Steuerungen, in: Schmid, Dietmar u. a. (Hrsg.): Werkzeugmaschinen. Aufbau, Konstruktion und Systemverhalten, Haan-Gruiten, S. 442–457.
- Wittke, Volker (1996): Wie entstand industrielle Massenproduktion? Die diskontinuierliche Entwicklung der deutschen Elektroindustrie von den Anfängen der „großen Industrie“ bis zur Entfaltung des Fordismus (1880–1975), Berlin.
- Wortmann, Stefan (Hrsg.) (2009): TechnikGeschichte, die bewegt! 100 Jahre MTU Friedrichshafen, Friedrichshafen.
- Würslin, Rainer (1984): Pulsumrichter gespeister Asynchronmaschinenantrieb mit hoher Taktfrequenz und sehr großem Feldschwäcbereich. Diss. Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Zetzsche, Ed. (1861): Beiträge zur Geschichte der Fortschritte in der elektrischen Telegraphie. III. Wechsel, Relais, Transplantation und Zweigsprechen, Schleifen,

Blitzableiter, in: Zeitschrift für Mathematik und Physik, 6. Jg., S. 373–405, URL:
<https://books.google.de/books?id=Ol9aAAAYAAJ>.

Zuse, Konrad (2010): Der Computer - Mein Lebenswerk, Berlin, Heidelberg.

Kurzbiografien der Interviewpartner

Hinweis: Die Transkriptionen der autorisierten Interviews befinden sich als PDF-Dateien im Universitätsarchiv Stuttgart (Signatur SN113). Es fehlen die Interviews von Bey, Blum, Eitel, Opferkuch und Zick, da diese nicht uneingeschränkt freigegeben wurden.

Bader, Hans-Peter

Hans-Peter Bader studierte nach einer Lehre als Werkzeugmacher Feinwerktechnik. Nach dem Studium trat er im Herbst 1966 als Jungingenieur in die Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (später Heidelberger Druckmaschinen AG) ein. Im Untersuchungszeitraum beschäftigte sich Bader hauptsächlich mit der Programmierung von NC-Maschinen und hatte in diesem Zusammenhang Kontakte zum WZL in Aachen und zum ISW in Stuttgart.

Bey, Ingward

Ingward Bey studierte „Industrial Engineering“ an der „Universidad de Chile“. Mit einem Stipendium promovierte Bey 1972 am Institut für Verkehrswesen der TH Karlsruhe. Anschließend wurde er Mitarbeiter des Projektträgers der Gesellschaft für Kernforschung in Karlsruhe. Im Untersuchungszeitraum betreute er von der Bundesregierung geförderte Verbundprojekte zu werkzeugmaschinennahen Anwendungen der Informationstechnik sowie zur Standardisierung der zugehörigen Systemschnittstellen im nationalen und internationalen Kontext.

Blum, Udo

Udo Blum arbeitete nach einer dreijährigen Lehre mehrere Jahre als Dreher in Betrieben des Werkzeugmaschinenbaus. Nach Abschluss seines Studiums an der TU Berlin war Blum mehrere Jahre wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik bei Prof. Simon an der TU Berlin. 1975 wechselte Blum in die Abteilung Automation und Technologie beim Vorstand der IG Metall, wo er sich über den Untersuchungszeitraum hinaus u.a. mit den Auswirkungen der NC-Technik auf die Facharbeiter und den Möglichkeiten einer Gestaltungspolitik für programmgesteuerte Betriebsmittel aus Arbeitnehmersicht beschäftigte.

Böhringer, Heinz

Heinz Böhringer studierte nach seiner Lehre bei der Firma Gebr. Boehringer an der Fachhochschule Esslingen. Danach war er bei Boehringer in verschiedenen Funktionen in der Konstruktion (zuletzt in leitender Position) und ab 1980 bis zu seiner Pensionierung im Vertrieb tätig. Böhringer war 1963 an der Konstruktion der ersten NC-Maschine von Boehringer beteiligt.

Boehringer, Werner

Nach seinem Maschinenbaustudium in Stuttgart und München wurde Werner Boehringer 1964 Prokurist bei der Firma Gebr. Boehringer in Göppingen. 1970 wurde Werner Boehringer Geschäftsführer. Diese Funktion übte er bis 1982 aus, also noch vier Jahre nach dem Verkauf aller Firmenanteile an Oerlikon. Werner Boehringer war der letzte Geschäftsführer der Gründerfamilie.

Brödner, Peter

Peter Brödner studierte bis 1967 Maschinenbau an der TU Berlin. Anschließend war er bis zu seiner Promotion 1974 Assistent am Institut für Produktionstechnische Automatisierung der TU Berlin. Dabei untersuchte er u. a. die Auswirkungen der NC-Technik auf die Beschäftigten in der Industrie. Von 1976 bis 1989 managte Brödner industrielle Entwicklungsprojekte auf den Gebieten NC-Programmierung, flexible Fertigungssysteme, Produktionsplanung und -steuerung und anthropozentrische Produktionssysteme bei den Projektträgern Humanisierung des Arbeitslebens (DFVLR Bonn) und Fertigungstechnik (Forschungszentrum Karlsruhe). Anschließend war er bis 2005 Forschungsdirektor für Produktionssysteme am Institut Arbeit und Technik im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen. Seit seinem Ruhestand hat Brödner als Honorarprofessor einen Lehrauftrag für „IT in Organisationen“ an der Universität Siegen.

Brömer, Günter

Günter Brömer trat nach seinem Studium 1962 bei Siemens-Schuckert in Erlangen ein und war bis zu seiner Pensionierung überwiegend in der Entwicklung im Geschäftsbereich Ausrüstungen für Werkzeugmaschinen tätig. Zunächst beschäftigte sich Brömer mit Kupplungen für Werkzeugmaschinenantriebe. Nach kurzer Zeit wechselte er in den Bereich NC-Steuerungen, wo er zunächst in der Hardware- und später in der Softwareentwicklung tätig war.

Eberhard, Dietmar

Dietmar Eberhard arbeitete bis auf eine kurze Unterbrechung in verschiedenen Funktionen bei der Firma Gebr. Heinemann in St. Georgen im Schwarzwald. Bis Anfang der 80er Jahre war Eberhard vor allem im Service und in der Elektrokonstruktion tätig und nahm auch Maschinen in Betrieb. Später verlagerte sich seine Tätigkeit in Richtung Angebotserstellung und Vertrieb.

Eitel, Helmut

Helmut Eitel studierte an der Universität Stuttgart und promovierte 1973 am ISW bei Prof. Stute. 1974 wechselte Eitel zur Heidelberger Druckmaschinen AG als Leiter der EDV. Seit seinem Ausscheiden bei Heidelberger ist Eitel freiberuflich tätig.

Erne, Hanspeter

Nach seinem Maschinenbaustudium an der Universität Stuttgart trat Hanspeter Erne 1982 in den Dienst der IHK Region Stuttgart. 1983 übernahm er die Leitung des IHK-Bildungshauses in Grunbach. Diese Funktion übte Erne 19 Jahre lang aus. Anschließend baute er sechs Jahre lang das Beratungsmanagement der IHK auf. Die letzten acht Jahre seiner beruflichen Tätigkeit war Erne Leiter der Berufsbildung der IHK Region Stuttgart in der Bezirkskammer Göppingen. 2015 ging Erne in den Ruhestand.

Felten, Klaus

Nach dem Studium des Maschinenbaus an der Universität Stuttgart trat Klaus Felten am 1. Juli 1968 in die Firma Gebr. Boehringer in Göppingen ein. Dort durchlief Felten verschiedene Stationen. An der RWTH Aachen promovierte er 1977 über ein bei Boehringer entwickeltes FFS für Drehteile. Zuletzt war er Hauptabteilungsleiter für Konstruktion und Entwicklung von Dreh- und Tiefbohrmaschinen.

Anfang 1983 wechselte Felten zum Ettlinger Verzahnungsmaschinenhersteller Lorenz, wo er 1990 in die Geschäftsleitung berufen wurde. Nach der Eingliederung von Lorenz in die Liebherr-Gruppe 1994 war Felten bis zu seinem Ausscheiden 2003 Mitglied der Geschäftsleitung der Liebherr Verzahnungstechnik.

Ab 1996 hatte Felten einen Lehrauftrag an der Universität Karlsruhe, wofür ihm der Professorentitel verliehen wurde.

Geiger, Michael

Nach einer Schlosserlehre und Tätigkeiten als Konstrukteur bei Alfing und M.A.N. studierte Michael Geiger Maschinenbau in Nürnberg. Anschließend war er ab 1961 bei der Firma Ludwigsburger Maschinenbau (Burr) in der Konstruktion für Sondermaschinen tätig. Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen Burr und der damaligen Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (später Heidelberger Druckmaschinen AG) war Geiger an der Konstruktion von Sondermaschinen im Auftrag der Heidelberger Druckmaschinen beteiligt, aus denen später die NC-Sondermaschinen und dann die Burr-Bearbeitungszentren hervorgingen. Zuletzt leitete Geiger bei Burr die Hauptkonstruktionsgruppe für NC-Maschinen.

1975 wechselte Geiger zum Werkzeugmaschinenhersteller Deckel nach München, wo er 1976 zum stellvertretenden und 1977 zum ordentlichen Vorstandsmitglied für Technik, Entwicklung und Konstruktion ernannt wurde. Nach der Fusion mit Maho gehörte Geiger bis 1993 der Geschäftsführung der Deckel Maho AG an. Danach war Geiger als selbständiger Konstrukteur tätig.

Goebel, Rainer

Rainer Goebel ist der Sohn des früheren geschäftsführenden Gesellschafters Hellmut Goebel der Maschinenfabrik Burkhardt & Weber in Reutlingen.

Nach dem Studium des Wirtschaftsingenieurwesens in München und Darmstadt und

einer dreijährigen Tätigkeit in einem Unternehmen für Mess- und Auswuchttechnik von 1970 bis 1973 trat Goebel 1974 in die Maschinenfabrik Burkhardt & Weber ein. Dort übernahm er Aufgaben im Marketing und in der Entwicklung. Nach der Übernahme von Burkhardt & Weber durch Georg Fischer wechselte Goebel Mitte der 1980er Jahre zur Firma Teamtechnik in Freiberg am Neckar.

Götz, Elmar

Elmar Götz studierte Elektrotechnik an der TH Stuttgart. Im Anschluss daran trat er 1957 in das Forschungsinstitut der AEG in Berlin ein. Seine erste Aufgabe war es, die Möglichkeiten des Transistors in der Automatisierungstechnik zu untersuchen. Dabei kam Götz mit numerischen Steuerungen in Berührung und war maßgeblich an der Entwicklung der ersten westdeutschen NC-Bahnsteuerung der AEG für eine Walzenkalibrierdrehmaschine der Firma Waldrich Siegen beteiligt.

1962 wechselte Götz vom Forschungsinstitut der AEG in Berlin in das neu gegründete Fertigungswerk für numerische Steuerungen in Seligenstadt und beschäftigte sich dort bis 1975 mit der Entwicklung von NC-Steuerungen. Danach übernahm Götz bis zu seiner Pensionierung Aufgaben im Anlagenvertrieb der AEG bzw. ihrer Nachfolgefirma für Fabrikausrüstungen.

Von 1970 bis 2000 hatte Götz einen Lehrauftrag für Numerische Steuerungen an der TU Darmstadt, für den er zum Professor ernannt wurde.

Gurtner, Dieter

Nach dem Studium begann Dieter Gurtner seine berufliche Laufbahn 1960 bei Siemens-Schuckert im Bereich Automatisierung, Untertagebergbau. 1964 wechselte er in den Bereich Antriebstechnik für Werkzeugmaschinen. Es folgten wechselnde Aufgaben im Bereich Sinumerik Hard- und Software. Zuletzt war Gurtner unter anderem für das NC-Programmiersystem Sigraph-NC verantwortlich.

Kenn, Herbert

Herbert Kenn trat nach seinem Studium 1965 in die Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (später Heidelberger Druckmaschinen AG) ein und war dort bis zu seiner Pensionierung in verschiedenen Funktionen tätig. Unter anderem leitete er zeitweise die Maschinenerprobung. Insbesondere die Anfänge der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen bei Heidelberger hat Kenn (teilweise in enger Zusammenarbeit mit dem Technischen Vorstand Kuhnert) miterlebt und mitgestaltet.

Kief, Hans B.

Nach einer Lehre als Industrieelektriker und dem Studium der Elektrotechnik trat Hans B. Kief 1957 bei BBC Mannheim in die Prüfabteilung von elektrischen Steuerungen und Antrieben ein. Dort wurden 1958 die ersten NC-Steuerungen von BBC geprüft.

1964 wechselte Kief zum Elektronikgerätehersteller Dr. Masing + Co. GmbH nach Erbach, der 1969 mehrheitlich von Bosch übernommen wurde. Dort war Kief zuletzt als Vertriebsleiter für Numerische Steuerungen tätig. 1992 ging Kief in den Ruhestand. 1975 gründete Kief zusammen mit Hans Werner Politsch von der Deckel AG die NC-Gesellschaft als Pendant zur amerikanischen NC-Society. Seit 1975 ist Kief auch Herausgeber des NC-Handbuches, das in vielen Auflagen und Sprachen erschienen ist.

Kremper, Dieter

Dieter Kremper begann 1961 nach seinem Studium seine Tätigkeit bei Siemens-Schuckert in Erlangen in der Technischen Stammabteilung Metall im Büro „Elektrische Ausrüstungen für Werkzeugmaschinen“. Ab 1962 befasste er sich mit der Entwicklung numerischer Steuerungen. Er begleitete die Entwicklung aller Systeme und Technologien der Sinumerik. Zuletzt baute er das Integrations- und Applikationszentrum für Sinumerik auf, leitete es und überführte es in das Systemtestzentrum für Sinumerik und Sirotec.

Meißner, Hans

Nach dem Studium der Elektrotechnik in Dortmund trat Hans Meißner 1967 bei Gebr. Boehringer in Göppingen in die Elektrokonstruktion ein. Bereits zwei Jahre später wurde er Leiter der Elektroabteilung in der Produktion.

1977 wechselte Meißner zur Maschinenfabrik Emag nach Salach, wo er als Einkaufsleiter maßgeblich an der Entwicklung von Emag zu einem bedeutenden Hersteller von NC-Drehmaschinen beteiligt war.

Weitere berufliche Stationen von Meißner waren unter anderem die Firmen Mauser und Brema. Heute ist Meißner als selbständiger Berater tätig.

Miller, Walter

Walter Miller studierte Technische Physik an der Technischen Universität Wien. Nach seiner Promotion (1955) ging Miller in die USA. Von 1959 bis 1964 arbeitete er im Halbleiterwerk von Siemens in München. Von dort wechselte er 1964 zu Heidenhain und war zunächst im Vertrieb tätig. Von 1984 bis zu seiner Pensionierung 1995 war Miller technischer Geschäftsführer der Dr. Johannes Heidenhain GmbH.

Nann, Rainer

Rainer Nann studierte bis Ende 1965 Maschinenbau an der Universität Stuttgart und war anschließend zwei Jahre Trainee bei Siemens. Ab April 1968 war er Mitarbeiter am ISW der Universität Stuttgart, wo er 1972 über die Rechnersteuerung von Fertigungsanlagen promovierte. Während seiner Promotion war Nann maßgeblich an der Entwicklung des ersten DNC-Systems für die Heidelberger Druckmaschinen AG beteiligt. Weitere Stationen seiner beruflichen Laufbahn waren die Werkzeugmaschinenfirma Deckel AG in München und die Pressenfabrik Müller in Esslingen. Zuletzt war

er bis 2014 geschäftsführender Gesellschafter der Roos & Kübler GmbH & Co. KG.

Opferkuch, Heinz

Nach dem Studium arbeitete Heinz Opferkuch von 1955 bis 1960 beim amerikanischen Werkzeugmaschinenhersteller Kearney & Trecker. 1960 wechselte er zur Firma Gebr. Heller in Nürtingen, wo er sich mit NC-Maschinen beschäftigte. 1992 ging Opferkuch in den Ruhestand.

Politsch, Hans Werner

Hans Werner Politsch studierte Maschinenbau an der TH-Darmstadt. 1961 promovierte er dort bei Prof. Stromberger über eine Zählersteuerung für einen Revolverdrehautomaten. Es war eine der ersten westdeutschen Promotionen über NC-Steuerungen.

Politsch wechselte 1962 zu BBC nach Mannheim und war dort zuletzt Leiter der Projektierungsabteilung für „Antriebe und Steuerungen für Werkzeugmaschinen und Prüfstände“. Ab 1967 leitete er den Vertrieb von Olivetti-Werkzeugmaschinen in Deutschland. 1974 wurde er Vertriebsvorstand der Deckel AG.

Nach der Fusion von Deckel und Maho machte sich Politsch 1988 mit einem eigenen Ingenieurbüro selbstständig.

Rohde, Reiner

Nach dem Studium der Nachrichtentechnik trat Reiner Rohde 1965 in die Elektrokonstruktion des Werkzeugmaschinenherstellers Froriep in Mönchengladbach-Rheydt ein. Dort beschäftigte er sich vor allem mit der Anpassung von numerischen Steuerungen an Froriep-Maschinen.

1971 machte sich Rohde mit einem Ingenieurbüro selbstständig. 1974 gründete er zusammen mit einem ehemaligen Kollegen die R&D-Steuerungstechnik GmbH & Co KG. Schwerpunkt des Unternehmens war die Entwicklung und Fertigung von NC-Steuerungen für große Werkzeugmaschinen.

Rohs, Hans-Günther

Hans-Günther Rohs war nach seinem Maschinenbaustudium Assistent am Institut von Prof. Opitz an der RWTH Aachen. Nach Promotion und Habilitation war er von 1961 bis 1983 in leitenden Funktionen bei der Firma Gebr. Boehringer in Göppingen tätig. Daneben hielt er viele Jahre Vorlesungen an der RWTH Aachen, insbesondere über die NC-Technik, für die er zum Professor ernannt wurde. Nach seinem Ausscheiden bei Boehringer war Rohs bis etwa 1995 selbstständig tätig.

Roßkopf, Max

Max Roßkopf war nach seinem Studium in Augsburg einer der ersten Mitarbeiter in der NC-Entwicklung des damaligen Werkzeugmaschinenherstellers Hüller in Ludwigsburg. Nach der Umstrukturierung von Hüller (1976) verließ Roßkopf das Unternehmen und gründete mit Kollegen und einem externen Partner die Firma Te-

amtechnik in Freiberg/Neckar, die sich zunächst mit Montagetechnik und flexiblen Fertigungssystemen beschäftigte.

Schmid, Dietmar

Dietmar Schmid studierte von 1961 bis 1966 Elektrotechnik an der Universität Stuttgart. Anschließend war Schmid bis 1972 einer der ersten wissenschaftlichen Mitarbeiter/Assistenten am ISW an der Universität Stuttgart bei Prof. Stute. Von 1972 bis 2006 war er Hochschullehrer für Automatisierungstechnik an der Hochschule Aalen.

Stark, Peter

Nach einer Lehre als Starkstromelektriker und dem Studium der Starkstromtechnik war Peter Stark ab 1972 bei Siemens Stuttgart im Vertrieb „Ausrüstungen für Werkzeugmaschinen“ als Projektingenieur tätig. Ab 1980 war er bei Siemens im Vertrieb für die Firma Trumpf in Ditzingen verantwortlich. Diese Tätigkeit übte er bis zu seiner Pensionierung im Jahr 2010 aus.

Stolz, Gerhard

Gerhard Stolz absolvierte ab 1962 eine Lehre bei der Werkzeugmaschinenfirma Burr in Ludwigsburg und arbeitete dort bis 1970 in der Montage.

Von 1970 bis 1972 absolvierte Stolz eine Weiterbildung zum Techniker und arbeitete danach kurz bei Leitz in der Zeitwirtschaft. Anschließend war Stolz bei Burr im Versuch tätig.

Nach dem Konkurs von Burr (1976) wechselte Stolz in die Konstruktion des Werkzeugherstellers Komet in Besigheim. Dort leitete er ab 1993 zwanzig Jahre lang die Abteilung Normung und Patente. Seit seiner Pensionierung ist Stolz freiberuflich tätig.

Weck, Manfred

Manfred Weck studierte nach einer Werkzeugmacherlehre Maschinenwesen in Iserlohn und dann Maschinenbau an der RWTH Aachen. Nach seiner Habilitation 1971 wurde er technischer Geschäftsführer bei der Firma Wolf. 1973 wurde er als einer der Nachfolger von Prof. Opitz ans WZL berufen und leitete bis zu seiner Emeritierung im Jahr 2004 den Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen.

Weinlich, Leopold

Nach dem Studium an der Staatlichen Ingenieurschule Wuppertal (1957-1960) war Leopold Weinlich dort noch ein Jahr Assistent. 1961 wechselte er zu BBC Mannheim in die NC-Entwicklung. Ausgelöst durch Kontakte mit dem technischen Direktor Kuhnert der Schnellpressenfabrik AG Heidelberg (ab 1967 Heidelberger Druckmaschinen AG), machte sich Weinlich 1963 selbständig. Er entwickelte und fertigte spezielle NC-Steuerungen für Heidelberger und nach Kuhnerts Wechsel zur Deckel AG auch für deren Fräsmaschinen. In der zweiten Hälfte der siebziger Jahre ging der Umsatz von

Weinlich mit der Deckel AG durch Mitbewerber stark zurück, so dass sich Weinlich auf neue Geschäftsfelder konzentrieren musste.

Winkler, Hans-Henning

Nach Studium und Promotion (1973) am WZL der RWTH Aachen ging Hans-Henning Winkler als Vorstandsassistent zur Deckel AG nach München. 1978 übernahm Winkler die technische Leitung und kurz darauf die Geschäftsführung der Firma Chiron in Tuttingen. Diese Position hatte er bis zu seiner Pensionierung im Jahr 2008 inne.

Zick, Manfred

Nach dem Studium der Feinwerktechnik in Furtwangen trat Manfred Zick 1963 in die Verfahrensentwicklung bei Daimler-Benz in Stuttgart-Untertürkheim ein und beschäftigte sich von Anfang an mit NC-Maschinen.

1968 wurde er mit dem Aufbau der Betriebsstätte Bearbeitungszentrum BEZ beauftragt. Im Jahr 1990 wurde die dann VEN genannte Abteilung aufgelöst, nachdem die Einführung der NC-Technik bei Daimler-Benz abgeschlossen war.

Zoller, Eberhard

Nach seinem Maschinenbaustudium und ersten Berufsjahren bei der Heidelberger Druckmaschinen AG (1965-1968) im Sondermaschinenbau trat Eberhard Zoller 1968 in das 1945 von seinem Vater Alfred Zoller gegründete Unternehmen ein. Er entwickelte die 1958 von seinem Vater im Markt eingeführten Werkzeugvoreinstellgeräte weiter und richtete sie ab 1978 stark an den Anforderungen der aufkommenden CNC-Steuerungen aus. Heute ist die E. Zoller GmbH & Co. KG einer der führenden Anbieter von Einstell- und Messgeräten für Werkzeuge.

Personenregister

A

Abelshauser, Werner 80, 81
 Abrams, Lynn.....33
 Ackerknecht, B. 386, 391
 Adam, Wolfgang 130, 158
 Aßmus, Manfred 125
 Atanasoff, John 54, 55
 Augustesen, Hans Chr. 401
 Augustin 356, 357, 358, 359

B

Babbage, Charles 54
 Babel, Werner.....168
 Bader, Hans-Peter 30, 205, 279, 533
 Bailey, A. E. jun. 56
 Bardeen, John.....52, 311
 Baruch, Bernard M.....61
 Bauer, Andreas 268
 Bauer, Reinhold 12
 Bäuml, Kurt.....406, 407
 Beauclair, Wilfried de 58, 173
 Behrendt, Werner 14, 70, 71, 75, 150,
 305, 338
 Benad-Wagenhoff, Volker.....43, 47
 Bennett, Stuart.....58
 Benz, Carl 260
 Berry, Clifford.....55
 Bey, Ingward 142, 533
 Birk, Peter 354
 Blaum 154
 Blum, Udo.....123, 365, 366, 533
 Bode, Hendrik W.....59, 60
 Boehringer, Rolf.....235
 Boehringer, Werner 29, 37, 218, 219,
 223, 534

Boese, Peter 153, 154, 199
 Böhringer, Heinz 37, 228, 533
 Booth, Alan..... 16
 Bouchon, Basile..... 55
 Bradley, Ch. S,..... 44
 Brattain, Walter H..... 52, 311
 Breitmeier 356, 358
 Brenner, Otto 359
 Brödner, Peter 94, 122, 132, 367, 534
 Brömer, Günter 37, 534
 Burr, Willi 242
 Buschhaus, Dieter..... 354
 Buschmann, Mirko 101

C

Caruthers, F. P. 62, 63, 78
 Chruschtschow, Nikita..... 153
 Clausnitzer, Ralf 20, 122, 123, 132,
 151, 229, 244, 355, 364, 375, 376,
 379, 385, 388, 390, 391, 406, 408,
 411
 Cooke, William..... 48
 Copold, M. C. 77
 Cordes, L. 162
 Crowther, Samuel 91
 Cunningham, Frederick..... 61, 78

D

Daimler, Gottlieb 260
 Dautel, Eugen . 188, 234, 235, 236, 274,
 275
 Derenbach, Till 126, 128
 Devol, George..... 415
 Diekmann, Thomas..... 208
 Dittmann, Frank..... 21, 283, 427

Dolezalek, C. M. 17, 24, 117, 133,
134, 136, 138, 143, 145, 149, 150,
197, 235, 239, 276, 340, 343, 351,
433, 443
Dolivo-Dobrowolski, Michael 44, 45
Dominguez-Lacasa, Icíar 18
Dosch, Hilmar 267
Duelen, Gerard 130
Dunkler, H. 293, 294
Dürr, Alfred 233, 235, 236, 245

E

Eberhard, Dietmar 186, 534
Eckert, J. Presper 55
Egger, Michael 33, 34
Eidenmüller, Bodo 420
Eifert, Christiane 91
Eisinger, J. 379
Eitel, Helmut 278, 533, 534
Engelberger, Joseph F. 415
Erdle, Hans 410
Erhardt, Alfred 132
Erne, Hanspeter 357, 358, 535
Eßer, Gerd 101
Etzkowitz, Henry 77
Eversheim, Walter 124, 337

F

Fabian, Cornelia 250
Falcon, Baptiste 55
Feist, Werner 176, 177
Felten, Klaus 227, 535
Ferraris, G. 44
Folz, Franz Josef 15
Ford, Henry 91, 414
Frädrich 355
Freeman, Christopher 96
Friedrich-Nishio, Monika 18

Friedrichs, Günter.... 359, 360, 363, 365

G

Gast, Theodor 140
Gather, Matthias 126
Gehrels, Jürgen 181
Gehrig, Astrid 221, 222, 223, 224
Geiger, Michael 30, 165, 192, 242,
245, 247, 269, 274, 280, 342, 535
Geppert, Alexander C. T. 34, 35
Geyer, Werner 330, 388
Glantschnig, Friedrich 162, 163
Gläser, Jochen 34
Glenn, Daniel 67, 171, 305
Glunk, Fritz 82, 145, 146
Goebel, Hellmut 219, 232, 233
Goebel, Rainer 219, 535, 536
Gölitzer, E. 341
Gottl-Ottlienfeld, Friedrich 91
Götz, Elmar.... 109, 153, 154, 156, 157,
159, 348, 536
Gräßler, Iris 92
Grayer, Alan 336
Gruner, Wolfgang 236
Grünert, Bernd 126
Grupp, Hariolf .. 18, 96, 97, 98, 99, 100,
101
Gunsser, Otto .. 149, 235, 238, 239, 240,
241
Gurtner, Dieter 37, 536

H

Haak, René 8, 15, 43, 81, 113, 114, 277
Haas, Markus 43, 47
Hachtmann, Rüdiger 92
Hahn, Rolf 312, 313, 314
Halske, Johann Georg 175
Hamke, Friedrich 122

Hamm, Andreas.....267
Harmssen, Gustav Wilhelm 82
Haselwander, F. 44
Heidenhain, Johannes 57, 167
Heisel, Uwe.....7
Heller, Berndt.....190, 239, 241
Heller, Hermann.....233, 234, 235, 236,
239, 241
Heller, Hermann sen. 233
Heller, Hubert.....239
Herold, Hans-Hermann 21, 384, 420
Hess, Heinrich.....134
Heßler, Martina 14, 427, 430
Hinz, Horst.....366, 367
Hipp, M. 55
Hirsch-Kreinsen, Hartmut...15, 16, 204,
213, 335
Hoffmeister, Katrin 79
Hofmann, Johann 428
Holmes, Lowell L. 62, 67
Holstein, Hans-Joachim 113
Horak.....356
Hormann, Dirk 127
Hucks, Helmut 106, 125
Hughes, Thomas P.....216

J

Jäckle-Sönmez, Yvonne 17
Jacquard, Joseph-Marie.....55
Janzen, Karl-Heinz.....362, 381
Jehlicka 134
Jeschke, Willi 267
Junike, Wilhelm 185, 186
Jüstel, Klaus 107, 125

K

Kagermann, Henning 427
Kappel, Fritz 86

Kasischke, Kuno.....225, 333
Keck, Otto.....18, 100
Kenn, Herbert 30, 271, 275, 276, 536
Kern, Alfred.....247
Kief, Hans B. ...161, 169, 171, 334, 372,
373, 536, 537
Kienzle, Otto 89, 103, 137, 198
Kilby, Jack 53
Kips.....207, 294
Kirmse, Walter.....261
Klein, Julius.....247
Kleinöder, Nina 18
Klotz, Ulrich.....208
Kluft, Werner 140, 332
Knoll, Rolf.....263
Knott, Carl 176
Koenig, Friedrich.....268
König, Wilfried.....124
Koop, Andreas 113, 168
Koschnik, Georg.....21, 349, 378, 384,
403, 409, 410
Krägeloh, Walter.....202, 388
Krauß, Heinrich 128
Kreher, Peter Jügen.....223
Kremper, Dieter 37, 149, 176, 180, 390,
537
Kronenberg, M. 8, 74
Kubot, Tina 283, 427
Kuhnert, Hans...30, 113, 191, 192, 193,
268, 269, 270, 271, 273, 274, 275,
276, 277, 278, 280, 281, 282, 283,
300, 394, 395, 437, 539
Künkele, Wilhelm.....261

L

Laudel, Grit.....34
Laur-Ernst, Ute 354

Leibinger, Bertold ... 11, 20, 68, 85, 111,
112, 220, 221, 247, 248, 249, 250,
252, 253, 254, 258, 435
Leydesdorff, Loet.....77
Linn, Rolf.....186
Lippmann, Walter.....61
List, Friedrich.....96
Lukas, Roger.....129
Lukas, Wolf Dieter.....427
Lundvall, Bengt-Åke.....96
Luxbacher, Günter 197

M

Maas, Hans.....116
Magnus, Gustav Heinrich 44
Marsh, Robert H.....65
Masing, Herbert 170
Masing, Walter 170, 171
Maßberg, Wolfgang...21, 120, 127, 149,
420
Mattheis, M. 330
Mauchly, John W.....55
Maudsly, Henry 7, 8
Mazurek, W. 367
Meißner, Hans 256, 537
Meister, Eddy 163
Meyer, Otto 284, 286
Meyer, R.....153
Miller, Walter 168, 174
Minorsky, Nicolas 59
Möbus, W. 163
Mohr.....107, 125, 152, 153
Moll, Hans..39, 285, 295, 296, 396, 397
Möller, Edmund 296, 366
Mommertz, Karl Heinz 8, 14
Morley, Dick 313
Mühlenkamp, Jochen 157

N

Nann, Rainer.....277, 339, 390, 537
Naumann, A. 267
Neipp, Gerhard 291, 292, 299, 396
Neubrand, Paul 245
Niefer, Werner 263, 266
Noble, David F.... 14, 16, 61, 62, 63, 70,
78, 365, 432
Noyce, Robert.....53
Nuber, Christoph 209

O

Opferkuch, Heinz ... 187, 188, 239, 333,
387, 533, 538
Opitz, Herwart 101, 103, 106, 117,
124, 125, 134, 135, 138, 144, 145,
204, 335, 337, 352, 394, 433, 440,
538, 539
Oppelt, Winfried 129

P

Parsons, John T.....III, V, 8, 16, 61, 63,
64, 65, 66, 70, 76, 77, 420, 431, 445
Pätzold, Armin.....339
Paulinyi, Akos 8
Pfeifer, Tilo 124
Pirker, T. 377
Politsch, Hans Werner 108, 128, 129,
329, 352, 537, 538
Pöppel, Joachim.....267, 268, 270, 274,
277, 283
Pritschow, Günter ... 130, 136, 140, 227,
331

Q

Quack, Rudolf 133

R

Reber 168
 Rehr, Winfried.....127
 Reichenbach, Carl August.....268
 Reintjes, J. Francis 16, 59, 63, 69, 70,
 72, 171, 326
 Rempp, Helmut 88, 367, 378
 Richter, G. 206
 Rohde, Reiner 538
 Rohs, Hans-Günther..21, 102, 112, 223,
 224, 226, 227, 229, 254, 282, 349,
 352, 378, 390, 400, 401, 403, 409,
 410, 538
 Römer.....281
 Ropohl, Günter.....276, 340
 Rose, Helmuth.....209
 Rosenthal, Gabriele.....34
 Roser, Walter 113
 Ross, Douglas T. 63, 72, 335
 Roßkopf, Max 174, 175, 538
 Rubin, M. 162
 Ruppert, Friedrich 46
 Russ, Olexa 65

S

Sabel, Charles F.....17, 92
 Saldern, Adelheid von.....92
 Sämann, Werner 409, 410
 Sander, W. 268, 288, 289, 290, 291,
 295, 296
 Schallbroch, Heinrich 15, 143
 Schatz, A. 155
 Schikarski, Horst.....419
 Schlesinger, Georg 90, 91, 129
 Schmid, Dietmar 226, 539
 Schmid, Wolfgang.....152, 153
 Schröder, Sascha.. 15, 63, 64, 65, 67, 69

Schuler, H.....21, 112, 223, 254, 398,
 399, 400, 401, 405, 407
 Schulte, Bernd 140
 Schultz-Wild, Rainer 123, 209, 375,
 397
 Schulz, Herbert..... 129, 143
 Schumpeter, Joseph A. 95
 Schüring, Alfred 344
 Schwab, Gerhard 16, 81, 86
 Schweizer, W. 140
 Shaw, Milton C..... 39, 106, 125, 347
 Shockley, William Bradford 52, 311
 Siemens, Werner von..... 44, 175, 176
 Simon, Wilhelm 23, 25, 41, 57, 58, 108,
 127, 128, 129, 131, 132, 133, 134,
 135, 137, 140, 145, 146, 149, 150,
 198, 203, 204, 214, 227, 229, 237,
 286, 287, 326, 327, 329, 339, 348,
 352, 365, 393, 421, 433, 440
 Specht, Dieter 113, 114, 277
 Spur, Günter.....VII, 7, 8, 14, 15, 17, 25,
 93, 94, 100, 101, 107, 109, 111, 119,
 127, 129, 130, 131, 135, 137, 138,
 140, 143, 159, 177, 183, 204, 214,
 294, 295, 327, 331, 335, 336, 340,
 343, 344, 345, 440
 Stark, Peter 37, 539
 Steeger, Anton 39, 106, 347
 Stehle, Peter.... 120, 127, 378, 393, 394,
 400, 401
 Stehle, Thomas 7
 Stein 286
 Stephan, Heinz..... 418
 Sternberg, Hubert ... 191, 267, 269, 276,
 280, 282, 394
 Stevenson, H. M. 305
 Stich, Konrad..... 169
 Stöckmann, Paul 206
 Stöferle, Theodor 143
 Stölting, Hans-Dieter 322

Stolz, Gerhard 306, 307, 539
 Storr, Alfred.....135, 343, 344
 Streb, Jochen 20, 221, 247
 Stromberger, Carl.....23, 107, 108, 117,
 128, 129, 143, 145, 352, 433
 Strunk, Peter.....152
 Stulen, Frank 16, 63, 64
 Stute, Gottfried.....21, 24, 40, 113, 127,
 132, 134, 135, 136, 140, 141, 145,
 149, 156, 157, 159, 160, 183, 204,
 214, 226, 270, 276, 294, 295, 331,
 338, 340, 351, 420, 440, 539

T

Taylor, Frederik Winslow.18, 45, 59, 91
 Tesla, N. 44
 Thomas, Richard A. 372
 Thorade, Nora 427, 430
 Trampusch, Walter 242
 Trischler, Helmuth 87, 99
 Trumpf, Christian....220, 247, 249, 252,
 253
 Tuffentsammer, Karl 141
 Tully, Heinrich 349

U

Uhl, Karsten 17, 18, 78, 93, 94
 Uhrmeister, Hans 125, 150, 153, 347
 Ure, Andrew 93

V

Vahrenkamp, Richard.....18, 335, 377
 Vajna, Sándor 335
 Verl, Alexander 136
 Victor, Hans.....137, 157, 338, 340

Viersma, T.J. 328
 Volk, Paul 111, 176
 Vollmer, Harald 389, 390, 391
 Vorländer, Herwart 33, 35

W

Wahlster, Wolfgang 427
 Waibel, Gerhard.....181, 339
 Waller, Siegfried 178, 281, 330, 388
 Warnecke, Hans-Jürgen.....115, 147
 Weck, Manfred 124, 151, 331, 539
 Weinlich, Leopold 30, 191, 192, 193,
 271, 276, 539, 540
 Weise, Artur 133
 Weltz, Friedrich 397
 Wentz, Wilfried.....130
 Werth, Karl-Heinz 126
 Wheatstone, Charles 48
 Wiest, Paul.....143
 Williamson, D.T.N.....341
 Winget, J. L. 57
 Winhold, Horst 175
 Winkel, Harald.....80
 Winkler, Hans-Henning.....387, 540
 Wissert, Thomas 330
 Witte, H. 389, 390, 391
 Wittke, Volker.....17, 93

Z

Zick, Manfred .261, 262, 382, 395, 533,
 540
 Zimmermann, Wolfgang.....267
 Zoller, Alfred 309
 Zoller, Eberhard.....540
 Zuse, Konrad 49, 54, 55, 173

Bisher im Logos Verlag Berlin erschienene Bände der Reihe
Stuttgarter Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte

ISSN: 2199-403X

1	Henryk Ditchen	Die Beteiligung Stuttgarter Ingenieure an der Planung und Realisierung der Reichsautobahnen unter besonderer Berücksichtigung der Netzwerke von Fritz Leonhardt und Otto Graf ISBN 978-3-8325-2226-1, 486 S.	39.80 €
2	Henryk Ditchen	Otto Graf - Der Baumaterialforscher ISBN 978-3-8325-3480-6, 185 S.	36.00 €
3	Josef Webel	Geschichte der Bildschirmtechnik 1970 - 2000. Synergien, Netzwerke und Innovationssysteme in Baden-Württemberg ISBN 978-3-8325-3477-6, 347 S.	41.50 €
4	Volker Smyrek	Die Geschichte des Tonmischpults. Die technische Entwicklung der Mischpulte und der Wandel der medialen Produktionsverfahren im Tonstudio von den 1920er-Jahren bis heute ISBN 978-3-8325-3402-8, 572 S.	57.00 €
5	Bernd Kröger	Hermann Haken und die Anfangsjahre der Synergetik ISBN 978-3-8325-3561-2, 396 S.	49.00 €
6	Andreas Haka	Soziale Netzwerke im Maschinenbau an deutschen Hochschul- und außeruniversitären Forschungseinrichtungen 1920-1970 ISBN 978-3-8325-3695-4, 470 S.	75.00 €
7	Henryk Ditchen	Die <i>Politechnika Lwowska</i> in Lemberg. Geschichte einer Technischen Hochschule im multinationalen Umfeld ISBN 978-3-8325-3887-3, 293 S.	40.00€
8	Kateryna Serebryakova	Zur Geschichte von Heuristiken. Ein asymmetrischer Vergleich zentriert um Altschuller und TRIZ ISBN 978-3-8325-4203-0, 340 S.	61.50€

9	Arno Wörz	Der <i>Esslinger Botanische Reiseverein</i> 1825-1845. Eine Aktiengesellschaft zur Durchführung naturkundlicher Sammelreisen ISBN 978-3-8325-4211-5, 211 S. 46.50€
10	Thilo Munz	Die Geschichte des Dentallasers in Deutschland ISBN 978-3-8325-4597-0, 280 S. 62.00€
11	Hartmut Knopp	Netzwerke Frühneuzeitlicher Astronomen ISBN 978-3-8325-4670-0, 245 S. 54.50€
12	Henryk Ditchen	Geschichte der Universität Lemberg zwischen Absolutismus, Totalitarismus und Nationalfragen ISBN 978-3-8325-4749-3, 368 S. 46.50€
13	Jens Klein	Zerreißprobe? Rüstungsforschung an der Abteilung Maschinenbau der MPA Stuttgart von 1933 bis 1945 ISBN 978-3-8325-4923-7, 333 S. 45.00€
14	Henryk Ditchen	Schlesische Hochschulen. Ein Überblick über die Geschichte des schlesischen Hochschulwesens ISBN 978-3-8325-5042-4, 259 S. 44.50€
15	Christina Diblit	Schichten schreiben Geschichte: Die Schlüsselfunktion der Materialherstellung in der Halbleitertechnologie (unter besonderer Berücksichtigung der Molekularstrahlepitaxie) ISBN 978-3-8325-5273-2, 302 S. 48.50€
16	Katharina Fuchs	Zum Verhältnis des NS-Studentenbundes zu den studentischen Korporationen an der TH Stuttgart zwischen Republik und Diktatur (1928-1935) unter besonderer Berücksichtigung der Stuttgarter Burschenschaft Ghibellinia ISBN 978-3-8325-5274-9, 119 S. 36.00€
17	Christian Elsässer	Die Forschungsanstalt Graf Zeppelin 1937–1945. Ein Überblick ISBN 978-3-8325-5511-5, S.294 58.50€

18 Thomas Wissert

Einführung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1950 und 1980 unter besonderer Berücksichtigung von Baden-Württemberg
ISBN 978-3-8325-5473-6, S.553 62.00€

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN im Buchhandel oder direkt beim Logos Verlag Berlin (www.logos-verlag.de, Fax: 030 - 42 85 10 92) bestellt werden.

Über 50 % der deutschen Werkzeugmaschinen werden heute in Baden-Württemberg hergestellt. Einen wesentlichen Anteil an diesem Erfolg haben die NC-Maschinen. Die ersten aus Baden-Württemberg wurden 1959 von den Firmen Gebr. Heller aus Nürtingen und Burkhardt & Weber aus Reutlingen vorgestellt, die damit Entwicklungen aus den USA aufgriffen.

Das vorliegende Buch versucht, die wesentlichen Gründe für diese Erfolgsgeschichte herauszuarbeiten. Es wird untersucht, wie sich die NC-Einführung bei fünf baden-württembergischen Werkzeugmaschinenherstellern vollzog, warum zwei Großkonzerne und ein Druckmaschinenhersteller ihre Fertigung mit deutlich unterschiedlicher Geschwindigkeit auf NC-Maschinen umstellten und welche Faktoren für die unterschiedlichen Verläufe ausschlaggebend waren.

Dazu werden die technischen Randbedingungen wie die Entwicklung der Rechner-, Antriebs- und Automatisierungstechnik beleuchtet, die die Wirtschaftlichkeit der NC-Maschinen kontinuierlich verbessert haben. Besonderes Augenmerk wird auf die Zusammenarbeit von Werkzeugmaschinenherstellern, produzierenden Unternehmen, Hochschulen, Gewerkschaften, Verbänden und staatlicher Forschungsförderung im produktionstechnischen Innovationssystem gelegt, da diese die technologische Leistungsfähigkeit der westdeutschen Werkzeugmaschinenhersteller maßgeblich prägte. Da die Quellenlage zum Teil erhebliche Lücken aufwies, wurden diese durch zahlreiche Gespräche und Interviews mit Zeitzeugen aus Forschung und Industrie geschlossen.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5473-6

ISSN 2199-403X