



Ulrike Pröbstl-Haider · Christian Weiler

Technische Beschneigung und Umwelt

Hintergründe, Prozesse, Auswirkungen

OPEN ACCESS



Springer Spektrum

Technische Beschreibung und Umwelt

Ulrike Pröbstl-Haider · Christian Weiler

Technische Beschneidung und Umwelt

Hintergründe, Prozesse, Auswirkungen

Ulrike Pröbstl-Haider
Institut für Landschaftsentwicklung,
Erholungs- und Naturschutzplanung,
Universität für Bodenkultur Wien
Wien, Österreich

Christian Weiler
Klenkhart & Partner Consulting ZT
Gesellschaft m.b.H.
Absam, Österreich



ISBN 978-3-662-69777-1 ISBN 978-3-662-69778-8 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-69778-8>

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

Universität für Bodenkultur Wien
Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH

Dieses Werk wurde gefördert durch Universität für Bodenkultur Wien und Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2025 Dieses Buch ist eine Open-Access-Publikation.

Open Access Dieses Buch wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor*in(nen) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Buch enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des/der betreffenden Rechteinhaber*in einzuholen. Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: Mit freundlicher Genehmigung von Ulrike Pröbstl-Haider

Planung/Lektorat: Simon Shah-Rohlfis

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

*Das Buch ist Prof. Dr. Ulrich Ammer
gewidmet.*

Vorwort

Im Jahr 2006 erschien die erste Fassung dieses Buches unter dem Titel *Kunstschnee und Umwelt* mit Unterstützung des Deutschen Skiverbands im Haupt Verlag Bern. Der Wissensstand war damals sehr heterogen und Anlass für viele kontroverse Diskussionen. Diese erste Fassung versuchte, einen Überblick über die relevante Literatur und Forschung im Alpenraum zu geben. Ziel dieser ersten Fassung war es, im Zusammenhang mit der technischen Beschneigung zu einer Versachlichung der Diskussion beizutragen.

Fast 20 Jahre nach dieser ersten richtungsweisenden Zusammenstellung besteht die Möglichkeit, eine umfassendere Bilanz zu ziehen. Viele Studien, vor allem zur Vegetation und zum Wasserhaushalt, sind hinzugekommen. Auch hat die technische Beschneigung als Anpassung an den Klimawandel an Bedeutung gewonnen. In der vorliegenden Fassung werden diese neuen Erkenntnisse berücksichtigt, und es wird ein stärkerer Bezug zum Klimawandel hergestellt. Darüber hinaus erlaubt die Neufassung eine neue, detailliertere Bewertung des Sachverhalts allgemein und bezogen auf die diversen Schutzgüter.

Ein Vergleich der Ergebnisse nach 20 Jahren zeigt, dass sich durch technische Neuerungen sowie einen zunehmenden Einfluss des Klimawandels die möglichen Auswirkungen verändert haben. Insbesondere die Störungsintensität für Wildtiere hat durch die technische Neuerung abgenommen.

An Bedeutung gewonnen hat das Schutzgut Wasser, insbesondere die Schonung der Trinkwasserreserven und die Erhaltung naturnaher Gewässer. Neu hinzugekommen sind mit der Vielzahl der Speicherseen auch vermehrt Sicherheitsaspekte. Weiterhin erfordert die Zunahme von Starkregenereignissen als Folge der globalen Erwärmung ein besonderes Augenmerk. In anderen Bereichen trägt die Zusammenschau zu einer Konsolidierung des Wissensstandes bei.

Neben den Erkenntnissen aus diversen wissenschaftlichen Studien sollen vermehrt auch die praktischen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung von Belastungen angesprochen und mit umfangreichem Bildmaterial illustriert werden. Beispiele hierfür sind die Verpflanzung von Rasensoden, die Anlage von Amphibiengewässern parallel zum Speichersee oder die Entwicklung von Lebensräumen für Wildbienen und andere Insekten auf der Skipiste.

Die zahlreichen Beispiele aus Wissenschaft und Praxis unterstreichen die vielfältigen Möglichkeiten, Konflikte im Skigebiet zu vermeiden und die sommerliche Nutzung zugunsten der biologischen Vielfalt und Stabilität anzupassen.

Die Chance, durch das Einkommen aus dem Tourismus auf eine extensive naturnahe Landnutzung und Landschaftspflege auf Skipisten einzuwirken, sollte stärker als bisher genutzt werden.

Die umweltbezogene Verantwortung bei Bau und Betrieb von Beschneiungsanlagen ist und bleibt groß.

Wien, im Juni 2024

Dr. Ulrike Pröbstl-Haider
DI Christian Weiler

Danksagung zur ersten Fassung 2005

Die Grundlagen für die Entwicklung dieses Fachbuches wurden bereits Ende der 1980er-Jahre gelegt, um die heftige Diskussion zu den damals befürchteten Folgen der technischen Beschneigung zu versachlichen. 1998 wurde auf Anregung des Umweltbeirats des Deutschen Skiverbands der Grundstein für einen Langzeitversuch in Garmisch-Partenkirchen zu möglichen Auswirkungen auf die Vegetation gelegt. Mein Dank gilt zunächst der Stiftung Sicherheit im Skisport und hier besonders den Herren Himmelseher und Lauterwasser, die die Forschung auf der Kandahar-Strecke ermöglicht haben, Herrn Prof. Dr. Ammer vom Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz an der Ludwig-Maximilians-Universität München für die wissenschaftliche Begleitung der Versuchsreihe sowie den Mitarbeiterinnen Frau Siegl, Frau Hanak, Frau Eglseer und Herrn Dr. Breitsameter für die Durchführung der Außenaufnahmen, aber auch dem Sportamt Garmisch-Partenkirchen für die Unterstützung im Gelände. Herrn Prof. Dr. Pfadenhauer und Herrn Dr. Maas vom Lehrstuhl für Vegetationsökologie an der Technischen Universität München-Weihenstephan danke ich für die Unterstützung bei der vegetationskundlichen Auswertung und Interpretation.

Zu Dank verpflichtet bin ich auch Herrn Pihusch und Herrn Schneider für die Unterstützung bei der Herstellung von Karten und Grafiken.

Mein ausdrücklicher Dank für die Unterstützung im Bereich des Naturschutzes gilt Herrn Prof. Dr. Cernusca und Frau Prof. Dr. Tappeiner von der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Herrn Dr. Schauer vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft sowie den Herren Lutz und Leicht vom Landesamt für Umwelt. Herrn Prof. Dr. Hegg vom Systematisch-Geobotanischen Institut der Universität Bern danke ich für die Gesprächsbereitschaft und das Zurverfügungstellen von Literatur. Für den Gedankenaustausch bin ich weiterhin Herrn Prof. Dr. Roth vom Lehrstuhl für Natursport und Ökologie an der Deutschen Sporthochschule Köln zu Dank verpflichtet. Den Kollegen Dr. Möschke, Dr. Utschick und Dr. Zander danke ich für die Beratung zu Fragen des Wasser- und Bodenhaushaltes und der Fauna.

Den zahlreichen Gesprächen mit Seilbahnbetreibern in Deutschland, Österreich und der Schweiz, Herrn Ulmrich (†) vom Deutschen Skiverband sowie dem Verband Deutscher Seilbahnen verdanke ich wichtige Informationen in technischer Hinsicht.

Meinem Mann Andreas Pröbstl danke ich besonders für die tatkräftige Unterstützung und die Mithilfe bei der Fertigstellung.

Wien,
den 20. Oktober 2005

Dr. Ulrike Pröbstl

Danksagung zur Neufassung 2024

An dieser Stelle möchten wir auch in dem neu gefassten Buch allen Personen und Institutionen danken, die die erste Fassung unterstützt und gefördert haben. Mit der Neufassung sind jedoch weitere hinzugekommen, denen wir zu Dank verpflichtet sind.

Ein ganz spezieller Dank gilt dem Haupt Verlag, der eine neue Fassung unter Verwendung von Abbildungen und Grafiken ermöglicht hat. Weiterhin gilt unser Dank der Stiftung Sicherheit im Skisport, die die Literaturrecherche und Zusammenstellung neuer Ergebnisse durch Katharina Stallberger am Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung der Universität für Bodenkultur gefördert hat. Für die Diskussion inhaltlicher Fragen bedanken wir uns besonders bei den Kollegen des Umweltausschusses der OITAF. Unterstützung erhielten wir auch vom Wildbiologen Dr. Alois Zeitler und dem Biologen Dr. Hans Utschick, wir danken für Beratung und Zurverfügungstellen von Bildmaterial zur Veranschaulichung der Ergebnisse. Weiterhin möchten wir dem Umweltbundesamt, Prof. Dr. Herbert Formayer von der Universität für Bodenkultur und der Firma Techno Alpin für die Unterstützung mit Berechnungen und Bildmaterial danken.

Mit der Möglichkeit, das Buch Open Access präsentieren zu können, sind wesentliche Verbesserungen im Hinblick auf die Aufbereitung, wie Hinweise für die Praxis, möglich geworden. Wir danken dem Springer Verlag daher für die Betreuung der aufwendigen Gestaltung der neuen Buchfassung.

Weiterhin sind wir dem Gedankenaustausch und den Erfahrungsberichten diverser Seilbahnen im Alpenraum zu Dank verpflichtet. In diesem Zusammenhang möchte ich aus Österreich Herrn Wolfgang Hettegger von Snow Space Salzburg und Herrn Dr. Erich Egger von der Schmittenhöhebahn in Zell am See, Herrn Dr. Andy Varallo aus Alta Badia, Italien, sowie Herrn Aureli Bisbe Lluch aus dem Skigebiet Baqueira-Beret, Spanien, Herrn Mark Winkler von der Sextner Dolomiten Alm, Italien, Herrn Nicolas Vaclair von den Lenk Bergbahnen, Schweiz, und Herrn Egidius Stadler von den Seilbahnen am Sudelfeld in Bayrischzell, Deutschland, für ergänzende Informationen und Fallbeispiele danken.

Der Austausch mit der Praxis hat sicher die Anwendbarkeit der Ergebnisse gefördert.

Ein ganz herzliches Dankeschön verdienen Felicitas Steiner für ihre tatkräftige Unterstützung und ordnende Hand bei der Bildauswahl und Fertigstellung des Manuskripts sowie Nadja Spechtenhauser für Fehlerkorrekturen und eine kritische Durchsicht.

Wien,
den 1. Juni 2024

Ulrike Pröbstl-Haider
Christian Weiler

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung und Begriffsbestimmung	1
Literatur	3
2 Entwicklung der Beschneigungsanlagen – Ursachen und Motive für die Verbreitung in den Alpen	5
2.1 Erfindung des technischen Schnees	5
2.2 Motive für die Verbreitung der technischen Beschneigung in den Alpen	6
2.2.1 Sicherung der touristischen Auslastung durch Beschneigung	7
2.2.2 Sicherung des Images als Austragungsort internationaler Skiwettkämpfe und Garantie einer geregelten Abfolge des Wettkampfsports	11
2.2.3 Sicherung der Einnahmen der Seilbahnwirtschaft	13
2.2.4 Sicherung der Rahmenbedingungen für Training und Ausübung des Spitzensports	14
2.3 Beschneigung als Anpassung an den Klimawandel	15
2.3.1 Einfluss der Beschneigung auf den Klimawandel	18
2.3.2 Stand der Entwicklung und Perspektiven	22
Literatur	24
3 Abgrenzung der untersuchten Inhalte und Einführung in die Beschneigungstechnik	29
3.1 Grundlagen der Beschneigungstechnik	29
3.1.1 Die Bestandteile der Beschneigungsanlage	30
3.1.2 Betrieb der Anlage	45
3.2 Anforderungen an die natürlichen Ressourcen für eine wirtschaftliche Beschneigung	56
3.3 Abgrenzung der dargestellten Inhalte	58
Literatur	64

4	Auswirkungen der Beschneigung auf den Naturhaushalt –	
	Wirkprognosen und ökologisches Risiko	67
4.1	Einführung in die Ableitung eines ökologischen Risikos	68
4.2	Auswirkungen auf Boden und Vegetation	69
4.2.1	Mögliche Schutzeffekte durch die Schneeeauflage	71
4.2.2	Einfluss der erhöhten Schneedichte und Tendenz zur Vereisung	78
4.2.3	Auswirkungen einer verlängerten Schneebedeckungszeit	80
4.2.4	Einfluss durch Stoffeintrag aus dem Beschneigungswasser.	92
4.2.5	Einfluss der aufgebrauchten Wassermenge	97
4.2.6	Zusammenfassung der Auswirkungen auf die Vegetation.	106
4.2.7	Ableitung des ökologischen Risikos für Vegetation und Boden	109
4.2.8	Mögliche baubedingte Auswirkungen auf Vegetation und Boden	114
4.3	Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	116
4.3.1	Auswirkungen auf Gewässerökosysteme durch Wasserentnahme.	117
4.3.2	Auswirkungen durch Aufbringen von zusätzlichem Wasser und Abschmelzen der erhöhten Wassermengen. . .	124
4.3.3	Risiken durch Schneiteiche bzw. Speicherseen	128
4.3.4	Belastung durch Stoffeintrag	129
4.3.5	Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Wasser	130
4.3.6	Baubedingte Belastungen.	132
4.4	Auswirkungen auf die Tierwelt	133
4.4.1	Indirekte Auswirkungen durch Standortveränderungen und Vegetationsverschiebungen	135
4.4.2	Auswirkungen der Beschneigung durch Lärm, Licht und Betreuung der Anlage.	146
4.4.3	Verhaltensprognosen und potenzielle Betroffenheit bei ausgewählten Arten	162
4.4.4	Indirekte Auswirkungen auf die Fauna durch Veränderungen und Beeinträchtigungen von Feuchtlebensräumen.	181
4.4.5	Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Fauna	186
4.4.6	Potenzielle baubedingte Auswirkungen.	189
4.5	Auswirkungen auf das Kleinklima.	190
4.5.1	Mögliche anlage- und betriebsbedingte Auswirkungen. . .	190

4.5.2	Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Kleinklima	192
4.5.3	Baubedingte Auswirkungen	192
4.6	Auswirkungen auf das Landschaftsbild	193
4.6.1	Mögliche Auswirkungen bei Anlage und Betrieb	194
4.6.2	Mögliche positive Auswirkungen auf das Landschaftsbild	206
4.6.3	Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Landschaftsbild	209
4.6.4	Mögliche Auswirkungen beim Bau	209
4.7	Auswirkungen auf das Schutzgut Mensch	209
4.7.1	Auswirkungen durch Lärm	209
4.8	Auswirkungen auf das Schutzgut Kultur- und Sachgüter	212
	Literatur	212
5	Empfehlungen für Genehmigung, Planung, Bau und Pflege	223
5.1	Allgemeine Hinweise zur Vermeidung und Minimierung potenzieller Auswirkungen	223
5.1.1	Vermeidung und Minderung von Vegetationsveränderungen	224
5.1.2	Maßnahmen zur Vermeidung von Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser	233
5.1.3	Hinweise zur Vermeidung und Verminderung potenzieller Auswirkungen auf die Fauna	234
5.1.4	Maßnahmen zur Vermeidung landschaftsästhetischer Auswirkungen	238
5.2	Allgemeine Anforderungen	240
5.2.1	Anforderungen an die Antragsunterlagen	240
5.2.2	Anforderungen an den Standort	241
5.2.3	Anforderungen an die Errichtung einer Beschneigungsanlage	241
5.2.4	Anforderungen an die Eigenüberwachung	244
5.2.5	Anforderungen an den Bescheid	244
	Literatur	245
6	Zusammenfassung und Ausblick	247
	Literatur	249



Einführung und Begriffsbestimmung

1

Zusammenfassung

Das Kapitel stellt die Zielsetzung und die Zielgruppen des Buches vor. Mit der Zusammenstellung von Fachinformationen sollen Wintersportler und Wintersportlerinnen, Seilbahnwirtschaft, Tourismusdestinationen aber auch Umwelt- und Naturschutzverbände angesprochen werden. Ziel ist es zu einem nachhaltigen Skibetrieb in den Alpen beizutragen. Weiterhin finden sich in diesem Kapitel Erläuterungen zu wichtigen Fachbegriffen.

Seit Beginn der 1980er-Jahre wird im europäischen Alpenraum das Thema Beschneidung kontrovers diskutiert. Schlagzeilen wie „4000 Kanonen nehmen die Alpen unter Beschuss – Das letzte Gefecht auf der Piste“ (Süddeutsche Zeitung 1990) auf der einen Seite und Meldungen wie „Grüner Winter bringt rote Zahlen“ (Tiroler Tageszeitung 1990) auf der anderen Seite machen die unterschiedlichen Standpunkte deutlich.

Für viele Personen im Umwelt- und Naturschutz ist die technische Beschneidung ein weiterer Versuch, die Umwelt den Ansprüchen des Menschen um jeden Preis unterzuordnen. Für Tourismus, Fremdenverkehr und Seilbahnwirtschaft geht es darum, das Einkommen in der Wintersaison zu sichern oder wenigstens teilweise zu garantieren. Während Letzteres durch zahlreiche Studien belegt ist (Falk 2013; Steiger et al. 2021; Pröbstl-Haider et al. 2019) besteht im Bereich der Umweltaspekte und des Naturschutzes erheblicher Diskussionsbedarf.

Da es zunächst nur wenige Schneesportanlagen im Alpenraum gab und langfristig angelegte wissenschaftliche Studien mit dem Tempo der Neueinrichtung nicht Schritt halten konnten, war der öffentliche Gedankenaustausch zu diesem Thema überwiegend von Vorurteilen geprägt.

Die ältesten Anlagen im Alpenraum bestehen bereits seit über 30 Jahren, und im gesamten Alpenbogen wurden Forschungsarbeiten zu diesem Themenkomplex durchgeführt, bietet sich jetzt die Möglichkeit, aus naturschutzfachlicher Sicht

Bilanz zu ziehen und die tatsächlichen von den prognostizierten Folgen zu trennen. Zielsetzung dieses Buches ist es, die unterschiedlichsten Forschungsvorhaben und praktischen Erfahrungen zur Beschneigung zusammenzutragen, zu sichten und Konsequenzen für die Planung und Genehmigung von Beschneigungsanlagen abzuleiten. Weiterhin soll das Buch interessierten Wintersportlerinnen und Wintersportlern, der Seilbahnwirtschaft, Tourismusdestinationen, Umwelt- und Naturschutzverbänden u.v.a. Fachinformationen liefern und auch aufzeigen, welche Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung von Belastungen bestehen.

Ziel ist es, insgesamt zu einem nachhaltigeren Skibetrieb in den Alpen beizutragen.

Begriffsbestimmungen

Eingangs werden zum besseren Verständnis einige Begriffsklärungen vorgenommen. Weitere detaillierte Ausführungen zur Beschneigungstechnik sind in den folgenden Kapiteln (insbesondere in Kap. 3) enthalten.

► **Kunstschnee – technischer Schnee – Kompaktschnee – Maschinenschnee – Basisschnee** Bereits durch die Verwendung der unterschiedlichen Begriffe bringen Befürworter und Gegner ihre Einstellung zum Ausdruck. Die synonym gebrauchten Begriffe wie „künstliche Beschneigung“ oder „technische Beschneigung“ beschreiben jeweils den gleichen Prozess: Wasser wird mithilfe von Druckluft oder einem Gebläse zerstäubt. Unter bestimmten klimatischen Voraussetzungen gefrieren die feinen Partikel im Flug und sinken in Form von Schneekristallen zu Boden.

Neben den auf die Herstellung bezogenen Begriffen („Kunstschnee“, „technischer Schnee“, „Maschinenschnee“) wird ein weiterer Ausdruck synonym verwendet, der sich mehr auf die Eigenschaften des technisch erzeugten Schnees bezieht: der sogenannte Kompaktschnee. Die runde Form der Schneekristalle entspricht nach ihrer Struktur nicht dem Neuschnee, sondern eher den runden Formen der Schneekristalle einer Altschneedecke. Daher ist eine andere Lagerungsdichte der Schneekristalle, vergleichbar einer Altschneedecke, gegeben. Dieser Begriff konnte sich im allgemeinen Sprachgebrauch nicht durchsetzen. Schließlich wurde Mitte der 1990er-Jahre als weiterer Begriff „Basisschnee“ in Österreich geprägt, der sich vor allem in der Fachliteratur wiederfindet. Er leitet sich wahrscheinlich aus der Praxis ab, in den frühen Wintermonaten eine „Grundbeschneigung“ oder „Basisbeschneigung“ durchzuführen (Fuhrmann 1996).

► **Beschneigungsanlage – Schneeanlage** Unter den Begriffen „Beschneigungsanlage“ oder „Schneeanlage“ wird die gesamte, für die Beschneigung einer Piste erforderliche Einrichtung aus Leitungen für Wasser und Strom, Kühlturm, Steuerungsstation, Schneekanone usw. zusammengefasst.

► **Schneekanone – Schneeerzeuger** Als „Schneeerzeuger“ oder „Schneekanone“ werden Geräte bezeichnet, mit deren Hilfe der technisch erzeugte Schnee

hergestellt und versprüht wird. Dabei unterscheidet man sogenannte Hoch- bzw. Niederdruckanlagen oder Sonderformen, wie die Be

Literatur

- Falk, M. (2013): A survival analysis of ski lift companies. *Tourism Management* 36, 377–390.
- Fuhrmann, H. (1996): Basisschnee – Einführung in die Nivologie, VSI, Salzburg.
- Pröbstl-Haider, U., Harold, R., Türk, S., Hrsg. (2019): Winter tourism: Trends and challenges, CABI, Wallingford.
- Steiger, R., Damm, A., Pretenthaler, F., Pröbstl-Haider, U. (2021): Climate change and winter outdoor activities in Austria. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, (34), 100330.
- Süddeutsche Zeitung (1990): 4000 Kanonen nehmen die Alpen unter Beschuß – Das letzte Gefecht auf der Piste. *Süddeutsche Zeitung*, (44), 12.
- Tiroler Tageszeitung (1990): Grüner Winter bringt rote Zahlen. *Tiroler Tageszeitung*, (81), Ausgabe vom 06.04.1990, 15.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Entwicklung der Beschneigungsanlagen – Ursachen und Motive für die Verbreitung in den Alpen

2

Zusammenfassung

Das Kapitel dient der Einführung in die Thematik und beschreibt die Entwicklungsgeschichte der technischen Beschneigung mit Schwerpunkt auf den Alpenraum von der Erfindung bis zur weit verbreiteten Anwendung. Ausführlich widmet sich das Kapitel den Motiven, die wesentlich zum Einsatz der neuen Technologie beigetragen haben, und der technischen Beschneigung als Anpassung an den Klimawandel. Dabei wird aufgezeigt, dass mit der globalen Erwärmung auch die Rahmenbedingungen für die Beschneigung bereits deutlich ungünstiger geworden sind. Abschließend werden die zukünftige Entwicklungsperspektive, auch unter Beachtung von Klimaschutzmaßnahmen der Betriebe, und die Eigenverantwortung des Gastes diskutiert. Es ist zudem davon auszugehen, dass auch eine veränderte Nachfrage, etwa durch Zunahme der Nichtskifahrerinnen und -skifahrer, die Bedeutung der technischen Beschneigung in Zukunft beeinflussen wird. Insgesamt wird langfristig von einer zunehmenden räumlichen Konzentration der Skiregionen im Alpenraum auszugehen sein.

2.1 Erfindung des technischen Schnees

Die Beschneigungsanlagen gehen auf Erfindungen in Nordamerika zurück. Nahezu zeitgleich wurde das Prinzip der technischen Beschneigung von verschiedenen Technikern und Ingenieuren entdeckt und weiterentwickelt.

Am 14. März 1950 soll der erste erfolgreiche Versuch, mit einer Hochdruckkanone (Erläuterung des Prinzips s. Kap. 3) Schnee zu erzeugen, stattgefunden haben. Das Patent für diesen Schneeerzeuger beantragten die Erfinder A. Hunt, W. Pierce und D. Richey. Im Winter 1950/51 wurden erste Systeme dieses Typs aufgestellt. Parallel dazu beschäftigte sich der Ingenieur P. Tropeano mit der Entwicklung von Beregnungsanlagen. Dabei führte er einer Anlage neben Wasser

auch Druckluft zu. Da die Außentemperatur unter 0 °C lag, bildete sich unerwarteterweise technischer Schnee. Gemeinsam mit seinem Bruder J. C. Tropeano konstruierte er ohne Kenntnis des oben genannten Patents ebenfalls einen Schneeeerzeuger. Nur wenige Jahre später (1958) wurde von A. Hanson das Patent für einen Propeller-Schneeeerzeuger (Erläuterung des Prinzips s. Kap. 3) angemeldet. In den Vereinigten Staaten setzten sich die Beschneiungsanlagen rasch durch und wurden durch eine geschickte Vermarktung auch in Deutschland, in den angrenzenden Alpenländern und den skandinavischen Ländern in den 1960er-Jahren ausprobiert und eingesetzt. So wurde in Deutschland 1963 die erste funktionierende Beschneiungsanlage in St. Andreasberg im Harz installiert.

Die anfängliche Begeisterung, die Anlagen auch in Deutschland einsetzen zu können, wurde dadurch gebremst, dass in Mitteleuropa die zur Beschneiung notwendigen niedrigen Temperaturen nicht wie in den Vereinigten Staaten oder in Skandinavien regelmäßig im Winter zur Verfügung stehen. Erst durch weitere Verbesserungen wurden die Schneegeräte auch für den deutschen Markt und die angrenzenden Alpenländer mit ähnlichen Bedingungen interessant. So wurden durch Änderungen an der Steuerung, der Spritzvorrichtung und der Luftzuführung die Propeller-Schneeeerzeuger erheblich verbessert. Sie kamen 1969 bei Reichenhall erstmals zum Einsatz.

Die erste reguläre Skipiste für den Wintersport wurde in den Alpen jedoch erst 1972 beschneit. Es handelte sich um die Piste der Christlum-Lifte in Achenkirch (Witty 1993). 1987 wurde die erste europäische Großschneeanlage in Savognin in der Schweiz gebaut, der 1981 im Zusammenhang mit der Ski-WM 1982 in Schladming die erste große Schneeanlage in Österreich folgte (Wechsler 2014). Seit Mitte der 1980er-Jahre kommt die technische Beschneiung im Alpenraum großflächig zum Einsatz.

2.2 Motive für die Verbreitung der technischen Beschneiung in den Alpen

Insgesamt lassen sich folgende Leit motive für die Verbreitung der technischen Beschneiung erkennen:

- Sicherung der touristischen Auslastung durch „Schneegarantie“ und Qualitätsverbesserung der Skiabfahrten
- Sicherung des Images eines Wintersportortes als Gastgeber für internationale Skiwettkämpfe sowie ihrer termingerechten Durchführung
- Sicherung der Einnahmen der Seilbahnwirtschaft
- Sicherung der Rahmenbedingungen für Training und Ausübung des Spitzensports

Diese Motive kommen nicht selten in Kombination vor. Seit 2000 dient die Beschneiung auch zunehmend dazu, die Folgen des Klimawandels zu kompensieren (Scott & McBoyle 2007; Bußjäger & Ennöckl 2019; Dawson & Scott 2013;

Unbehaun et al. 2008). Nachstehend werden die Leitmotive anhand konkreter Beispiele aus dem Alpenraum dargestellt.

2.2.1 Sicherung der touristischen Auslastung durch Beschneigung

Das Problem wechselhafter Bedingungen im Hinblick auf Temperaturen und natürlichen Schneefall beschäftigte die Skigebiete seit Langem.

Vorreiter einer Entwicklung hin zu einer touristisch verlässlichen Schneedecke waren die französischen Skiorte. Die Notwendigkeit dazu, insbesondere im Hinblick auf die in Frankreich für den Skisport und den Tourismus getätigten immensen Investitionen, wird von Pugois (1990) anschaulich beschrieben. Die rasche Ausstattung der französischen Skigebiete mit Beschneigungsanlagen (die beschneite Fläche stieg in nur zehn Jahren von etwa 20 ha im Jahr 1980 auf rund 800 ha im Jahr 1990) war eine direkte und konsequente Fortsetzung der eingeleiteten Entwicklung hin zum Grand Ski. „Grand Ski“ bedeutete große, neu erschlossene Gebiete mit optimalen Wintersportbedingungen, die sich am Bedarf des Massentourismus ausrichteten. Diese Zentren, die zudem nur über wenige alternative Freizeitangebote verfügen, sind direkt von optimalen Bedingungen für den Skisport und damit von einer ausreichenden Schneemenge abhängig. Viele dieser Orte benötigen einen hohen Anteil von Festbuchungen z. B. aus England oder den Beneluxländern, um wirtschaftlich überleben zu können. Befragungen unter den Anbietern in diesen Ländern ergaben, dass nur „Schnee Garantien“ durch Beschneigung die notwendige Auslastung dieser Wintersportzentren sichern können.

In der Schweiz, in Österreich, Deutschland und Italien mit anderen, größtenteils gewachsenen, traditionsgebundenen touristischen Strukturen vollzog sich die Entwicklung etwas langsamer, aber auch hier wurden schneearme Winter als Bedrohung für die touristischen Strukturen empfunden.

Am Beispiel der autonomen Provinz Trient schildert Tononi (1990) die Situation nach zwei schneearmen Wintern. Nachdem rund 3 % der Arbeitsplätze direkt oder indirekt vom Wintersport abhängig sind, sei diese Region besonders auf den Wintersport angewiesen. Die Folgen schneearmer Winter wurden wie folgt charakterisiert: Das Trentino ist im touristischen Bereich durch kleine Betriebe gekennzeichnet, zwischen denen enge Wechselbeziehungen bestehen und die vielfach stark spezialisiert sind. Diese – zumeist Familienbetriebe – können im Fall von ungünstigen Witterungsbedingungen eine hohe Reaktionsfähigkeit („Abwarten“, „Gürtel enger schnallen“ usw.) entwickeln. Diese Flexibilität sei aber nach der zweiten Saison ohne Schnee erschöpft gewesen. Zu den direkten Folgen zählten im Winter 1988/89 eine Verringerung des Besuchs um 12 % und eine zweijährige Arbeitslosigkeit von 1500 Skilehrerinnen und Skilehrern.

Als ebenso gravierend wurden von den Betroffenen damals aber auch die indirekten Folgen beurteilt:

- Exponentieller Rückgang der Besucherzahlen bei den Urlauberinnen und Urlaubern durch negative Werbung und deren Multiplikationen („Die Auswirkungen im Kopf des Touristen“), begünstigt durch eine steigende territoriale Mobilität der Skifahrerinnen und Skifahrer
- Zusätzliche Einbußen durch das Ausbleiben des Ausflugsverkehrs und Abwanderung dieser Gruppe in Gebiete mit höherer Schneesicherheit durch Beschneigung oder in höheren Lagen

Abb. 2.1. visualisiert, wie sich die erlebbare Landschaft, die Anpassungsstrategien und die sozioökonomischen Rahmenbedingungen auf die Entscheidungen des



Abb. 2.1 Entscheidungen der Gäste bei der Destinationswahl. (Verändert nach PRÖBSTL-HAIDER & MOSTEGL 2024)

Gastes auswirken können. Nicht zu unterschätzen ist in diesem Zusammenhang auch der Einfluss der gesellschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Klimawandel und Anpassungsstrategien wie der Beschneigung. Nach Auffassung zahlreicher Wintersportdestinationen sind weniger die Nachbarregionen die Kontrahenten als vielmehr Alternativen wie der Südseeurlaub, der Tauchurlaub oder die Kreuzfahrt (Pröbstl-Haider 2019).

Es besteht auch die Sorge, die Gäste bei wiederkehrendem Schneemangel dauerhaft zu verlieren. Daher hat in vielen Destinationen im Alpenraum zwischen den Jahren 1990 und 2010 die Abhängigkeit vom wintertouristischen Angebot erheblich zugenommen (Steiger et al. 2021; Falk 2013).

Diese Einschätzung wurde bereits Ende der 1980er-Jahre durch Analysen aus Deutschland bestätigt: 15 % der bundesdeutschen Bevölkerung verzichteten wegen der mangelhaften Schneelage auf einen Winterurlaub in der Saison 1989/90. Dies entsprach damals nach Schätzungen des Studienkreises für Tourismus in Starnberg einem Rückgang von rund 61 Mio. Übernachtungen.

Die Empfindlichkeit im Hinblick auf die Schneesicherheit ist weiterhin hoch (Steiger et al. 2021; Pröbstl-Haider & Mostegl 2019; Pröbstl-Haider 2016). Befragungen von Skifahrerinnen und Skifahrern aus Deutschland, Österreich und Italien ergaben folgende Präferenzen: Als besonders wichtig wird die Schneesicherheit eingestuft. Ein Anteil von min. 50 % der Pistenanteile über 1500 m Seehöhe wird dabei bevorzugt.

Auch auf den Preis wird zunehmend sensibel reagiert (Abb. 2.2.). Zu den wichtigen Aspekten bei der Buchung eines Skigebiets gehören weiterhin die Pistenkilometer, denn noch immer steigt in der Wahrnehmung der Gäste die Attraktivität eines Gebiets mit dessen Größe. Ebenfalls wichtig ist die Landschaft und hier vor allem die Möglichkeit eines besonderen Panoramablickes auf verschiedene Berge und Täler sowie die direkte Erreichbarkeit der Unterkunft von der Piste (Ski-in Ski-out). Die Nähe zu Gletscherskigebieten und der Anschluss an öffentliche Verkehrsmittel sind für die bevorzugt mit dem eigenen PKW anreisenden Gäste weniger wichtig. Vergleichende Studien (Pröbstl-Haider & Mostegl 2019) zeigen, dass für das italienische Publikum die Möglichkeit einer Anreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln deutlich wichtiger ist.

Nachdem auch für Österreich, Südtirol und die Schweiz die deutschen Wintersportlerinnen und Wintersportler zu den wichtigsten Urlaubersegmenten gehören, führt eine negative Einstellung zum Winterurlaub in Deutschland zu erheblichen Folgeeffekten auch in anderen Tourismusdestinationen des Alpenraumes.

Daher erfolgte im Alpenraum seit Beginn der 1990er-Jahre eine rasche Einführung der Beschneigungsanlagen, um die touristische Auslastung der Wintersportorte zu sichern. Falk (2013) konnte nachweisen, dass die Skigebiete, die früh in Beschneigung investiert haben, bis heute ökonomisch besonders erfolgreich sind.

Zahlen aus Österreich unterstreichen die wirtschaftliche Abhängigkeit vom Wintertourismus. So lagen die Übernachtungszahlen im Winter in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol und Salzburg seit Mitte der 1980er-Jahre höher als die Übernachtungszahlen in den Sommermonaten. Der Wintersport spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle.

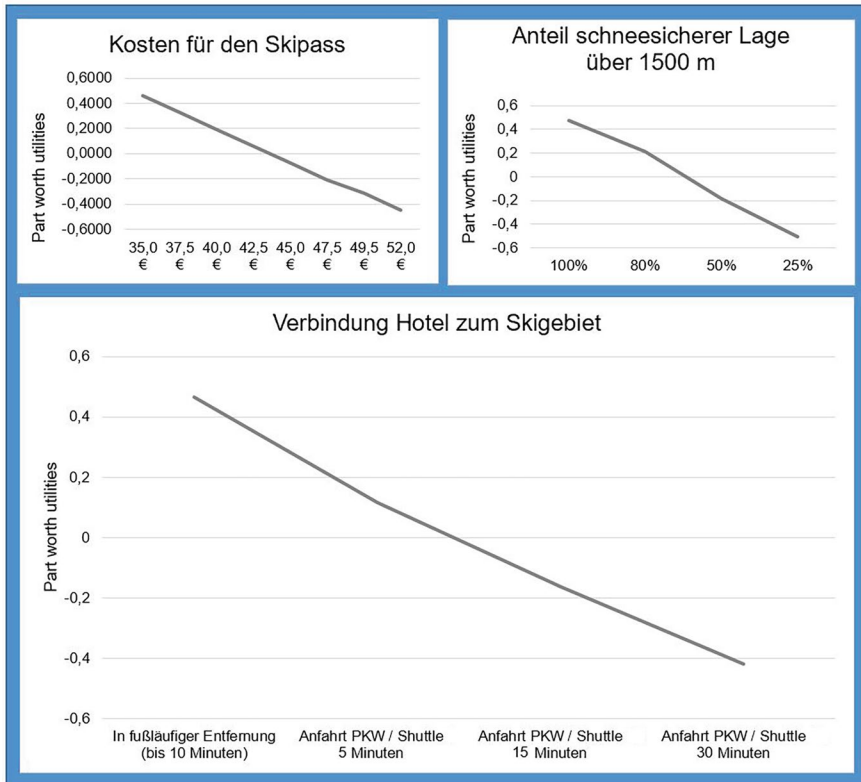


Abb. 2.2 Die Abbildung zeigt die Ergebnisse von Auswahlentscheidungen zwischen verschiedenen Skigebieten mit unterschiedlichen Eigenschaften und geben den Teilnutzen für diese Eigenschaften wieder (part worth utilities). Die wichtigsten Faktoren bei der Skigebietsauswahl, basierend auf einem Choice Experiment (N=1430), stellen neben der Schneesicherheit die Kosten und die Möglichkeit des Ski-in Ski-out zur Übernachtungseinrichtung dar. Die Größe des Skigebiets folgt erst an vierter Stelle. (Pröbstl-Haider & Mostegl 2016)

Immer wieder wird von den Wintersportorten in diesem Zusammenhang auf den internationalen Standortwettbewerb hingewiesen, der zunehmend härter geworden sei. Ein wichtiges Argument ist dabei auch die sogenannte Umwegrentabilität des alpinen Skilaufes für eine Fremdenverkehrsregion.

Rund 66 % der Übernachtungen im Winter (November bis April) entfallen auf Wintersportgemeinden mit mehreren Seilbahnanlagen (Fleischhacker 2018). Weiterhin spielt in diesem Zusammenhang die Verteilung der Ausgaben eine große Rolle. Dies kann am Beispiel Österreich gezeigt werden: Aufgrund der deutlich höheren Ausgaben der Wintergäste (185 € pro Tag) im Vergleich zu den Sommergästen (160 € pro Tag) wiegen Verluste an Wintergästen deutlich schwerer und lassen sich nicht einfach durch mehr Sommergäste kompensieren (Steiger et al. 2021). Weiterhin profitiert die touristische Region durch den seilbahnbezogenen Wintersport direkt durch Zusatzausgaben der Gäste und indirekt durch zu-

arbeitendes Gewerbe. So führen von 1000 € an Löhnen, Gehältern und Gewinnen bei der Seilbahn zu einer Wertschöpfung in der Region von ca. 6000 € im Oberallgäu und zu ca. 8000 € im Bayerischen Wald oder auch in Österreich (MANOVA 2019).

Wechsler (2014) stellt weiterhin heraus, dass die technische Beschneigung auch dazu beigetragen hat, die Pistenqualität trotz erheblich gesteigener Förderkapazitäten zu sichern. Auch der Einfluss veränderter Skifahrtechnik mit Carvern und die Entwicklung des Snowboards sind ohne eine veränderte Pistenpräparation mithilfe von technischem Schnee kaum denkbar. Mit der Beschneigung ist auch der Qualitätsanspruch des Gastes an die Pisten gestiegen.

Ein zentrales Reisemotiv für den Urlaub in den Wintermonaten ist, wie Besucherbefragungen zeigen, das „Wintererlebnis“ bzw. das Erlebnis einer winterlichen Landschaft (Bausch 2021; Roth et al. 2018). Das Skifahren gilt als Winteraktivität. Dies erklärt vielleicht auch, warum die Erholungssuchenden mehrheitlich erwarten, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt die Rahmenbedingungen für ihre Aktivität (z. B. Winterwandern, Skilaufen) gegeben sind. So soll die Wintersaison Mitte Dezember, spätestens zu Weihnachten beginnen. Hier ist die Bereitschaft, den Wintersport auch bei begrenzten Bedingungen auszuüben, sehr groß. Umgekehrt bleiben dagegen hervorragende Schneeverhältnisse im April vielfach ohne Resonanz. Wenn die klimatischen Rahmenbedingungen im Frühjahr auch die Ausübung anderer Freizeitaktivitäten wie Radsport, Wandern und Inlineskating zulassen, dann werden vielfach trotz bester Schneelage eher diese Aktivitäten nachgefragt.

Damit kommt nicht nur der Schneegarantie an sich, sondern vielmehr der termingerechten Schneegarantie in den Tourismusorten eine besondere Bedeutung zu. Zur Verschärfung dieser Situation können die Ferientermine beitragen, da in diesen Zeiträumen das „wirtschaftliche Abschneiden“ der Wintersaison entschieden wird. Diese Faktoren begünstigen jene Gebiete, die über eine Beschneiungsanlage verfügen, und verschärfen die Rahmenbedingungen für die Betriebe ohne technische Beschneigung.

Berghammer und Schmude (2014) untersuchten den Einfluss des Klimawandels auf die Eröffnung der Wintersaison. Ihre Ergebnisse zeigen, dass die Zeiträume um Weihnachten immer ungünstiger werden und die Saison von Weihnachten in Richtung Ostern verschoben werden sollte. Damit wird das Thema „termingerechter Winter“ zu einer wachsenden Herausforderung, vor allem für die niedriger gelegenen Destinationen.

2.2.2 Sicherung des Images als Austragungsort internationaler Skiwettkämpfe und Garantie einer geregelten Abfolge des Wettkampfsports

Nachdem 1980 die Olympischen Winterspiele in Lake Placid in den USA ihre erfolgreiche Durchführung zu einem großen Anteil den Möglichkeiten der technischen Beschneigung zu verdanken hatten, begann die Diskussion über die Not-

wendigkeit einer technischen Beschneigung zur Sicherung internationaler Großveranstaltungen auch in Mitteleuropa. 1981 gewährten die österreichische Bundes- und die steirische Landesregierung den ersten großen Staatszuschuss zum Bau einer Beschneiungsanlage aus Anlass der Alpinen Weltmeisterschaften in Schladming. Auch die in Deutschland aufgrund der hohen Investitionskosten zurückhaltende Einführung der Beschneigung wurde durch das rasche Aufeinanderfolgen von zwei schneearmen Wintern Ende der 1980er-Jahre beeinflusst. Neben den touristischen Einbußen war es gerade der Verlust an Reputation im internationalen Skizirkus, der hier zu raschen Entscheidungen zwang. Am Beispiel des Skortes Garmisch-Partenkirchen lässt sich anhand der Presseberichte von 1989 und 1990 das Dilemma zeigen, in dem die Orte steckten, die neben dem Tourismus auch im internationalen Rennsport ihren „guten“ Namen behalten wollten.

Nach der Absage des Ski-Weltcups 1989 veröffentlichte die örtliche Presse unter der Schlagzeile „Bedeutet das ein ‚Aus‘ für immer?“ ein Interview mit dem Beauftragten des Organisationskomitees, das, stellvertretend für viele Orte in ähnlicher Situation, hier verkürzt wiedergegeben werden soll:

„Grundsätzlich ist Garmisch-Partenkirchen auch nach zwei Absagen in aufeinanderfolgenden Jahren noch im Rennen, denn Garmisch-Partenkirchen besitzt im internationalen Skizirkus einen hohen Stellenwert. Die Gefahr, dass der Ort von der Liste der in Frage kommenden Skiorte endgültig gestrichen würde, bestehe dann, wenn das zum dritten Mal passiert [...] Für die Bewerbung um den Weltcup 1990 müssen die Garmisch-Partenkirchner Schnee versprechen [...], ein Teil des Versprechens müssen Schneeerzeuger sein, also hängt von der Entscheidung des Landratsamtes ein Teil der sportlichen Zukunft des ‚Weltkurortes‘ ab.“ (Wochenblatt-Express 1989)

Ein Jahr später berichtet der *Münchener Merkur* in einem Kommentar über den Weltcup:

„[...] Die nächste Herren-Abfahrt ist für den 13. Januar 1990 in Garmisch-Partenkirchen geplant. Auch dort sind inzwischen Schneeerzeuger stationiert. Man hat aufgerüstet nach den bitteren Erfahrungen der letzten Jahre, als mit Absagen auch das Renommee des Wintersportortes in Mitleidenschaft gezogen worden war. [...]“ (Münchener Merkur 1989)

Die negativen Erfahrungen der Vergangenheit haben ihren Niederschlag auch im Reglement des Internationalen Skiverbands (Fédération Internationale de Ski, FIS), gefunden. So ist für Orte, die sich für die Durchführung einer Weltcup-Veranstaltung bewerben, seit Langem eine Beschneiungsanlage vorgeschrieben (Stuedler 1999).

Zu den Dokumenten, die für eine Homologierung¹ einer Wettbewerbsstrecke der FIS vorgelegt werden müssen, zählen unter anderem Angaben zur Wassergewinnung und zu technischen Schneeerzeugern. Dazugehörige Pläne müssen

¹ Der Ausdruck „Homologierung“ stammt aus dem Altgriechischen und betraf ursprünglich die gerichtliche Beglaubigung der Übereinstimmung von Schriftstücken. Heute wird damit die Zulassungsprozedur für Wettbewerbsstrecken für den alpinen Skisport bezeichnet. Dabei wird gewährleistet, dass die Mindestanforderungen des Internationalen Skiverbandes (FIS) eingehalten sind.

neben der Wettkampfstrecke auch detaillierte Angaben zur Beförderungsanlage, zur Lage von Hydranten zur Schneeerzeugung und von Schneezäunen enthalten (FIS 2020).

2.2.3 Sicherung der Einnahmen der Seilbahnwirtschaft

Neben dem sportlichen Image (Beispiel Garmisch-Partenkirchen) und der vielerorts großen touristischen Abhängigkeit (Beispiel Trentino) wurde der Ausbau der Beschneiungsanlagen auch unter dem Einfluss der erheblichen Einbußen bei den Seilbahnunternehmen gefördert. In der Wintersaison 1987/88 musste die Branche in Deutschland nach Angaben des Verbands Deutscher Seilbahnen e. V. (VDS) Umsatzrückgänge von bis zu 50 % hinnehmen. Auch der darauffolgende Winter 1988/89 hat vielen Schleppliften und Seilbahnen weniger als 20 % des üblichen Wintererlöses eingebracht:

„Die schneearme Saison bringt schreckliche Einbußen mit sich – Schlepplifte und Seilbahnen sind auf finanzieller Talfahrt – Verband beklagt auch heuer arge Verluste für die meisten Betriebe. [...] Zur finanziellen Talfahrt wurde der Winter bisher für die meisten Betriebe, die Brettlfans nach ganz oben befördern. Viele Schlepplifte und Seilbahnen bringen in dieser schneearmen Saison keine 20 % des üblichen Wintererlöses ein. Und das nachdem die Branche schon vor einem Jahr Umsatzrückgänge von bis zu 50 % beklagte. Von „schrecklichen Einbußen“ spricht jedenfalls Franz Zbiel, Vorsitzender des Verbandes Deutscher Schlepplifte und Seilbahnen. [...]“ (Weilheimer Tagblatt 1989, S. 6)

In ähnlicher Weise beklagte die österreichische Seilbahnwirtschaft als Folge der schneearmen Winter bei den mittelgroßen Unternehmen im Durchschnitt 40%ige Umsatzeinbußen, die in Einzelfällen sogar bei bis zu 70 % gelegen hätten (Tiroler Tageszeitung 1990). Dieser negativen Bilanz werden die deutlich besseren Ergebnisse der Gebiete gegenübergestellt, die über Beschneiungsanlagen verfügen konnten:

„[...] Große Bereiche der Seilbahnwirtschaft beenden die vergangene Saison mit roten Zahlen. [...] Verluste gab es auch in sogenannten ‚schneesicheren‘ Regionen. Weniger betroffen waren Gebiete, in denen Schneekanonen im Einsatz waren.“ (Tiroler Tageszeitung 1990)

Viele Skigebiete, die in der Nähe von urbanen Zentren liegen, sind stark vom Ausflugsverkehr abhängig. Feste Absprachen mit Busunternehmen und Skischulen sichern vor allem kleinen und mittleren Seilbahnunternehmen einen wirtschaftlichen Betrieb. Kann den Skischulen kein regelmäßiger Betrieb garantiert werden, dann fallen diese bislang vielfach „sicheren Einnahmen“ weg.

Aufgrund der fehlenden Planungssicherheit für Vereine und Verbände bedeutet dies nach Auskunft kleinerer und mittlerer Skigebiete meist eine dauerhafte Abwanderung ins angrenzende Ausland, wenn dort durch eine entsprechende

Beschneigungsanlage fixe Terminplanungen möglich sind (Stadler, mündliche Mitteilungen 2019).

Im Zusammenhang mit der Umwegrentabilität (Abschn. 2.2.1) war das ein wichtiges Argument, um der Beschneigung eine hohe Bedeutung „wirtschaftlicher und sozialer“ Art, insbesondere im Rahmen von Förderungen und Genehmigungen, zuzuerkennen. Diese Einstufung hat auch Einfluss auf die Genehmigungsfähigkeit der Anlagen.

2.2.4 Sicherung der Rahmenbedingungen für Training und Ausübung des Spitzensports

Im Blick auf Veranstaltungen des Spitzensports ist der Einsatz der technischen Beschneigung nicht mehr wegzudenken, da Austragung und Terminplanung wesentlich davon abhängen (Abb. 2.3.). Am Rande der Diskussion um die Notwendigkeit der Beschneigungsanlagen wurden zu den wirtschaftlichen Faktoren nach dem schlechten Abschneiden der deutschen Wintersportlerinnen und Wintersportler bei der Weltmeisterschaft 1991 auch kritische Stimmen laut, die die unzureichenden



Abb. 2.3 Nachtrennen in Flachau. Die Beschneigung sichert die Durchführung von Sportveranstaltungen. (U. Pröbstl-Haider)

Trainingsmöglichkeiten für den Nachwuchs beklagen (Wolf 1991).² Junge Rennläuferinnen und Rennläufer könnten in einem schlechten Winter nicht ausreichend trainieren. Ohne weitere Skizentren mit technischer Beschneigung, wie in Garmisch-Partenkirchen, könne der Bedarf nicht gedeckt werden. Hier hätten andere Länder, insbesondere Österreich und die Schweiz, bereits wesentlich bessere Voraussetzungen. Einzelne Anlagen in Deutschland, z. B. Bundesstützpunkte für den alpinen Skilauf, wurden unter diesen Gesichtspunkten aus Mitteln der Sport- bzw. Wirtschaftsförderung kofinanziert.

Im Zusammenhang mit der Erhaltung bzw. Sicherung von Trainingsstätten wird auch die Möglichkeit von Snowfarming diskutiert. Dazu wird die Ressource Schnee durch Beschneigung in einem Schneedepot gelagert und durch Abdeckung vor dem Abschmelzen im Sommer geschützt. Durch die Abdeckung bleiben, je nach Ausgestaltung, Abdeckung und Lage des Schneedepots, ca. 70 % der ursprünglichen Schneemenge erhalten. Diese kann im Frühwinter verteilt und somit das Training im Inland früher begonnen werden (Grünwald et al. 2018). Auch die Beschneigung in Gletschergebieten wird neben Sicherheitsaspekten meist mit den Erfordernissen des Leistungssports begründet (OITAF 2023).

2.3 Beschneigung als Anpassung an den Klimawandel

Viele Autoren sehen die Beschneigung inzwischen als die am meisten verwendete Strategie zur Anpassung an den Klimawandel und zur Gewährleistung einer lang andauernden und besonders schneesicheren Skisaison (Damm et al. 2014; Steiger et al. 2021).

Folgt man dem 1,5-Grad-Bericht des Weltklimarats IPCC (Masson-Delmotte et al. 2018), dann liegt die globale Mitteltemperatur heute bereits 1 °C über dem vorindustriellen Niveau (1850–1900). Die rasche Erwärmung kann dabei nur durch die menschlichen Aktivitäten erklärt werden (Olefs et al. 2021). Die ausgelösten Veränderungen beziehen sich nicht nur auf die Temperatur, sondern betreffen auch Änderungen des Niederschlags, der Sonneneinstrahlung und weiterer meteorologischer Einflussgrößen. Durch Klimamodellierungen wird versucht, die künftigen Klimaveränderungen unter unterschiedlichen Entwicklungen und gegensteuernden Maßnahmen zu untersuchen, um Vorhersagen treffen zu können. Für Laien sind die Folgen des Klimawandels – sieht man von Extremereignissen ab – von den jährlichen Schwankungen und den Wetterereignissen schwer unterscheidbar.

²Zitiert nach dem Bericht von Thomas Wolf, Krise ohne Kunstschnee, Interview mit dem DSV-Cheftrainer Klaus Mayr, 1991 [...] Seine Prognose für die Zukunft des alpinen Skilaufs in Deutschland fällt daher denkbar schlecht aus. „Solange es keine Kunstschnee-Zentren gibt, wird die Nachwuchsentwicklung rückläufig sein. Und dann bekommen wir in ein paar Jahren ganz brutal die Quittung.“

Dies liegt daran, dass zwischen den Wintern eine hohe Variabilität besteht. Der Unterschied zwischen einem milden und sehr kalten Winter liegt unabhängig von Einflüssen des Klimawandels bei 10 °C (Olefs et al. 2021). Demgegenüber liegt der langfristige Temperaturanstieg bei 0,2–0,5 °C pro Dekade.

Auch die winterliche Schneedecke weist große natürliche Schwankungen auf und reagiert innerhalb verschiedener Höhenlagen und regional- bis lokalklimatologischer Gegebenheiten (z. B. durch Exposition, Geomorphologie, Föhnhäufigkeit und -einfluss, Inversion, Stauniederschläge, absinkende Schneefallgrenze) unterschiedlich auf Temperatur- und Niederschlagsänderungen.

Insgesamt ist, bezogen auf den natürlichen Schnee, in naher Zukunft (d. h. im Zeitraum von 2021–2050) weiterhin mit hohen Schwankungen von Jahr zu Jahr und über Jahrzehnte hinweg zu rechnen, die den langfristigen Trend überlagern. Forschungsarbeiten aus der Schweiz und aus Österreich gehen darüber hinaus jedoch auch von einer Abnahme der mittleren Schneehöhe von –10 % in hohen Lagen und bis –70 % in tiefen Lagen aus (Olefs et al. 2019; Schmucki et al. 2015; Marty et al. 2017). Eine entsprechende Entwicklung würde die Abhängigkeit wintertouristischer Angebote von der technischen Beschneigung – zusätzlich zur termingerechten Schneeerzeugung – weiter erhöhen.

Weiterhin weist die meteorologische Forschung darauf hin, dass mit der Erwärmung durch den Klimawandel auch die Zeiträume, in denen eine Beschneigung möglich ist, weiter abnehmen werden (Lehning et al. 2019; Spandre et al. 2019). Berechnungen von Formayer (2024) am Beispiel des Skigebiets in Schladming zeigen nicht nur die Abnahme der Beschneigungszeiträume, sondern veranschaulichen auch die angesprochenen kleinräumigen, lokalen Einflussfaktoren. So sind die Zeiträume für die Beschneigung in engen Talräumen im Januar durch herabfließende Kaltluft und Inversion auf 780 m wesentlich besser als in mittleren Lagen (1100 m). Insgesamt zeigen die Berechnungen eine deutliche Abnahme der Zeiträume, in denen die Beschneigung eingesetzt werden kann (Abb. 2.4). Daher gehen auch Teich et al. (2007) davon aus, dass bei Neuplanungen die regionalen, kleinklimatischen Gegebenheiten besonders zu beachten sind.

Hartl & Fischer (2015) untersuchten die Änderung der für die Beschneigung entscheidenden Parameter mithilfe von Daten des Deutschen Wetterdienstes und der österreichischen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Dabei zeigte sich, wie am Fallbeispiel für Schladming dargestellt, dass die durchschnittliche Anzahl der Schneitage pro Saison an den untersuchten Standorten zwischen 200 Tagen (auf 3109 m Seehöhe) und 23 Tagen (auf 267 m Seehöhe) schwanken. In den letzten Jahren gab es an fast allen Stationen im Mittel weniger Schneitage als in den 20 Jahren davor. Die mittlere Anzahl der Schneitage im Dezember liegt zwischen 31 Tagen an der höchsten Station und nur 5 Tagen an der niedrigsten Station.

Dabei ist zu beachten, dass die meisten Beschneigungsanlagen in den größeren Skigebieten so ausgelegt sind, dass für die Grundbeschneigung meist nur noch drei Tage benötigt werden.

Für die Bewertung der Konsequenzen für den Wintertourismus wird in der Regel der 100-Tage-Indikator verwendet (Teich et al. 2007; Abegg 1996).

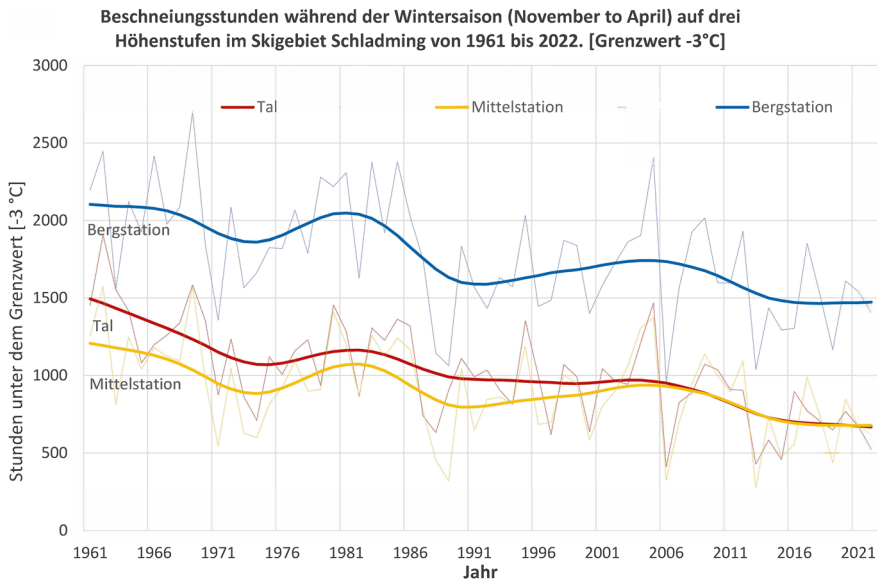


Abb. 2.4 Rückgang der Beschneigungsstunden im Skigebiet Schladming von 1961 bis 2022 auf drei Höhenstufen. (Formayer 2024)

► **Der 100-Tage-Indikator** „Die Schneesicherheit eines Gebiets ist gewährleistet, wenn in einer Zeitspanne vom 1. Dezember bis zum 15. April an mindestens 100 Tagen eine für den Skisport ausreichende Schneedecke vorhanden ist.“

Steiger und Scott (2020) haben diesen Indikator auf die österreichischen Skigebiete angewandt.

Tab. 2.1. zeigt die Bedeutung der Beschneigung für die Skigebiete, führt aber auch die Bedrohung durch den Klimawandel vor Augen. Dies kann man besonders deutlich im Zeitraum der Weihnachtsferien erkennen, die bislang eine besonders hohe wirtschaftliche Bedeutung haben. Danach wird es immer schwieriger werden, den Skibetrieb in dieser frühen Phase des Winters sicherzustellen. Bei dieser Darstellung wird von einer Grenztemperatur für die Beschneigung von -2 °C ausgegangen.

Danach sinkt 2050 die Schneesicherheit für die österreichischen Skigebiete in den Weihnachtsferien bei angenommener heutiger Beschneigungskapazität auf nurmehr 52 % bei einem Szenario mit relevanten Klimaschutzmaßnahmen. Ohne diese geht der Anteil auf ein Drittel (33 %) zurück.

Verschiedene Autorinnen und Autoren unterstreichen die richtungsweisende Bedeutung der 100-Tage-Regel, stellen aber auch heraus, dass darüber hinaus die Verteilung der Tage innerhalb der Saison zu beachten seien und dass bei kleineren Skigebieten oder Anlagen im Mittelgebirge auch eine geringere Anzahl an Tagen (z. B. 80 Tage) wirtschaftlich ausreichend sein können (Demiroglu et al. 2015; Usinger 2015; Schneider 2014).

Tab. 2.1 Anteil schneesicherer Skigebiete in Österreich bei unterschiedlichen Indikatoren und Klimaszenarien. (Steiger und Scott 2020)

Indikatoren	1981–2010 [%]	RCP 4.5			RCP 8.5		
		2030er [%]	2050er [%]	2080er [%]	2030er [%]	2050er [%]	2080er [%]
100-Tage-Indikator mit heutiger Beschneigungskapazität	90	80	72	54	78	52	11
100-Tage-Indikator mit verbesserter Beschneigungskapazität (10 cm/Tag)	99	93	92	83	93	80	31
Schneesicher in den Weihnachtsferien mit heutiger Beschneigungskapazität	84	65	52	37	63	33	5
Schneesicher in den Weihnachtsferien mit verbesserter Beschneigungskapazität (10 cm/Tag)	98	90	80	67	92	66	15

RCP 4.5: Mittleres Szenario mit relevanten Klimaschutzmaßnahmen; RCP 8.5: Business-as-usual-Szenario

2.3.1 Einfluss der Beschneigung auf den Klimawandel

Die technische Beschneigung kann durch den Energiebedarf (Stromverbrauch) zum Klimawandel beitragen. Der Strombedarf für die Grundbeschneigung pro Hektar und Jahr wird mit durchschnittlich 15.000–20.000 kWh angegeben (Fachverband der österreichischen Seilbahnen 2023; Deutscher Skiverband 2019). Rückblickend lässt sich zeigen, dass in diesem Zusammenhang erhebliche Einsparungen erreicht wurden.

Je nach Höhenlage der Pisten, Temperaturverlauf des Winters und Umfang natürlicher Schneefälle kommen für die Nachbeschneigung noch einmal 10.000–20.000 kWh dazu. Auch wenn der Stromverbrauch für die Beschneigung einen beachtlichen Teil des Gesamtverbrauchs in den Skigebieten ausmacht, ist der Anteil am Gesamtbedarf einer Region geringer als erwartet. So beträgt der Anteil am gesamtschweizerischen Verbrauch nur 0,1 % (Fehr 2022).

Das Thema Energie in der Beschneigung ist sehr komplex. Bei den Einsparungen spielen nicht nur modernste Schneerzeuger eine bedeutende Rolle, sondern alle Anlagenkomponenten sowie ein optimales Schneemanagement. Mehr als 50 % der Energie einer Beschneigungsanlage werden in der Pumpstation benötigt, wobei mit modernsten Softwarelösungen und einer detaillierten Datenanalyse bedeutende Einsparungen erzielt werden können. Da jede Beschneigungsanlage individuell geplant wird, können keine Standardwerte für Einsparungen definiert werden. Auf Basis der konkreten Anlagendaten können aber gemeinsam mit dem Betreiber von Beschneigungsanlagen bestehende Beschneigungsstrategien optimiert und neue Konzepte entwickelt werden. Dabei geht es um das optimale Zusammenspiel von Pumpstationen und Beschneigung auf der Strecke – unter Berücksichtigung der technischen Parameter wie Wasserdruck, Wassertemperatur, Luftdruck etc..

Die potenziellen Einsparungen durch den Einsatz neuer, moderner Schneerzeuger sind bei Propeller-Schneerzeugern und Schneilanzen sehr unterschiedlich. Bei Propeller-Schneerzeugern zeigt der Vergleich von Schneerzeugern der aktuellen Generation mit Schneerzeugertypen vor rund 20 Jahren, dass moderne Propeller-Schneerzeuger bei gleichem Stromverbrauch bis zu doppelt so viel Schnee produzieren können wie vor 20 Jahren.

Das Institut für öffentliche Dienstleistungen und Tourismus der Universität St. Gallen errechnete im März 2009 einen durchschnittlichen Energieverbrauch von 31.500 kWh pro Jahr pro beschneitem Pistenkilometer. Der Verbrauch wurde in den letzten Jahren bis auf ca. 17.000 kWh durch technischen Fortschritt reduziert und in etwa halbiert (Fehr 2022). Diese Effizienzsteigerung ist am Beispiel von Propellerschneerzeugern in Abb. 2.5 dargestellt. Vor allem bei geringen Minusgraden sind die neuen Anlagen besonders effizient (siehe Pfeil).

Ähnliche Entwicklungen gelten auch für andere Typen von Schneerzeugern, wie zum Beispiel Lanzen. So hat sich in den letzten 18 Jahren der spezifische Druckluftverbrauch pro Lanze um den Faktor 10 reduziert.

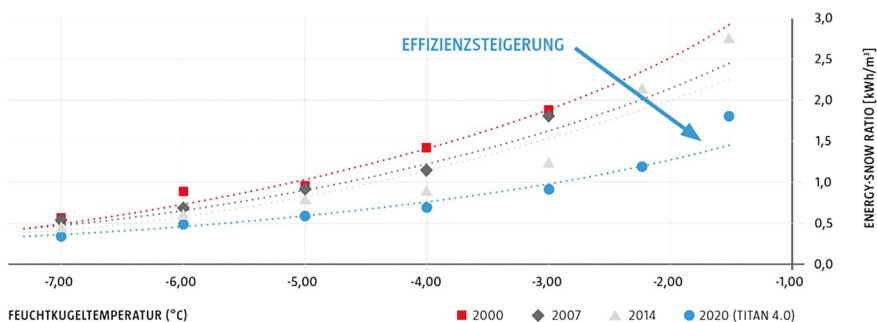


Abb. 2.5 Energieeffizienz von Propellermaschinen über einen Zeitraum von 20 Jahren für verschiedene Feuchtkugeltemperaturen. Die Energy-snow Ratio (Energie-Schnee-Verhältnis) in kWh/m³ verdeutlicht die Effizienzsteigerung (verändert nach Demaclenko 2023)

Der Energieverbrauch eines einzelnen Schneerzeugers ist durch die technische Weiterentwicklung deutlich zurückgegangen. Es wird jedoch weiterhin an neuen Entwicklungen in diesem Zusammenhang gearbeitet. Hierzu gehören folgende Aspekte im Rahmen der Beschneigung:

- Höhere Effizienz der Schneerzeuger und der Beschneiungsanlage insgesamt
- Höhere Schneileistung im Grenztemperaturbereich
- Höhere Betriebs- und Arbeitssicherheit
- Verwendung nachhaltiger Materialien
- Vereinheitlichung der Komponenten der verschiedenen Modelle
- Reduktion der eingesetzten Komponenten.

Ob und wie klimaschädlich dieser Energieaufwand ist, hängt nach Angaben des österreichischen Umweltbundesamtes davon ab, welche Herkunft der verwendete Strom besitzt. Traditionell wird im Alpenraum besonders viel erneuerbare Energie aus Wasserkraft erzeugt. Auch die Photovoltaik ist in den Alpen durch die Schneereflexion und die starke Sonneneinstrahlung besonders profitabel. Diverse Skigebiete (z. B. Skilifte Lech, Schmittenhöhebahn, Söllereckbahn oder Snow Space Salzburg) haben sich im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie zur ausschließlichen Verwendung von grünem Strom verpflichtet. Um den hohen Bedarf an Energie zu reduzieren, werden zahlreiche Schneeanlagen in den Sommermonaten dazu verwendet, durch Ausnutzung des Gefälles Energie zu erzeugen. Das kleine Skigebiet in See in Tirol erzeugt dadurch viermal mehr Energie, als im Winter benötigt wird (Tourismusverband Paznaun – Ischgl 2024).

Andere Bergbahnen versuchen durch den Einsatz von Photovoltaik auf Gebäuden ganzjährig zur Energiebilanz positiv beizutragen. Untersuchungen zeigten, dass diese Anlagen in Skigebieten durch die Reflexionen im Schnee besonders effizient sind.

Im Winter 2022/2023 haben einzelne Unternehmen aufgrund der hohen Energiepreise den Umfang (bislang) beschneiter Pistenflächen reduziert. Im Skigebiet Garmisch-Classic wurden von den vier Talabfahrten nurmehr drei Talabfahrten während der Saison durchgehend beschneit. Weiterhin wurde auch die Breite der beschneiten Pisten reduziert sowie an der Mächtigkeit der Schneedecke und an verschiedenen Streckenvarianten technisch erzeugter Schnee gespart.

Einzelne Skigebiete, wie z. B. Ischgl (Wielander & Retter 2023), setzten in der Saison 2021/22 auf eine Kompensation ihres Energieverbrauchs durch entsprechende Anbieter, vergleichbar mit der Kompensation von Flugmeilen.

Neben Vermeidung und Kompensation spielt auch die Minderung des Energiebedarfs eine große Rolle. In diesem Zusammenhang sind die Art und das Alter der eingesetzten Anlage zur Schneerzeugung relevant. Neue Anlagen sind im Verbrauch erheblich günstiger.

Darüber hinaus lässt sich der Energiebedarf an technischem Schnee durch das sogenannte Schneemessen um ca. 20 % reduzieren. Dazu wird in den Sommermonaten für das Skigebiet ein digitales Höhenmodell erstellt. Mit einem entsprechenden Bordcomputer wird in der Pistenraupe durch Abgleich mit dem

Höhenmodell die aktuelle Schneeeauflage angezeigt. Anstelle der Neuproduktion von technischem Schnee in Bereichen mit geringer Auflage wird der Schnee gleichmäßig verteilt und von Flächen mit hoher Auflage entsprechend verschoben.

Schuster (2016) kam im Rahmen seiner Untersuchung „Effizientes Schneemanagement durch Einsatz von Schneehöhenmesssystemen“ an der FH Dornbirn auf Basis gewonnener Praxiserfahrungen im Skigebiet Fellhorn-Kanzelwand zum Schluss, dass der Einsatz von Schneehöhenmesssystemen diverse Vorteile bringt, die nachstehend dargestellt sind. In folgenden Bereichen können durch den Einsatz von GPS-Schneehöhenmesssystemen effektive Vorteile erzielt werden:

- Effiziente Verteilung von technischem Schnee und Nachtschnee und dadurch Einsparung von Energie und Wasser
- Nutzen von Schneedepots und anschließende Auflösung ohne Schäden an Vegetation und Oberboden
- Vermeidung von Schäden durch die tägliche Pistenpräparierung durch ausreichend dichte und schützende Schneedecke
- Aufdecken von Schwachstellen im Gelände oder durch spezifische Nutzung (Abschwingen vor Steillage)
- Beweissicherung bei FIS-Skirennen
- Orientierung im Gelände um Erkennen von Gefahrenstellen oder Hindernissen
- Freischieben von Wegen und Straßen

Ob und inwieweit die technische Beschneigung zum Klimawandel beiträgt, hängt damit vor allem von der Herkunft des Stroms bzw. Strommixes und dem Anteil des Stroms aus erneuerbarer Energie ab. Weiterhin hat der Anteil eigener Energieerzeugung und Maßnahmen zur Reduzierung des Bedarfs einen Einfluss.

Innerhalb eines durchschnittlichen Skigebiets verteilt sich der Energiebedarf zu 35 % auf die Präparation, zu ca. 35 % auf die Beschneigung und zu ca. 20 % auf den Energiebedarf für die Seilbahn. Die restlichen 10 % verteilen sich auf die Gebäudeheizung und Beleuchtung der jeweiligen Stationen.

Betrachtet man die Energieaufwendungen für Urlaubsreisen insgesamt, wie dies das österreichische Umweltbundesamt für unterschiedliche Urlaubstypen im Vergleich (kg CO₂eq Emissionen je Person und Tag) durchgeführt hat, dann zeigt sich, dass die Energieaufwendungen für die Aktivitäten (auch unter Berücksichtigung von Beschneigung, Präparation und Aufstiegshilfen) im Gegensatz zu Anreise und Unterkunft nur wenig ins Gewicht fallen (Lichtblau 2018). Die Wahl des Verkehrsmittels und in weiterer Folge die damit zurückgelegte Distanz sind essenziell für die Höhe der Treibhausgasemissionen, die eine Urlaubsreise verursacht (Abb. 2.6).

Umrechnungen des gesamten Energiebedarfs auf die Skifahrerinnen und Skifahrer für das Skigebiet Fellhorn-Kanzelwand in Oberstdorf (D) ergaben für den Energieverbrauch pro Person und Tag ein Äquivalent von 16 km Anreise mit privatem PKW (mit einem angenommenen Verbrauch von 7 l/100 km). Der Anteil der Beschneigung beträgt daran rund 6 km Anreise. Mit der Energiemenge, die ein Urlauber braucht, um in die Karibik zu fliegen, könnten im Skigebiet Fellhorn-

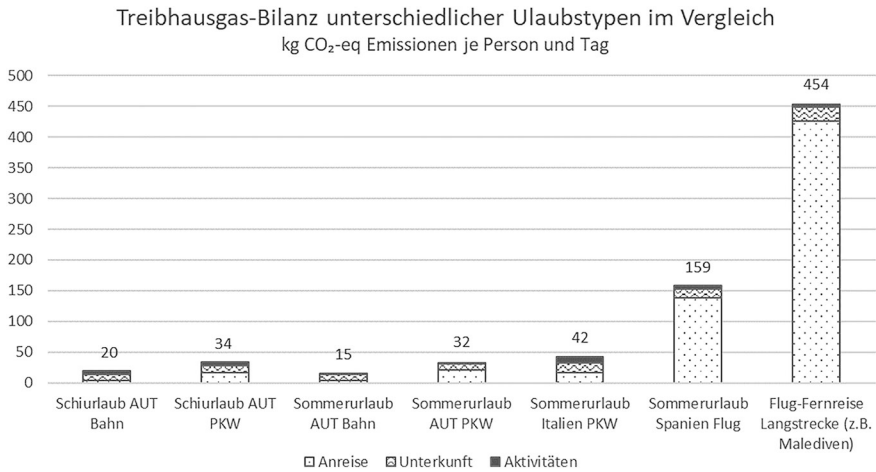


Abb. 2.6 Die Treibhausbilanz unterschiedlicher Urlaubstypen im Vergleich zeigt, dass die meisten Emissionen auf die Art und Entfernung der Anreise entfallen. (Lichtblau 2018)

Kanzelwand umgerechnet 478 Menschen einen Skitag erleben. Ähnliche Ergebnisse zeigen die Berechnungen von grischconsulta Beratungen AG (2017) für Anlagen in der Schweiz.

Diese Gegenüberstellung von Energieäquivalenten soll nicht den Bedarf für die Beschneigung verharmlosen, sondern die besondere Verantwortung auch des Gastes im Hinblick auf den Winterurlaub und die Art der Anreise aufzeigen.

2.3.2 Stand der Entwicklung und Perspektiven

Bezogen auf die Daten zur Beschneigung und die Ausbauziele für die angestrebte Ausstattung mit Beschneigungsanlagen werden für die einzelnen Länder, aber auch für den Alpenraum unterschiedliche Bezugsgrößen angegeben. Dazu gehören z. B.:

- Zahl der Anlagen
- Anteil der beschneiten Fläche, bezogen auf die Landesfläche
- Anteil der beschneiten Fläche an der Pistenfläche.

Dies erschwert vielfach einen direkten Vergleich der veröffentlichten Daten. Derzeit muss davon ausgegangen werden, dass in den französischen Alpen rund 40 %, in Bayern 25 % und in der Schweiz 54 % der Skipistenflächen beschneit werden können; in Österreich sind etwa 75 % und in Italien 90 % aller Pistenflächen beschneibar. In Slowenien werden 75 % erreicht.

Insgesamt liegt der Anteil beschneibarere Pistenflächen im Alpenbogen bei knapp 58 % (Tab. 2.2). In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in vielen

Tab. 2.2 Anstieg der beschneiten Pistenflächen von 2006 bis 2023. (Pröbstl 2006; Fachverband der österreichischen Seilbahnen 2023)

	Anteil 2006 [%]	Anteil 2023 [%]
Italien	40	90
Slowenien	27	75
Österreich	40	75
Schweiz	10	54
Frankreich	13	40
Bayerischer Alpenraum	10	25
<i>Alpenraum gesamt</i>	<i>30</i>	<i>58</i>

großen Skigebieten Anteile von mehr als 80 % der Pistenflächen beschneit werden können. So liegen die beschneibaren Anteile in Saalbach-Hinterglemm-Leogang-Fieberbrunn (A) bei 90 %, in Ischgl (A) sogar bei 95 %. Skigebiete wie Zermatt (CH) oder Serfaus-Fiss-Ladis (A) können 80 % der Pistenfläche beschneien. Garmisch-Classic (D) und Sudelfeld (D) liegen bei rund 63 % beschneibarere Pistenflächen.

Vor dem Hintergrund der stark angestiegenen Anteile beschneiter Pistenflächen in einem Zeitraum von nur 15 Jahren stellt sich die Frage, ob mit einer ungebremsten Fortsetzung dieser Entwicklung zu rechnen ist.

Davon ist – nach Auffassung von Expertinnen und Experten – nicht auszugehen (Pröbstl-Haider et al. 2021, Francois et al. 2023, Cognard et al. 2024). Dafür werden ökonomische Gründe einerseits und Änderungen in der Nachfrage andererseits verantwortlich gemacht. Die Skigebiete, die aktuell noch über keine Beschneiungsanlage verfügen und in sensiblen Höhenlagen liegen, werden Schwierigkeiten haben, in den kommenden 15 Jahren mit zunehmend wechselhaften Rahmenbedingungen im Winter die Investitionskosten zeitnah zu refinanzieren, wie dies in der Vergangenheit unschwer möglich war (Falk & Vanat 2016; Snajdr 2012). Investitionen werden sich in Zukunft vor allem in Italien, Slowenien und Österreich auf Qualitätsverbesserungen beziehen, d. h. Austausch von Schneeerzeugern zugunsten leiserer und energetisch effizienter Systeme und weniger auf die Erweiterung der Flächenanteile bzw. Investitionen, um durch Verbesserung der Anlage eine Beschneigung der Pistenflächen in kürzeren Zeiträumen zu erreichen. Ein geringer bis mäßiger Anstieg an Neuanlagen wird allenfalls in der Schweiz und in Frankreich erwartet, wenn Auswirkungen des Klimawandels dort stärker spürbar werden.

Im bayerischen Alpenraum sind keine Erweiterungen zu erwarten, denn die größten Skigebiete weisen bereits einen sehr hohen Anteil an beschneibaren Flächen auf. Weiterhin ist davon auszugehen, dass kleine Skigebiete schließen werden. Damit würde durch die niedrigere Bezugsfläche der Anteil beschneiter Pisten insgesamt ansteigen, ohne dass neue Anlagen entstehen.

Insgesamt wird auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel von regionalen Verlagerungseffekten auszugehen sein. Dies führt zu einer räumlichen Konzentration der Skiregionen im Alpenraum (Bätzing 2017; Steiger et al. 2021; Falk 2013).

Im Hinblick auf den Einsatz und die Bedeutung der technischen Beschneigung spielt, neben diesen ökonomischen Argumenten, nach Auffassung diverser Expertinnen und Experten die Veränderung im Bereich der touristischen Nachfrage eine Rolle.

Untersuchungen zeigen, dass der im Wintersport aktive Anteil der Bevölkerung in den wichtigsten Herkunftsländern des Alpenraumes (z. B. Deutschland, Österreich, Niederlande, Schweiz, Großbritannien) stagniert oder zurückgeht. So ist der Anteil der österreichischen Bevölkerung, der regelmäßig Ski fährt, seit den 1980er-Jahren von 13 % auf 5 % gesunken (Zellmann & Mayrhofer 2018), während der Anteil der Nichtskifahrer beständig zugenommen hat (von 42 % auf 63 %). Ähnliche Tendenzen zeigen sich auch in Studien aus Deutschland (Roth et al. 2018, Bausch et al. 2024). Nach den Hauptaktivitäten beim Winterurlaub befragt, liegt bereits das Winterwandern mit knapp 40 % vor dem Skifahren mit 38 %. Als Ursache hierfür wird auch der demografische Wandel gesehen, da die sogenannten Babyboomer das Rentenalter erreicht haben und die Aktivitäten dem Alter entsprechend angepasst werden. Bausch (2021) weist auf diesen Zusammenhang hin und fordert von den alpinen Tourismusdestinationen einen grundlegenden Paradigmenwechsel mit einer stärkeren Diversifizierung.

Literatur

- Abegg, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus – Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen, vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- Bätzing, W. (2017): Orte guten Lebens – Visionen für einen Alpentourismus zwischen Wildnis und Freizeitpark. In: Luger, K., Rest, F., Hrsg., Alpenreisen. Erlebnis, Raumtransformationen, Imagination, StudienVerlag, Innsbruck, 215–236.
- Bausch, T. (2021): Managing hybrid destinations: challenges and lessons from the Alps. *Tourism Marketing in Western Europe*, 108–124.
- Bausch, T., Ortanderl, F., Pröbstl-Haider, U. (2024) Rethinking growth orientation: Do ski-resorts' strategies fit the profiles of today's alpine skiers? *Abstract International Journal of Tourism Research* 26(4) 10.1002/jtr.v26.4 10.1002/jtr.2708
- Berghammer, A., Schmude, J. (2014): The Christmas—Easter Shift: Simulating Alpine Ski Resorts' Future Development under Climate Change Conditions Using the Parameter 'Optimal Ski Day'. *Tourism Economics* 20, (2), 323–336.
- Bußjäger, P., Ennöckl, D. (2019): Beschneigungsanlagen, Schigebiete und UVP-Pflichtigkeit in Österreich. *NuR* 41, (12), 802–807.
- Cognard, J., Berard-Chenu, L., Schaeffer, Y., François, H. (2024) The snow must go on: can snowmaking keep ski resorts profitable in a changing climate? *Current Issues in Tourism* 1-18 10.1080/13683500.2024.2409862
- Damm, A., Köberl, J., Prettenthaler, F. (2014): Does artificial snow production pay under future climate conditions? – A case study for a vulnerable ski area in Austria. *Tourism Management* 43, 8–21.
- Dawson, J., Scott, D. (2013): Managing for climate change in the alpine ski sector. *Tourism Management* 35, 244–254.
- Demaclenko (2023): Im Fokus: Energieeffizienz in der Beschneigung, (12), 8–9.

- Demiroglu, O., Kučerová, J., Özcelebi, O. (2015): Snow reliability and climate elasticity: case of a Slovak ski resort. *Tourism Review* 70, (1), 1–12.
- Deutscher Skiverband (DSV) (2019): Technischer Schnee & Pisten. DSV, Hrsg., Download unter https://www.deutscherskiverband.de/ueber_uns_umwelt_fragen_tech_n_de.html. (03.04.2024).
- Domaines Skiables (2022): Indicateurs et analyses 2022, Francin, Download unter <https://www.domaines-skiables.fr/publications/observatoire/>. (09.04.2024).
- Fachverband der österreichischen Seilbahnen, Hrsg. (2023): So nachhaltig ist unser Skibetrieb! – Fakten und Best-Practices zu Energie- und Ressourcenbedarf der Branche, Fachverbands der österreichischen Seilbahnen, Wien, Download unter <https://www.wko.at/oe/transport-verkehr/seilbahnen/so-nachhaltig-ist-unser-skibetrieb.pdf>.
- Falk, M. (2013): A survival analysis of ski lift companies. *Tourism Management* 36, 377–390.
- Falk, M., Vanat, L. (2016): Gains from investments in snowmaking facilities. *Ecological Economics* 130, 339–349.
- Fehr, R. (2022): Der Kampf der Skigebiete mit dem Kunstschnee. Watson, Beitrag vom 21.12.2022.
- FIS, Hrsg. (2020): The international ski competition rules (ICR). Joint Regulations for Alpine Skiing, (IV).
- Fleischhacker, V. (2018): Klimawandel und Wintersporttourismus in Österreich 2030, Tulln an der Donau, Download unter <http://www.tourismusforschungaustria>. (05.05.2020).
- Formayer, H. (2024): Berechnungen für das Skigebiet Schladming, unveröffentlichtes Gutachten, Wien 45.
- François, H., Samacoïts, R., Neil, D., Bird, N., Köberl, J., Pretenthaler, F., Morin, S. (2023) Climate change exacerbates snow-water-energy challenges for European ski tourism *Nature Climate Change* 13(9) 935–942 10.1038/s41558-023-01759-5
- Grischconsulta Beratungen AG (2017): 2017: Gesamtstudie Bergbahnen wohin? – 2025, Maienfeld.
- Grünewald, T., Wolfspurger, F., Lehning, M. (2018): Snow farming: conserving snow over the summer season. *The Cryosphere* 12, (1), 385–400.
- Hartl, L., Fischer, A. (2015): Beschneigungsklimatologie – Endbericht, Innsbruck.
- Lehning, M., Ebner, P., Rhyner, H. (2019): Schnee und Klimawandel im Hochgebirge: Prozessverständnis – Vorhersagen und Anpassungsmaßnahmen. *FdSnow* 53, 46–51.
- Lichtblau, G. (2018): Treibhausgas-Bilanz: Urlaubstypen im Vergleich – Factsheet des Umweltbundesamts, Wien.
- MANOVA (2019) Wertschöpfung durch österreichische Seilbahnen. Studie im Auftrag der Wirtschaftskammer Österreich. Wien. 50 S.
- Marty, C., Schlögl, S., Bavay, M., Lehning, M. (2017): How much can we save? Impact of different emission scenarios on future snow cover in the Alps. *The Cryosphere* 11, (1), 517–529.
- Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Skea, J., Hrsg. (Oktober 2018): Global warming of 1.5 °C – An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty ; summary for policymakers, IPCC Switzerland, [Erscheinungsort nicht ermittelbar].
- Münchener Merkur, Hrsg. (1989): Regen frißt am Schnee und der Weltcup seine Kinder. Ausgabe vom 18.12.1989, (290).
- OITAF, Hrsg. (2023): Fachinformation zum Thema Snowfarming, Graz.
- Olefs, M., Koch, R., Gobiet, A. (2019): Klima und Schnee in Österreich: beobachtete Vergangenheit und erwartete Zukunft. *FdSnow* 53, 28–37.
- Olefs, M., Formayer, H., Gobiet, A., Marke, T., Schöner, W., Revesz, M. (2021): Past and future changes of the Austrian climate – Importance for tourism. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 34, 100395.

- Pröbstl, U. (2006): *Kunstschnee und Umwelt: Entwicklung und Auswirkungen der technischen Beschneigung*, Hauptverlag.
- Pröbstl-Haider, U. (2016): Aufgaben und Bedeutung des Choice Experiments für die naturtouristische Forschung. *Naturtourismus—Chancen und Herausforderungen*, 17–34.
- Pröbstl-Haider, U. (2019): Winter tourism forces and challenges: spatial, socio-cultural and economic issues and climate change adaptation, *Winter tourism: trends and challenges*, CABI Wallingford UK, 9–23.
- Pröbstl-Haider, U., Mostegl, N. (2016): Skigebiete im Vergleich: Macht Größe allein schon sexy? *FdSnow* 34, (49), 28–35.
- Pröbstl-Haider, U., Mostegl, N. (2019): A matter of culture: how cultural differences shape skiing motivation, behaviour and destination choice. In: Pröbstl-Haider U, Richins H, Türk S, Hrsg., *Winter Tourism – Trends and Challenges*. CABI, Oxfordshire and Boston, 192–211.
- Pröbstl-Haider, U., Lund-Durlacher, D., Olefs, M., Pretenthaler, F. (2021): *Tourismus und Klimawandel*, Springer Nature.
- Pugois, C. (1990): Verhältnis zwischen Investitionen und Auswirkungen im Fremdenverkehr im Hinblick auf die Verfahren zur künstlichen Beschneigung – Studie des Service à etude et d'aménagements touristiques en montagne-chambery (S.E.A.T.M.). Referat im Rahmen der Fachtagung «Kunstschnee zwischen Tourismus und natürlicher Umwelt» am 4./5. Und 6. April 1990 in Trient (unveröffentlicht).
- Roth, R., Krämer, A., Severius, J. (2018): *Zweite Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018*, Planegg.
- Schmucki, E., Marty, C., Fierz, C., Lehning, M. (2015): Simulations of 21st century snow response to climate change in Switzerland from a set of RCMs. *Int. J. Climatol.* 35, (11), 3262–3273.
- Schneider, F. (2014): *Kostenmanagement und Controlling Instrumente von Beschneiungsanlagen: Erarbeitung von Werkzeugen die eine Übersicht zur Kostenentwicklung von Beschneiungsanlagen geben*. Diplomarbeit, Hochschule Mittweida, Mittweida.
- Schuster, L. (2016): *Effizientes Schneemanagement durch den Einsatz von Schneeöhösesystemen*. Abschlussarbeit, Fachhochschule Dornbirn, Dornbirn.
- Scott, D., McBoyle, G. (2007): Climate change adaptation in the ski industry. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 12, (8), 1411–1431.
- Seilbahnen Schweiz (2022): *2022 Fakten & Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche*, Bern.
- Snajdr, J. (2012): *The production of artificial snowecological, social and economical aspects*. Studienarbeit, Universität Wien, Wien.
- Spandre, P., François, H., Verfaillie, D., Lafaysse, M., Déqué, M., Eckert, N., George, E., Morin, S. (2019): Climate controls on snow reliability in French Alps ski resorts. *Scientific reports* 9, (1), 8043.
- Steiger, R., Scott, D. (2020): Ski tourism in a warmer world: Increased adaptation and regional economic impacts in Austria. *Tourism Management* 77, 104032.
- Steiger, R., Damm, A., Pretenthaler, F., Pröbstl, U. (2021): Climate change and winter outdoor activities in Austria. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, (34), 100330.
- Stuedler, C. (1999): *Mündliche Mitteilungen zum Reglement der Federation Internationale de Ski (FIS)*.
- Teich, M., Lardelli, C., Bebi, P., Gallati, D., Kytzia, S., Pohl, M., Pütz, M., Rixen, C. (2007): *Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung*, Birmendorf.
- Tiroler Tageszeitung, Hrsg. (1990): *Grüner Winter bringt rote Zahlen*. *Tiroler Tageszeitung*, (81), Ausgabe vom 06.04.1990, 15.
- Tononi, G. (1990): *Die Bedeutung des Winterfremdenverkehrs innerhalb der Wirtschaft der autonomen Provinz Trient*. Referat im Rahmen der Fachtagung, *Kunstschnee zwischen Tourismus und natürlicher Umwelt*. unveröffentlicht, Trient.
- Tourismusverband Paznaun – Ischgl, Hrsg. (2024): *Im Einklang mit der Natur – Nachhaltigkeit der Bergbahnen See*. Download unter <https://www.see.at/de/More/Bergbahnen-See/Nachhaltigkeit>. (09.04.2024).

- Unbehaun, W., Pröbstl, U., Haider, W. (2008): Trends in winter sport tourism: challenges for the future. *Tourism Review* 63, (1), 36–47.
- Usinger, D. (2015): Der Einfluss des Klimawandels auf Hotelkonzepte im Sauerland am Beispiel von Winterberg. Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida, Düsseldorf.
- Verband Deutscher Seilbahnen und Schlepplifte e.V. (2018): Vom Wasser zum Spaß im Schnee, München, Download unter https://www.seilbahnen.de/wp-content/uploads/Beschneigungs-flyer_web-1.pdf. (09.04.2024).
- Wechsler, H. (2014): Anlagentechnik bei Beschneiungsanlagen. *Österr Wasser- und Abfallw* 66, (7-8), 243–247.
- Weilheimer Tagblatt, Hrsg. (11./12.3.1989): Die schneearme Saison bringt schreckliche Einbußen mit sich – Schlepplifte und Seilbahnen sind auf finanzieller Talfahrt. Ausgabe vom 11. Und 12.02.1989, 6.
- Wielander, A., Retter, M. (2023): Warum ist Ischgl nicht mehr klimaneutral? – Grüner Anstrich. *Der Standard*, Ausgabe vom 22.03.2023.
- Witty, S. (1993): Beschneiungsanlagen. *Naturschutz-Info*, (3193), 17–21.
- Wochenblatt Express. Hrsg. (1989): Bedeutet das ein "Aus" für immer? *Wochenblatt Express*, (1), Ausgabe vom 05.01.1989.
- Wolf, T. (1991): Krise ohne Kunstschnee – Interview mit DSV Chef-Trainer Klaus-Mayr.
- Zellmann, P., Mayrhofer, S. (2018): *Sportmonitor 2018 – Österreich wird sportlicher*, Wien.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Abgrenzung der untersuchten Inhalte und Einführung in die Beschneigungstechnik

3

Zusammenfassung

Art und Umfang der Beschneigungstechnologie haben sich in den vergangenen Jahrzehnten seit der Einführung erheblich verändert. Das vorliegende Kapitel erklärt die verschiedenen Bestandteile einer Anlage, die jeweils zugrunde liegenden technischen Grundprinzipien und deren Eigenschaften. Hierzu zählen nicht nur die Schneeerzeuger, sondern auch die gesamte Infrastruktur von den Hydranten über die Wasserentnahmestellen bis hin zu Speicherseen, Schaltzentralen, Wetterstationen und Pumpstationen. Alternative Methoden zur Erzeugung von technischem Schnee, etwa durch die Herstellung und Verteilung von feinen Eiskpartikeln, werden ebenfalls kurz angesprochen und diskutiert. Weiterhin werden Trends bei Neuentwicklungen und deren Zielsetzungen vorgestellt. Hierzu gehört insbesondere die Einsatzmöglichkeit im Grenztemperaturbereich, d. h. bei geringen Minusgraden. Außerdem befasst sich das Kapitel mit dem Management der Schneeerzeugung sowie Begleiteffekten wie einer Ausleuchtung der Piste oder der Lärmentwicklung. Zu einem effizienten Schneemanagement gehört auch die Anforderungen an die natürlichen Ressourcen für eine wirtschaftliche Beschneigung zu kennen und zu beachten. Hierzu zählen unter anderem die Berücksichtigung der kleinklimatischen Bedingungen sowie die Anforderungen an die Wasserqualität und die Untergrundbeschaffenheit.

3.1 Grundlagen der Beschneigungstechnik

In diesem Kapitel wird nur insoweit auf die technischen Einrichtungen für die Beschneigung eingegangen, als es für das Verständnis der folgenden Ausführungen notwendig ist. Die voranschreitende Entwicklung erlaubt diesbezüglich ohnehin keine abschließende Darstellung. Hier muss auf die entsprechenden Fachzeitschriften und die einschlägige Fachliteratur verwiesen werden. Auch Art und Um-

fang der Beschneieung haben sich in den letzten 25 Jahren verändert. Zu Beginn konzentrierte sich die Beschneieung auf Schwachstellen, Steilhänge, Kuppen und Kanten oder Teile der Talabfahrt. Die aktuelle Praxis umfasst eine vollständige Beschneieung aller Skiabfahrten, unabhängig von den Höhenlagen oder Problemen an exponierten Pistenteilen (Wechsler 2014). Verändert hat sich auch, dass die Beschneieung inzwischen niedrige bis große Höhenlagen einschließlich Teilflächen des Gletschers umfasst. Diese Entwicklung hatte auch Auswirkungen auf die eingesetzte Technik und den Anlagentyp.

3.1.1 Die Bestandteile der Beschneieungsanlage

Zu den „Bausteinen“ einer Beschneieungsanlage gehören die Schneeerzeuger der verschiedenen Typen (Systeme zur Beschneieung), die Hydranten, die Wasserentnahmestelle oder Wasserbauwerke, die Pumpstation, die Schaltanlage, die Leitungsgräben mit Rohrleitungen für Wasser, gegebenenfalls Druckluft und Erdkabel für den Stromanschluss sowie eine Wasserentkeimungsanlage, eine Energieversorgungsanlage, eventuell eine gesonderte Wetterstation und ein Gebäude zur Lagerung von Schneeerzeugern und Zubehör im Sommer. So weit möglich erfolgt eine Zusammenlegung der verschiedenen Einrichtungen.

Alles zusammen stellt die sogenannte Beschneieungsanlage dar. Nachstehend sind die verschiedenen „Bausteine“ jeweils kurz erläutert. Für den Skifahrer ist nur ein kleiner Teil der Anlage, wie z. B. Gebäude und Schneeerzeuger, erkennbar. Diese umfassen jedoch lediglich einen durchschnittlichen Anteil von 5–20 % der Investitionskosten für die Gesamtanlage.

Systeme zur Beschneieung Die technische Schneeerzeugung ähnelt in der Entstehung dem natürlichen Schneefall in zeitlich verkürzter Form. Bei der Erzeugung des technischen Schnees wird Wasser in Düsen von Schneeerzeugern unter hohem Druck von 7–30 bar zu feinsten Tröpfchen zerstäubt und in einen Trägerluftstrom herausgeschleudert (Wechsler 2014). Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich in der Art wie dieser Trägerluftstrom erzeugt wird (s. unten). Er kann durch ein Gebläse oder durch die Expansion von Druckluft in einer großen Düse erzeugt oder durch eine große Fallhöhe ersetzt werden.

In der Anfangszeit der Beschneieung wurden drei Systeme von Schneeerzeugern verwendet:

1. Hochdrucksysteme mit Druckluft-Schneeerzeuger
2. Lanzensysteme, z. B. HKD-System (benannt nach dem Erfinder Hermann K. Dupré) mit Schneilanze
3. Niederdrucksysteme mit Propeller-Schneeerzeugern

Inzwischen werden vor allem Systeme mit Propeller-Schneeerzeugern, Schneilanzen und hybride Systeme verwendet.

Für die Auswahl des Systems sind verschiedene Kriterien, die sich aus der Betriebsstruktur, aber auch aus den örtlichen Verhältnissen ableiten, verantwortlich:

- Energiebedarf
- Örtliche Gegebenheiten, die je nach Befahrbarkeit, Erreichbarkeit, Topografie oder Geologie etc. den Einsatz bestimmter Anlagen bedingen oder empfehlen
- Notwendigkeit bzw. Bedarf zur Automation der Anlage im Hinblick auf die Betriebsstruktur des Unternehmens (Personalausstattung)
- Höhe der zulässigen Schallemissionen, insbesondere bei angrenzender Wohnbebauung
- Windanfälligkeit bzw. weitere spezifische lokale, klimatische Rahmenbedingungen
- Höhe des erzeugbaren Wasserdrucks an der Zapfstelle

Zu beachten ist weiterhin, wie später noch zu zeigen sein wird, dass nicht nur die erforderliche Menge Schnee produziert, sondern diese im richtigen Verhältnis zur Fläche, den Kapazitäten bei der Präparierung und in den vielfach klimatisch und touristisch limitierten Zeiträumen hergestellt wird. Hierfür ist eine differenzierte Planung erforderlich.

Im konkreten Einzelfall sind die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme sowie die unterschiedlichen Investitions- und Betriebskosten einschließlich Personalbedarf gegeneinander abzuwägen. Eine generelle Empfehlung für eines der nachfolgend beschriebenen Systeme ist daher aus technischer, ökologischer und sozioökonomischer Sicht nicht möglich.

Beim *Hochdrucksystem* (Abb. 3.1) wird Druckluft zentral in einer Kompressorstation erzeugt. Durch Rohrleitungen werden parallel Wasser und Druckluft zum Erzeuger geleitet und dort zusammengeführt. Über eine oder mehrere Mischdüsen oder -wirbel wird das Gemisch aus Wasser und Druckluft in die Atmosphäre versprüht. Bei einer Hochdruckanlage wird in der Regel in einer vollautomatischen Anlage eine große Anzahl von Erzeugern betrieben. Anzahl und Abfolge der Erzeuger sind meist höher als bei der Niederdruckkanone. Messfühler im Gelände geben der Steuerzentrale Temperatur- und Feuchtwerte an, die die Erzeuger automatisch in Betrieb setzen. Das System bietet Vorteile in der Grund- bzw. Erstbeschneigung aperer (d. h. schneefreier) Skipisten, weil die Erzeuger leicht aufgestellt werden können und ein Umsetzen meist entfällt. Diese Vorteile sind jedoch nur dann voll zu nutzen, wenn eine große Anzahl von Schneeerzeugern in dichten Abständen über den Zeitraum der Grundbeschneigung (der ersten flächendeckenden Beschneigung, die meist an kalten Tagen und Nächten ab Mitte November bis Anfang Dezember begonnen wird) fest auf der Piste installiert bleiben kann. Nachteilig bei der Hochdruckkanone sind der aufwendige Anlagenbau, der höhere Energiebedarf und die höhere Lärmemission. Daher wird das System in Europa kaum mehr eingesetzt.



Abb. 3.1 Hochdruckkanone. (U. Pröbstl-Haider)

Das *Niederdrucksystem* bzw. *System mit Propeller-Schneeerzeugern* besteht aus einem kurzen Rohr großen Durchmessers, in dem ein Gebläse angeordnet ist. Dieses saugt atmosphärische Luft an und fördert sie zur Mündung hinaus. Wasserdüsen an der Mündung spritzen Wasser in den Luftstrom, das Wasser gefriert dort zu Schneekristallen. Für die Kristallkernbildung werden Eiskristalle aus einem kleinen Druckluftkompressor durch die Entspannung komprimierter feuchter Luft in den Luft- oder Wasserstrom geimpft. Die Propeller-Schneeerzeuger benötigen Wasser und elektrischen Strom. Eine eigene Druckluftleitung wie bei Lanzen- und Hochdruckanlagen ist nicht erforderlich.

Während die ersten Generationen der Propeller-Schneeerzeuger mobil waren und auf Rädern oder Kufen im Gelände bewegt werden konnten, sind heute viele Anlagen auf stationären Türmen oder Schwenkarmen fest verbaut. Dadurch wird einerseits eine große Wurfweite erzielt, die die Schneequalität durch die längere Verweildauer in der Luft verbessert, und andererseits eine weitere Anpassungsmöglichkeit an einen Windeinfluss erreicht (Abb. 3.2 und 3.3).

Propeller-Schneeerzeuger eignen sich auch gut für den schrittweisen Ausbau von Beschneiungsanlagen. Einen mobilen Einsatz der Propeller-Schneeerzeuger,



Abb. 3.2 Propellerkanonen auf einer Pistenraupe ermöglichen einen flexibleren Einsatz bei der Nachbeschneigung. (U. Pröbstl-Haider)

insbesondere zur punktuellen Nachbeschneigung, erlauben die mit der Pistenraupe transportablen Propeller-Schneeerzeuger (Abb. 3.2).

Des Weiteren sind *Lanzen-Schneeerzeuger* im Einsatz, die seit den 1980er-Jahren in den USA, in Europa aber erst seit Ende der 1990er-Jahre Verwendung finden. Lanzen-Schneeerzeuger sind etwa 10–13 m lange Lanzen, bei denen das Wasser unter hohem Druck an mehreren kleinen Düsen am Lanzenkopf ausgesprüht und dort mit Druckluft als Nuklatorluft geimpft wird. Abb. 3.4 zeigt verschiedene Ausformungen und Anordnungen der Düsen. Durch die große Fallhöhe vom Lanzenkopf bis zum Boden friert das Wassertröpfchen zum Schneekristall aus. Die Druckluft wird zur Kristallisation, jedoch nicht zur Zerstäubung oder als Träger eingesetzt.

Das in den letzten Jahren stark verbreitete Lanzensystem hat – nach Wechsler (1997) – betriebliche Vorteile durch den raschen, einfachen Aufbau der Geräte, eine einfache Bedienung, eine gute Flächenverteilung, eine geringe Sommerwartung und die unproblematische technische Bedienung auf der Piste. Die Schallemission ist niedriger als beim System mit Propeller-Schneeerzeugern, der Leistungs- und Energiebedarf liegt knapp über dem System mit Propeller-Schneeerzeugern. Nachteilig sind die größere Windanfälligkeit, die größere Gefahr der Schneeverfrachtung außerhalb der Pisten, die z. B. in angrenzenden Waldbeständen zu Schneebruch führen kann. Lanzen werden wegen der Windanfälligkeit im hochalpinen Raum weniger häufig eingesetzt.

Die meist mit einer zentralen Druckluftversorgung aus einer Kompressorstation gespeiste Lanzenanlage eignet sich gut für eine Automatisierung und damit auch die Ausnutzung kurzer kleinklimatisch günstiger Bedingungen (Abb. 3.5).

Abb. 3.3 Um ähnliche Effekte wie bei den Lanzen zu erzielen, werden Niederdruck-Schneeerzeuger häufig aufgeständert. Es werden z. B. 3,5 m hohe, um 160° drehbare Türme eingesetzt. (U. Pröbstl-Haider)



Trends bei Neuentwicklungen Die technische Weiterentwicklung der vorgestellten Grundsysteme führt zu immer neuen Lösungen, die die Vorteile der unterschiedlichen Systeme miteinander kombinieren oder durch einen anderen Aufbau modifizieren. Bei den Neuentwicklungen wird versucht, die Vorteile verschiedener Systeme zu kombinieren. Neue sogenannte Hybridanlagen sollen im Grenztemperaturbereich noch in guter Qualität Schnee herstellen und durch einen geringen Energieverbrauch gekennzeichnet sein.

Der Weiterentwicklung scheinen keine Grenzen gesetzt. Aus der Sicht des Naturschutzes ist die Verbreitung der immer feiner einstellbaren Computersteuerung von Vorteil, weil eine individuelle Regelung für einzelne Standorte auch ohne intensive personelle Überwachung der Schneeerzeuger möglich ist. Das bedeutet bei einer Vollautomatik z. B. selbstständiges Starten und Stoppen aufgrund vorprogrammierter Klima- und Zeitschranken, konstante Schneequalität bei sich ändernden Wetterbedingungen oder unterschiedlichen Wassertemperaturen.

Auch die „Eigenintelligenz“ jedes einzelnen Schneeerzeugers – also ein selbstständiges Arbeiten aufgrund vorprogrammierter Parameter auch ohne Zentrale –



Abb. 3.4 Unterschiedlich geformte Lanzenköpfe von Schneilanzen. (C. Weiler)



Abb. 3.5 Lanzen-Schneerzeuger. (U. Pröbstl-Haider)

wird ständig so verbessert, dass die Produktion eines hochwertigen Schnees bei neuen Anlagen vorausgesetzt werden kann.

EDV-gestützte Anlagen erleichtern die nachträgliche Kontrolle im Rahmen eines Monitorings. Automatische Aufzeichnungen in Form eines Betriebstagebuches sind dabei von Vorteil. Dies erleichtert die Dokumentationspflicht für die Betreiber und die Kontrolle der Beschneigung durch die zuständigen Behörden, wie in Deutschland durch das Landratsamt.

Neuentwicklungen konzentrieren sich dabei vor allem auf eine Beschneigungstechnik, die unabhängig von der Lufttemperatur Schnee produzieren können, bzw. Modelle, die im Grenztemperaturbereich hochwertigen Schnee erzeugen. Ein Beispiel für diese neue Beschneigungstechnologie sind etwa die Snowfactory-Modelle von TechnoAlpin, die nicht die konventionellen Schneeerzeuger ersetzen, sondern an die bestehende Anlage angeschlossen werden können und durch Verwendung von gekühlter Luft temperaturunabhängig Schnee erzeugen.

Weitere Neuentwicklungen betreffen versenkbare Schneetürme, die bei Nichtgebrauch oder im Sommer über eine Vorrichtung teilweise oder zur Gänze in einem Schacht versenkt werden können.

Innovationen werden auch im Zusammenhang mit der Verkürzung der Einschneizeiten gesucht. Angestrebt wird eine „entsprechende Schlagkraft im Grenztemperaturbereich“, wie z. B. durch eine Doppelkopf-Schneilanze oder Dreifachkopf-Schneilanze.¹

Hydranten und Leitungsgräben Die Schneeerzeuger werden durch Hydranten mit dem Leitungssystem verbunden, die die jeweils erforderliche Versorgung mit Druckluft, Wasser und Strom gewährleisten.

Der Verlauf der Kabelgräben wird so gewählt, dass von einer durchgehenden Achse, die möglichst landschaftsschonend geführt wird (Abb. 3.7), rechtwinkelig Stichverbindungen zu den jeweiligen Hydrantenstandorten abzweigen. Die Leitungsgräben müssen eine frostfreie Tiefe erreichen (Abb. 3.6).

Bei den Hydranten unterscheidet man zwischen Oberflur- und Unterflurhydranten. Bei einer Schneeanlage mit Propeller-Schneeerzeugern werden in der Regel Hydrantenabstände von etwa 60–80 m gewählt, in stark kupiertem Gelände sind die Abstände geringer. Bei Lanzenanlagen werden je nach System und Wurfweite meist geringere Abstände gewählt. Abb. 3.6, 3.8 und 3.9 zeigen einen Unterflurhydranten und Abb. 3.12 und 3.13 einen Oberflurhydranten. Abb. 3.10 und 3.11 zeigen das entsprechende technische „Innenleben“ und den Unterflurschneischacht beim Einbau.

¹Zum Beispiel System Nussy Medusa und Tridusa, in: Mountain Manager 2022



Abb. 3.6 Begehbarer Unterflurhydrat (C.Weiler)



Abb. 3.7 Bau eines Leitungsgrabens (E. Stadler)



Abb. 3.8 Unterflurhydrant bei Hochdruckanlage. (U. Pröbstl-Haider)



Abb. 3.9 Einblick in einen begehbaren Unterflurhydranten. (U. Pröbstl-Haider)

Oberflurhydranten (Abb 3.12) sind zumeist in Metallgehäusen (z. B. kunststoffbeschichtetes Niroblech) untergebracht und weisen üblicherweise eine Breite von 750 mm, eine Höhe von etwa 200 mm und eine Tiefe von 35 mm auf. Um sie besser in die Landschaft einzufügen, wird das Metallgehäuse grün eingefärbt, oder die Hydranten werden mit den Seilbahnanlagen verbunden. Im Winter ist in Abhängigkeit vom Aufstellungsort bei Oberflurhydranten durch Schutzvor-



Abb. 3.10 Unterflurschneischacht mit technischem Innenleben. (C. Weiler)

richtungen (Matten etc.) sicherzustellen, dass diese keine Gefahrenquelle für die Skifahrer darstellen (Abb. 3.13). Auf neue versenkbare Lösungen wurde bereits hingewiesen.

In den Gebieten oder Abschnitten der Piste, bei denen auf die ganzjährige Nutzung Rücksicht genommen werden muss, z. B. bei Weidebetrieb und sommerkundlicher Nutzung, werden zumeist Unterflurhydranten verwendet. Hier ist meist nicht mehr als der Deckel mit 600 mm Durchmesser zu sehen. Eine farbliche (grüne) Gestaltung erlaubt es, die Einrichtung weitgehend „unsichtbar“ zu machen. Unterflurhydranten haben weiterhin den Vorteil, dass sie kein Hindernis in der Piste darstellen (Abb.3.6, 3.8 und 3.9)



Abb. 3.11 Unterflurschneischacht beim Versetzen im Schneigraben. (C. Weiler)

Wasserentnahmestellen und Wasserfassungen Die Wasserentnahme kann aus natürlichen oder künstlichen Gewässern oder eigens dafür errichteten Speichern erfolgen. Abb. 3.14 zeigt einen Speichersee im Bau, Abb. 3.15 und 3.16 zeigen bereits fertige Anlagen mit aufwändiger Ufergestaltung. Die Art der Wasserverwendung reicht dabei von der Trinkwassernutzung, dem Fließgewässer, seinem See bis zum gesondert angelegten Speichersee oder zu unterirdischen Wasserspeichern.

In der Regel werden Speichereinrichtungen vom Umfang her so angelegt, dass sie mindestens für die Grundbeschneigung oder wesentliche Anteile davon ausreichen. Durch die Verlagerung des Wassersammelns in das Frühjahr und den Sommer werden die hohen Abflussraten während der Schneeschmelze und Starkregen im Sommer genutzt und die Gewässer im Winter nicht belastet. Ist die erforderliche hohe Wasserqualität (mindestens Badewasserqualität) nicht gewährleistet, kann im Einzelfall eine Entkeimungsanlage notwendig werden, um einer Infektionsgefahr auf der Piste vorzubeugen.

Bei großen Anlagen können große Speicherseen oder unterirdische Speicher erforderlich werden, die unabhängig von der Beschneigungsanlage selbst einen Eingriff in den Naturhaushalt darstellen. Bei sehr kleinen Anlagen und Entnahme



Abb. 3.12 Oberflurhydrant. (U. Pröbstl-Haider)

aus Fließgewässern erfolgt die Direktentnahme mithilfe einer Saugpumpe, die in einem abgegrenzten Bereich Wasser ansaugt. In der Regel ist auch hier eine gebaute Wasserfassung erforderlich.

Seit ca. 15 bis 20 Jahren werden Speicherteiche für Beschneigungszwecke so gebaut, dass diese visuell natürlich entstandenen Bergseen ähneln. In den meisten Fällen dienen diese Gewässer in den Sommermonaten als Naherholungsraum für Gäste und Einheimische (Abb. 3.15 und 3.16).

Pumpstationen und Kühlanlagen Wenn das Wasser aus tiefergelegenen Bereichen (z. B. im Tal) entnommen wird, dann werden eine oder mehrere Pumpstationen, fallweise mit Kompressorstationen und einer Trafostation, benötigt (Abb. 3.17). Da das Pumpen und die Station einen hohen Kostenaufwand bei Anlage und Betrieb bedeuten, wird oft versucht, in der Nähe der benötigten Pistenflächen bzw. in höheren Lagen Möglichkeiten für die Wasserentnahme zu schaffen.

Der Bau von Pump- und Zwischenpumpstationen kann weitere Eingriffe bedeuten. Daher sind beispielsweise bei sensibler Lage am Hang deren Auswirkungen besonders zu berücksichtigen. Je nach Lage und Art der Wasserentnahme kann auch noch eine Kühlanlage erforderlich sein, um die Effizienz der Schneeerzeugung zu verbessern.

Wetterstation und Schaltzentrale Zur Überwachung eines natur- und umweltschonenden Betriebs der Beschneigungsanlage gehört eine Dokumentationspflicht (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen



Abb. 3.13 Oberflurhydrant im Winter mit Schutzvorrichtung. (C. Weiler)

18.10.1993). Bereits seit 1993 ist in Bayern bei Beschneigungsanlagen für mehr als 2 ha Beschneifläche durch eine selbstständig arbeitende, gesicherte Vorrichtung jeweils der Beschneigungsvorgang mit Datum, Uhrzeit und Witterungsbedingungen (Außentemperatur und Luftfeuchte) aufzuzeichnen. Diese Dokumentationspflicht wird durch die modernen Beschneigungsanlagen automatisch erfüllt. Die Anforderungen an eine Überwachung haben auch durch weitere Rechtsvorschriften, wie z.B. die Umwelthaftungsrichtlinie (2004/35/EG), zugenommen.

Die Steuereinheit automatischer Systeme kann vereinfacht so dargestellt werden, dass sie Signale einer Wetterstation erhält, daraus einen Sollwert (z. B. die Durchflussrate) errechnet und einen Regler danach einstellt. Moderne Steuerungsanlagen berücksichtigen darüber hinaus Wasserverbrauch, Wassertemperatur und, je nach System, auch den Luftdruck. Abb. 3.20 gibt einen Einblick in die Überwachung der meist vollautomatischen Systeme.

Schaltanlagen, Kühleinrichtungen und Pumpen werden zumeist in einem Gebäude zusammengelegt (Abb. 3.18 und 3.19).



Abb. 3.14 Mit dem Bau von Wasserspeichern können erhebliche Eingriffe in den Naturhaushalt u.a. durch Geländeänderung und Versiegelung verbunden sein. (U. Pröbstl-Haider)

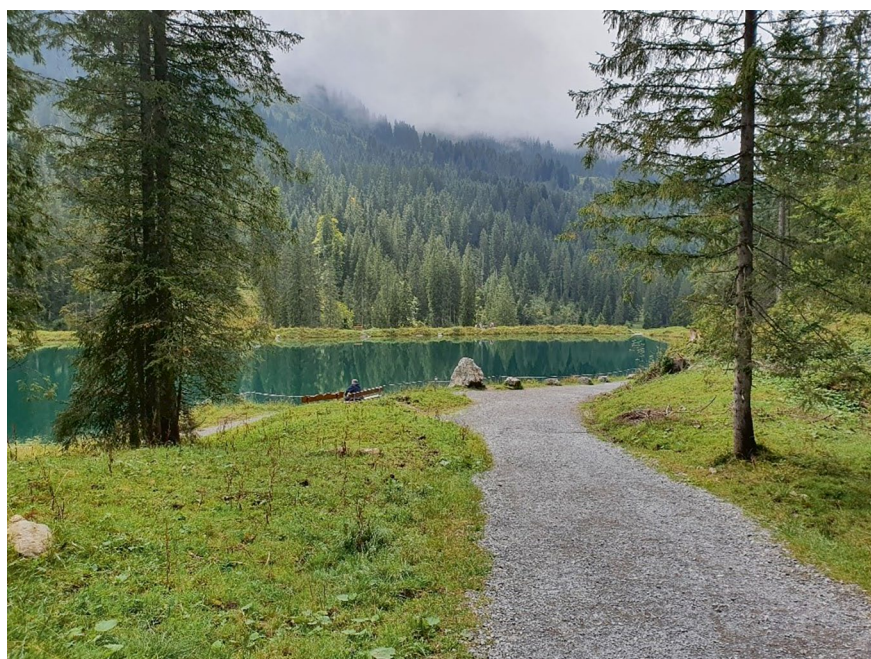


Abb. 3.15 Speicherteich mit Erholungsfunktion am Gaisbühl im Kleinwalsertal. (C. Weiler)



Abb. 3.16 Aufwändige Gestaltung der Dammkrone entlang des Speicherteiches, Teilbereiche noch im Bau. (C. Weiler)



Abb. 3.17 Mobile Pumpanlage und mobile Kühlturmanlage. (C. Weiler)

Abb. 3.18 In der Anlage am Fellhorn (D) ist die Technik für die Beschneigung weitgehend unsichtbar im Hang untergebracht. (U. Pröbstl-Haider)



3.1.2 Betrieb der Anlage

Nachstehend werden die Grundzüge zum Betrieb einer Beschneigungsanlage erläutert. Vertieft werden dabei nur die Aspekte, auf die später bei den möglichen Auswirkungen auf den Naturhaushalt wieder Bezug genommen werden muss. Dazu gehören das Auf- und Abbauen der Schneeerzeuger sowie der Beschneigungsvorgang selbst. Hier sind weiterhin Themen wie das Ausleuchten der zu beschneidenden Flächen, die Haufen- oder Depotbeschneigung und die anschließende Präparierung sowie die Lärmbelastung durch die Beschneigung enthalten.

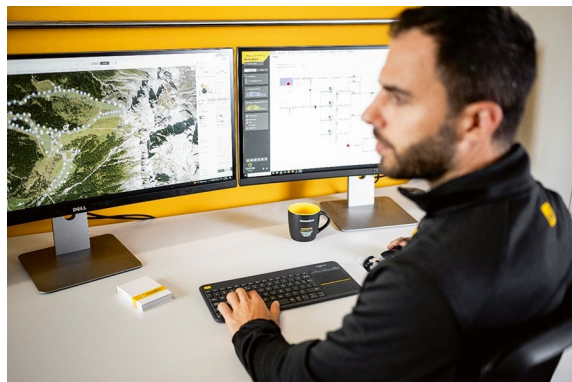
Das Prinzip der Schneeerzeugung

Bei der technischen Herstellung von Schnee wird die „Natur nachgeahmt“. Natürlicher Schnee entsteht, wenn die in höheren Schichten durch Abkühlung und Übersättigung atmosphärischer Luft kondensierten Wassertröpfchen zu Boden fallen. Wenn sie sich bei langer Flugzeit durch ausreichend kühle Luftschichten bewegen, bilden sich Schneekristalle aus.



Abb. 3.19 Im Regelfall haben die Pumpstationen, zumeist mit integrierten Kühlturmanlagen, eine Größenordnung, sodass eine „weitgehend unsichtbare“ Ausführung nicht mehr möglich ist. Hier wird dann durch Holzverschalungen und landschaftsangepasste Farbgebung eine bestmögliche Integration in die Umgebung hergestellt. Das Bild zeigt die Pumpstation am Ifen/Kleinwalsertal. (C. Weiler)

Abb. 3.20 Überwachung und vollautomatische Steuerung einer modernen Beschneigungsanlage durch ein Leitsystem. (H. Niederkofler/ TechnoAlpin GmbH)



Die Beschreibung des physikalischen Vorgangs soll am Beispiel eines Propeller-Schneeerzeugers erläutert werden. Durch ein Gebläse wird kalte Umgebungsluft angesaugt und gerichtet ausgeblasen. An der Mündung des Gebläserohres wird über kranzförmig angeordnete Düsen das Wasser mechanisch zerstäubt und im Gebläseluftstrom verteilt. Durch die sehr feine Tropfenbildung

und Mischung mit einem möglichst großen Volumen kalter Umgebungsluft wird die Oberfläche der Tropfen auf eine Temperatur von 0 °C gekühlt. Dies wird ausschließlich durch Verdunstungskälte und nicht durch Beimischung von Kältemitteln erreicht. Gleichzeitig wird durch einen auf dem Gerät aufgebauten Kompressor Umgebungsluft angesaugt und verdichtet. Diese Druckluft wird ebenfalls dem Düsenkranz zugeführt und expandiert an den Düsenöffnungen. Durch die Entspannung der Druckluft tritt eine kurzzeitige starke Abkühlung auf, d. h., das in der Druckluft enthaltene Wasser fällt in Form feinsten Tropfen aus und gefriert in der Kältezone zum sogenannten Kristallkeim. Dieser Kristallkeim hat die Funktion, die gleichzeitig produzierten Wassertropfen während des Fluges durch die Luft ausfrieren zu lassen.

Wechsler (2014) unterstreicht die große Bedeutung der Temperatur und der relativen Feuchte der Außenluft, die in der sogenannten Feuchtkugeltemperatur zusammengefasst wird. Je kälter und je trockener die Außenluft ist, desto höher sind die Ausbeute und die Qualität des technischen Schnees. Da auch die Wassertemperatur die Effizienz und Qualität des technischen Schnees beeinflusst, werden viele Beschneigungsanlagen auch mit Kühlanlagen ausgerüstet, die das Wasser auf 1–2 °C herunterkühlen. Bei hochgelegenen Speicherseen ist diese Kühlung in der Regel nicht erforderlich.

Als Faustregel gilt: Mit 1 m³ Wasser können bei guten Bedingungen, d. h. unter –3 °C Feuchtkugeltemperatur bis zu 2,3 m³ Schnee produziert werden.

Da die Aufnahmefähigkeit der Luft für verdunstendes Wasser und damit die Bildung von Verdunstungskälte abhängig von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit ist, ergeben sich für die verschiedenen Temperaturbereiche unterschiedliche Leistungsmerkmale der Schneeerzeuger.

Bei günstigen Verhältnissen wird aus einer bestimmten Wassermenge ein größeres Volumen an Schnee erzeugt. Die Beschneigung funktioniert umso besser, je tiefer die Luft- und Wassertemperatur und je geringer die Luftfeuchtigkeit ist. Der erzeugte Schnee soll möglichst „trocken“ und leicht sein, d. h. wenig freies Wasser enthalten. Sogenannter trockener Schnee besitzt einen ökologisch günstigeren Aufbau mit einer hohen Luftdurchlässigkeit, einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und geringer Neigung zur Vereisung. Diese Eigenschaften sind auch für den Skibetrieb günstig. Ein leichter und „trockener“ Schnee soll eine Dichte (spezifisches Gewicht) von weniger als 360 kg/m³ besitzen und einen freien Wassergehalt von 12–16 % nicht überschreiten.

Insgesamt sollten daher für eine verträgliche Beschneigung folgende Bedingungen gegeben sein: Die Luft sollte eine Temperatur von mindestens –3 °C haben und weniger als 80 % Luftfeuchtigkeit aufweisen. Für die Schneeerzeugung werden nur Wasser und Strom (Antrieb Schneeerzeuger und Pumpen) benötigt. Zusätze sind in den meisten europäischen Ländern, z.B. Spanien, Deutschland und Österreich, nicht gestattet. Derzeit gelten –2 °C als der Grenztemperaturbereich für die Beschneigung. Jedoch wird permanent an der Weiterentwicklung gearbeitet.

So kann bereits heute bei Plusgraden technischer Schnee hergestellt werden. Dies mag bei Wettkämpfen erforderlich und sinnvoll sein. Bei Publikumsverkehr ist dies nicht nachgefragt, weil der teuer hergestellte Schnee rasch wieder zu

schmelzen droht. Dagegen wird an der Qualitätsverbesserung auch bei geringen Minusgraden gearbeitet.

Bei der Beschneiungsanlage haben die Wassertröpfchen im Vergleich zum natürlichen Schnee nur eine kurze Flugzeit. Daher können sich keine Schneekristalle ausbilden, sondern nur runde Formen. Durch die runden Formen und die im Vergleich zum Naturschnee höhere Dichte ist der Präparieraufwand mithilfe von Pistenraupen bei technischer Beschneiung geringer als bei Naturschnee. Auch steigt damit die mechanische Belastbarkeit durch den Skibetrieb.

Umwandlungsgrad und Verluste

Wie alle technischen Geräte arbeiten auch Schneeerzeuger nur mit einem bestimmten Wirkungsgrad, d. h., nicht das gesamte Wasser wird in Schnee umgewandelt. Hierfür kann es verschiedene Ursachen geben:

- Ein Teil des Wassertropfens verdunstet auf der Flugbahn.
- Einige Wassertropfen sind so klein, dass sie in der Atmosphäre schweben bleiben.
- Ein Teil des durchsetzten Wassers friert nicht, sondern versickert bei ungünstigen Temperaturbedingungen vermehrt als sogenanntes freies Wasser in der Piste.

Hinzu kommen in der Regel Verluste durch Schneeverwehungen und Windverfrachtungen.

Die Verluste an Wassertröpfchen, die nicht zu Schnee werden, sondern durch Verdunstung (Sublimation), Befeuchtung der Umgebungsluft oder durch Drift verblasen werden, sind bei Lanzenanlagen durch die größere Höhe der Düsen größer als bei Propelleranlagen. Dies zeigen auch die entsprechenden Herstellerangaben, die bei Propellergeräten bei 5–15 % liegen und bei Lanzen zwischen 15 und 40 % liegen können (OITAF 2023). Da überwiegend Propeller-Schneeerzeuger eingesetzt werden, sind die oben genannten Durchschnittswerte von 10–20 % eine gute Richtgröße.

Alternative Methoden zur Erzeugung von technischem Schnee

Aufgrund der starken Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit wird auch versucht, eine temperaturunabhängige Schneeerzeugung zu erreichen. Dies soll durch Herstellung von sehr feinem Eis erzielt werden. Je nach Wirkungsweise der „Eiskanonen“ wird zwischen Scherbeneis, Röhreneis und Platteneis unterschieden (Trædal 2017). Das feine Eis kann anschließend durch Druckluft und Schlauchleitungen verteilt werden.

Eine andere Form betrifft die Herstellung von sogenanntem Eisschlamm, d. h. Eis mit einer geeigneten Trägerflüssigkeit, wie Wasser oder Wasser, das mit Mitteln, die den Gefrierpunkt absenken, versetzt ist. Die günstigste Art, Eisschlamm herzustellen, kann über Volumeneismaschinen erreicht werden.

Der „Schnee“, der durch diese temperaturunabhängige Produktionsweise hergestellt wird, variiert je nach Methode im Hinblick auf die Dichte. Die Trocken-

eisherstellung durch Scherbeneismaschinen ergibt eine Dichte von 500 kg/m^3 . Die feuchteren Eismaschinen, wie die Platten-, Röhren- oder Eisschlammherstellung, erreichen bei feuchterem „Schnee“ ebenfalls eine Dichte von 500 kg/m^3 . Bislang wird die Technologie der Schneeerzeugung über feine Eispartikel vor allem für Wettkämpfe und Events bzw. für Indooranlagen eingesetzt.

Aktuell ist aufgrund der Investitionskosten und des hohen Energieaufwands nicht davon auszugehen, dass die eisbasierten Modelle die bisherigen Schneeerzeugungssysteme ablösen könnten. Aktuell wird von einer punktuellen Ergänzung durch entsprechende Systeme vor allem bei Großveranstaltungen und Events ausgegangen (Trædal 2017).

Neben der Kältetechnik, wie den Scherbeneisanlagen, werden auch kryotechnische Anlagen für die Herstellung von technischem Schnee getestet. Dabei werden kryogene Stoffe, wie flüssiger Stickstoff oder flüssiger Wasserstoff, eingesetzt, die durch eine besonders niedrige Verdampfungstemperatur gekennzeichnet sind.

Wenn flüssiger Stickstoff verdampft, entsteht Stickstoffgas mit einer Temperatur von -196 °C . Auf diese Weise lässt sich Umgebungswasser sehr rasch herunterkühlen und zu Eis verwandeln. Derzeit gilt die Technologie ebenfalls aufgrund der hohen Investitionen und Energiekosten für den flächendeckenden Einsatz als noch nicht rentabel (Teich et al. 2007). Einsatzgebiete liegen vor allem in Skihallen (Jong 2011) oder bei Veranstaltungen. Bei den X-Games in Oslo wurden für 1100 m^3 Schnee ungefähr 400 t von flüssigem Stickstoff benötigt (Haugsvær 2016).

Art und Umfang der Beschneigung

Bei der Beschneigung wird zwischen einer Grund- oder Basisbeschneigung und einer Ausbesserungs- bzw. Nachbeschneigung unterschieden.

Die Erfahrungen aus zahlreichen Skigebieten belegen, dass eine wirtschaftliche Beschneigung am ehesten erreicht wird, wenn an kalten Tagen bzw. in kalten Nächten Ende November und Anfang Dezember eine sogenannte Grundbeschneigung durchgeführt wird. Auf dieser beschneiten Fläche bleibt der Naturschnee deutlich ergiebiger liegen. Im weiteren Verlauf des Winters sind dann in der Regel nurmehr Ausbesserungs- oder punktuelle Nachbeschneigungen erforderlich. Vorteile dieser Praxis sind, dass für die Beschneigung die vielfach im Frühwinter vorhandenen kalten Tage und Nächte für die Beschneigung genutzt werden, bevor – meist an den Weihnachtstagen – ein Wärmeeinbruch erfolgt. Die Piste besitzt bei diesem Verfahren zudem einen günstigen Aufbau aus der Sicht des Skibetriebs.²

Die flächige Beschneigung ist auch aus fahrtechnischer Sicht für den Skifahrer angenehmer als ein „Fleckerlteppich“ aus beschneiten Flächen und Bereichen mit natürlichem Schnee.

Bei Berechnungen für die erforderliche Wassermenge, Art und Umfang des Beschneigungssystems bzw. der Zahl der Schneeerzeuger sowie deren Positionierung

²In der Vergangenheit, d. h. in den 1990er-Jahren, genügte nach Angaben diverser Bergbahnen in Bayern und Österreich die Grundbeschneigung für die gesamte Wintersaison.

wird jedoch grundsätzlich von einer Grund- und Ausbesserungsbeschneieung ausgegangen (vgl. Beispiel für eine Bedarfsberechnung, nach Weiler 2024). Danach können hierfür folgende Faustzahlen genannt werden: Aus 1 m³ Wasser können etwa 2,3 m³ Schnee gewonnen werden. Für eine Grundbeschneieung wird eine Schneehöhe von ca. 50 cm technischer Schnee benötigt, das entspricht folglich ca. 175 l Wasser pro Quadratmeter. Für Nach- und Ausbesserungsbeschneieungen werden je nach örtlicher Situation ca. 60 % der Grundbeschneieung zusätzlich gebraucht.

Die spezifische maximale Anlagenleistung beträgt im Durchschnitt nach den bisherigen Erfahrungen etwa 10–15 l/s Wasserleistung pro Hektar Schneefläche. Im Durchschnitt des Schneebetriebs von etwa 100–150 h pro Jahr wird ein mittlerer Lastbereich (Auslastungsgrad) von etwa 70 % erreicht, da nicht immer bei besten Bedingungen, d. h. hohe Minusgrade, beschneit werden kann.

Tab. 3.1 zeigt hierzu ein Beispiel (Weiler 2024) einer Beschneieung für rund 10 ha mit 30 Schneeerzeugern. Sie stellt deutlich die getrennten Ansätze für Grund- und Ergänzungsbeschneieung dar.

Wichtig sind weiterhin die ebenfalls gesondert nach Grund- und Ergänzungsbeschneieung aufgeschlüsselten Schneizeiten, die sowohl von der eingesetzten Zahl der Schneeerzeuger als auch von den jeweiligen Außentemperaturen abhängen. Hier lässt sich abschätzen, ob an Tagen mit klimatisch geeigneten Bedingungen auch ausreichend Zeit für die Beschneieung zur Verfügung steht oder ob die Zahl der Schneeerzeuger erhöht werden muss. Daraus ergibt sich auch eine differenzierte Ableitung des Wasserbedarfs. Die bedarfsgerechte Ermittlung der erforderlichen Schneemenge ist insbesondere bei der Wasserentnahme (Abschn. 4.3) von großer Bedeutung.

Für die Beurteilung von landschaftsökologischen Auswirkungen sind differenzierte Angaben zum Wasserbedarf auch in Abhängigkeit von der Temperatur unabdingbar.

Präparation und Depotbeschneieung

In den meisten Fällen wird – auch aus Kostengründen – die Beschneieung so durchgeführt, dass die Schneemenge in erforderlichem Umfang produziert und entsprechend der Wurfweite und der Ausrichtbarkeit der Schneeerzeuger bzw. dem jeweils gewählten System möglichst flächig verteilt wird.

Tab. 3.1 Bedarfsberechnung am Beispiel einer modernen Beschneieungsanlage. (Weiler 2024)

Schneefläche	10 ha
Wasserbedarf für Grundbeschneieung	2500 m ³ /ha, somit 25.000 m ³
Wasserbedarf für Nachbeschneieung	1500 m ³ /ha, somit 15.000 m ³
Gesamtwasserbedarf je Schneisaison (max.)	4000 m ³ /ha, somit 40.000 m ³
Kalkulierte Schneizeit für Grundbeschneieung	72 h
Kalkulierte Schneizeit für Nachbeschneieung	45 h
Durchschnittliche Pumpleistung während Grundbeschneieung	96,5 l/s
Durchschnittlicher Wasserdurchsatz je Propeller-Schneeerzeuger	3,2 l/s
Anzahl erforderlicher Schneeerzeuger für Grundbeschneieung	30 Stk. (d. h. 3 Stk./ha)

Der technische Schnee wird, wenn er sich etwas gesetzt hat, später durch die Pistenraupe präpariert.

Sogenanntes Haufen- oder Depotbeschneien stellt daher eher die Ausnahme dar. Dies war auch in den Grundsätzen zur Beschneigung des Bayerischen Umweltministeriums von 1993 bereits entsprechend enthalten:

„Künstlich erzeugter Schnee soll in der Regel nur unmittelbar durch die Herstellungsvorrichtung auf die dafür vorgesehenen Flächen ausgebracht werden. Der Schnee kann vorläufig zu Haufen geschneit werden, sofern er möglichst bald weiterverarbeitet wird und die Verteilung ohne Beschädigung von Boden und Vegetation erfolgen kann" (Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1993).

Beleuchtung

Nachdem die erforderlichen Kältegrade im gewünschten Zeitraum tagsüber oft nicht zur Verfügung stehen, ist häufig eine Beschneigung in den Abend- und, soweit erlaubt, in den Nachtstunden (Einschränkungen gibt es vor allem aus lärmtechnischen Gründen bei technischen Beschneigungen in der Nähe von Siedlungsgebieten) notwendig. Dabei wird die zu beschneie Fläche vielfach flächig ausgeleuchtet.

Dies ist bei den modernen Systemen nicht mehr notwendig. Grund dafür sind die Automatisierung und gezielte Ansteuerungsmöglichkeit jedes einzelnen Schneeerzeugers. Bei modernen Anlagen ist dies auch durch eine Bluetooth- bzw. WLAN-Fernsteuerung möglich. Daher genügen kleine rote Positionslichter, die das Auffinden des Schneeerzeugers ggf. erleichtern. Auf eine großflächige Ausleuchtung kann zum Schutz des Landschaftsbildes und der Tierwelt somit verzichtet werden.

Auf- und Abbau der Schneeerzeuger

Bei allen fest installierten Anlagen großer Skigebiete können die einzelnen Schneeerzeuger in der Regel durch entsprechende Messgeräte, eine Computersteuerung oder per App in den Teilabschnitten sofort eingeschaltet werden, in denen bereits entsprechende Kältegrade und Luftfeuchtigkeit vorliegen. Dies gilt mittlerweile unabhängig vom Anlagentyp. Lanzen-Schneeerzeuger kommen vor allem in Vollbestückung zum Einsatz, d. h., bei jeder Zapfstelle wird eine Lanze installiert. In den meisten Fällen bleiben die Schneilanzen das ganze Jahr am Einsatzort stehen und werden im Sommer vor Ort gewartet bzw. repariert. Nur in den seltensten Fällen werden Schneilanzen im Spätwinter demontiert, mit der Pistenraupe abtransportiert und im Herbst wieder aufgestellt; in diesen Fällen ist die Gefahr von Schäden im Gelände gering. Allerdings ist ein jährlicher Ab- und Aufbau von Schneilanzen mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

Bei den Propeller-Schneeerzeugern setzt sich immer mehr der Trend zu fix installierten Schneeerzeugern, sogenannten Turmkanonen, durch. Auch diese fix installierten Schneeerzeuger verbleiben analog zu den Schneilanzen ganzjährig vor Ort (Abb. 3.21 und 3.22).

Mobile Propeller-Schneeerzeuger kommen vor allem dort zum Einsatz, wo aus lokalklimatischen Gründen fixe Aufstellungsorte keinen Sinn machen (z. B. in Bereichen mit ständig wechselnden Windrichtungen), eine Vollbestückung mit Schneeerzeugern wirtschaftlich nicht leistbar ist oder aufgrund der geringen Breite



Abb. 3.21 Propeller-Schneeeerzeuger auf Turm. (C. Weiler)



Abb. 3.22 Propeller-Schneeeerzeuger auf Türmen mit Sommerabdeckung. (C. Weiler)

der Skiabfahrten die Schneeerzeuger aus sicherheitstechnischen Gründen nach Beendigung der Beschneigung und vor Aufnahme des Skibetriebs entfernt werden müssen.

Müssen wenige Propeller-Schneeerzeuger bei einer größeren Zahl von Zapfstellen eingesetzt werden, dann müssen diese mit Pistenraupen, Helikoptern oder landwirtschaftlichen Geräten versetzt werden. In diesem Fall werden im Herbst die Schneeerzeuger dort aufgestellt, wo die Bedingungen für eine Beschneigung als Erstes erwartet werden, oder in den Bereichen, in denen aus Gründen der Windverblasung, des Skikantenschliffes oder der Besonnung rasch eine Beschneigung erforderlich wird.

Durch das hohe Gewicht der Propeller-Schneeerzeuger kann es beim Aufstellen und Versetzen zu Schäden an Vegetation und Boden kommen (Abb. 3.23). Dies hängt unter anderem wesentlich von den Witterungsbedingungen im Spätherbst ab. Nicht immer kann hierfür eine Frostperiode abgewartet werden.

Bei einer angestrebten Grundbeschneigung Ende November wird dann z. B. rasch von oben nach unten beschneit. Während früher die Schneeerzeuger nach unten versetzt wurden, wird heute eine flächige Bestückung mit Schneeerzeugern angestrebt. Dadurch lassen sich auch Schäden an Vegetation und Boden vermeiden, und die Fläche kann rascher in Betrieb genommen werden.



Abb. 3.23 Niederdruck-Schneekanone vor dem Transport ins Gelände. Durch das hohe Gewicht können beim Aufstellen und Versetzen Schäden an Vegetation und Oberboden entstehen. (C. Weiler)



Abb. 3.24 Bei der Depotbeschneung werden Haufen beschneit, die anschließend verteilt werden. (C. Weiler)

Propeller-Schneeerzeuger werden auch zur Depotbeschneung eingesetzt. Dies gilt für die Depotbeschneung auf der Piste (Abb. 3.24), aber auch bei Depots außerhalb der Piste oder in technischen Anlagen.

Lärmbelastung durch die Beschneigung

Die bei der Beschneigung auftretende Schallemission kann sowohl für den Menschen als auch für die Natur ein Problem darstellen. Daher sollen die Auswirkungen der unterschiedlichen Systeme an dieser Stelle kurz erläutert werden.

Fuhrmann (1996) beschreibt die Schallemissionen von Propeller-Schneeerzeugungsanlagen folgendermaßen: Bei Propeller-Schneeerzeugern wird die Lärmentwicklung vom Drehgeräusch des Ventilators geprägt. Auf dem Grundspektrum liegen Linien höherer Intensität, die auf den Ventilator zurückzuführen sind. In 10 m seitlichem Abstand ergeben sich bei Propeller-Schneeerzeugern 65–85 dB(A). Pegelmessungen ergaben bei HKD-Lanzen auf der Freifläche im Bereich der Düse einen Schallpegel von etwa 90 dB(A). Derzeit werden verschiedene Anstrengungen zur Lärminderung an den Schneeerzeugern selbst durch Schallabsorber oder Schalldämpfer unternommen. Bei den Propeller-Schneeerzeugern erfolgt die Lärmausbreitung allerdings nicht nach allen Seiten gleich.

Weiterhin ist zu beachten, dass in der Umgebung von Gebäuden oder Wildruhezonen einzelne Schneeerzeuger ganz oder zeitweise in Teillast betrieben werden können. Dadurch lässt sich die Lärmbelastung ebenfalls erheblich um ca. 10 dB(A) reduzieren. Dies entspricht in etwa einer Halbierung des wahrgenommenen Lärms.

Neben den Werten, die in unmittelbarer Nähe der Schneeerzeuger aufgenommen wurden, interessieren aus landschaftsökologischer Sicht vor allem die Verlärmungsbänder bzw. die Abnahme mit der Entfernung. Es zeigt sich, dass bei rund 50 m Abstand vom Propeller-Schneeerzeuger wieder ein Geräuschpegel erreicht ist, der der normalen Unterhaltungssprache, d. h. etwa 50 dB(A), entspricht. Bei 200 m sinkt der Wert auf ca. 40 dB(A), bei leisen Propeller-Schneeerzeugern auf 36 dB(A). Bei der Lanze ist bei einem Abstand von etwa 100 m ein Wert von 42 dB(A) möglich. Dies entspricht einem normalen Geräuschpegel im Wald.

Geräuscharme Propeller-Schneeerzeuger können durch eine spezielle Dämmtechnik die oben genannten Werte unterschreiten. Gemessene Schallpegel für verschiedene Schneeerzeuger sind in Tab. 3.2 beispielhaft wiedergegeben.

Messungen bei freier Ausbreitung einer Schneilanze von Demaclenko 2017 erfahren Werte, die ca. 8 dB(A) niedriger lagen (Monte 2017). Stangl (2013) ermittelte für die Propeller-Schneeerzeuger vergleichbare Werte wie in Tab. 3.3. angegeben.

Allerdings ist zu beachten, dass die Berechnung der Schallimmission von Temperatur und relativer Luftfeuchte mitbeeinflusst wird. Tab. 3.3 zeigt die unter-

Tab. 3.2 Angaben zur Verlärmung bei unterschiedlichen Systemen. (Nach Roth 1997; Müller 1997)

Entfernung	Durchschnittliche Werte in dB(A)* Propeller-Schneeerzeuger	Durchschnittliche Werte in dB(A)* Lanzen-Schneeerzeuger
20 m	64	72,8
30 m	56	Keine Angabe
50 m	54	60,5
100 m	47	51,2
200 m	41	43,6

Tab. 3.3 Schallimmissionen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Bedingungen der Luftabsorption bei Propeller-Schneeerzeugern mit Schallleistungspegel von 94 dB(A), einer Schallquellenhöhe von 1,5 m und einer Mikrofonhöhe von 5 m. (Nach Fritz 2000)

Abstand in m	Schallpegel in dB(A), 10 °C, 70 % rel. Luftfeuchte	-5 °C, 90 % rel. Luftfeuchte	ΔL
50	49,7	49,4	0,3
100	41,6	41,2	0,4
200	34,1	33,6	0,5
400	26,7	26,1	0,6
800	19	18,4	0,6
1600	10,4	10,1	0,3

Tab. 3.4 Schallimmissionsberechnung bei Betrieb von vier Schneerzeugern. Berechnungsgrundlage $L_A = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{A,i}} \right\} \text{ dB(A)}$. (Fritz 2000)

Schneerzeuger im Abstand von (in m)	Mittelungspegel in dB(A)
100	41,6
200	34,1
300	29,8
400	26,7
„Summe“ für alle vier Maschinen	42,7

schiedlichen Messergebnisse in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte. Auch der Winkel zur Lärmquelle spielt eine Rolle.

Weiterhin ist zu beachten, dass für die Berechnung auch die überlagernden Geräusche mehrerer Schneerzeuger berücksichtigt werden müssen. In Tab. 3.4 ist eine beispielhafte Berechnung dargestellt.

3.2 Anforderungen an die natürlichen Ressourcen für eine wirtschaftliche Beschneigung

Topografie und Exposition

Als besonders günstig erweist sich ein möglichst ebenes Gelände. Untersuchungen aus Frankreich (Dinger 1990) zeigen, dass bei ebenem planiertem Gelände und einer mäßigen Hangneigung bereits mit einer technisch hergestellten Schneedecke von etwa 10 cm der Betrieb eröffnet werden konnte. In stark kupiertem Gelände werden dagegen 60 cm und mehr benötigt, um mit dem Winterbetrieb beginnen zu können. Zu den Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Beschneigung, bei der eine ausreichende Haltbarkeit des erzeugten Schnees gewährleistet ist, zählt auch die Exposition. Für die Beschneigung sollten bevorzugt nord- bzw. nordost-exponierte Pisten beschneit werden. Bei süd- bzw. südwestexponierten Abfahrten müssen im Rahmen einer Vorstudie die örtlichen Verhältnisse sowie Kosten und Nutzen kritisch gegenübergestellt werden.

Klimatische Voraussetzungen

Wie bereits dargestellt, lassen sich Beschneiungsanlagen nur in solchen Gebieten wirtschaftlich betreiben, in denen bestimmte klimatische Voraussetzungen gegeben sind. Obschon die Schneerzeuger permanent technisch verbessert werden, gilt, dass für eine Beschneigung möglichst niedrige Temperaturen und eine möglichst geringe Luftfeuchtigkeit gegeben sein sollen. Ideale Bedingungen herrschen je nach Anlagentyp ab etwa $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ und weniger als 80 % relativer Luftfeuchte. Eine wesentliche Grundlage für die Entscheidung, ob eine Beschneiungsanlage eingesetzt werden kann, sind daher längere gebietsrepräsentative Messreihen der Wetterwerte. Erst wenn bekannt ist, an wie vielen Tagen bzw. Nächten oder Stunden die notwendigen kleinklimatischen Bedingungen in den Wintermonaten vorherrschen, lässt sich z. B. die Zahl der erforderlichen Schneerzeuger und damit die Bemessung der gesamten Anlage gezielt ermitteln.

Eine Analyse über den Temperaturverlauf über 24 h in mehreren zurückliegenden Jahren ist vor allem dann wichtig, wenn beispielsweise aus Gründen des Lärmschutzes eine nächtliche Beschneigung nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

Bei der Bewertung der Voraussetzungen aus kleinklimatischer Sicht ist weiterhin die Beeinflussung durch Wind (Verblasung von Schnee, aber auch Beeinträchtigungen bei der Beschneigung) zu beachten. In bestimmten Lagen ist auch der Einfluss des Föhns zu prüfen, der in manchen Wintersportorten die Zahl der Schneetage erheblich beeinflusst.

Anzustreben ist zudem eine Beschneigung auf gefrorenem Boden, da dann mehr Schnee liegen bleibt.

Wasser

Zu Beginn der Beschneigung sollte die erforderliche Wassermenge verfügbar sein. Von Vorteil ist, wenn dieses Wasser bereits möglichst kühl ist und deshalb nicht stark heruntergekühlt werden muss. In diesem Zusammenhang ist auch eine geringe Erwärmung durch die Reibung bei der Zuleitung zu berücksichtigen. Wegen der erhöhten Temperatur ist daher meist Quellwasser oder Wasser aus einer Trinkwasserleitung weniger günstig als Wasser aus einem offenen Becken oder Teich, bei dem durch Frosteinwirkung eine „natürliche“ Kühlung stattfindet.

Die zu beschneierenden Flächen müssen weiterhin über eine intakte Wasserausleitung verfügen. In diesem Zusammenhang sind auch die geologischen Gegebenheiten zu beachten.

Wasserqualität

Aus hygienischen Gründen müssen hohe Anforderungen an die Qualität des verwendeten Wassers gestellt werden. Hier sind arbeitsmedizinische Aspekte ebenso zu berücksichtigen wie ein präventiver Schutz der Wintersportler und die Umwelthygiene. Es muss eine Gefährdung von Personen zu jedem Zeitpunkt ausgeschlossen werden können, die z. B. im Schnee stürzen und mit ihm in Berührung kommen oder aber sich im Bereich von Beschneiungsanlagen aufhalten und dabei Aerosole einatmen.

Weiterhin sind ein möglicher Einfluss auf Quellen für die Trinkwasserversorgung auf oder unterhalb der beschneiten Flächen sowie potenzielle gewässerökologische Belastungen von Vorflutern bei der Abschmelze zu bedenken (Haussteiner 2011).

In Deutschland ist – nach Angaben des Landesuntersuchungsamtes für das Gesundheitswesen Südbayern und örtlicher Gesundheitsämter (Staatliches Gesundheitsamt Garmisch-Partenkirchen 1990) bei der Beschneigung nicht die Trinkwasserverordnung, sondern die EG-Richtlinie Badegewässer heranzuziehen. Danach werden dieselben Maßstäbe angelegt wie bei natürlichen Badegewässern.³

³Es wird die bakteriologische Qualität geprüft und festgestellt, ob die Proben bakteriologisch einwandfrei sind, Leitwertüberschreitungen (100–2000 FC/100 ml, 500–10.000 GC/100 ml), Grenzwertüberschreitung (1000 FC/100 ml, 10.000 GC/100 ml), Leitwertüberschreitungen für Fäkalstreptokokken (100/100 ml) oder eine Grenzwertüberschreitung wegen des Nachweises von Salmonellen vorliegen.

Bei Überschreitungen der Leit- und Grenzwerte ist eine Beschneigung nicht gestattet, oder es sind entsprechenden Entkeimungsanlagen vorzusehen.

In Österreich sind Anforderungen an die Wasserqualität für die technische Beschneigung im ÖWAV-Regelblatt oder der ÖNORM M6257 formuliert. Als Mindestanforderung werden auch in Österreich die Grenzwerte aus der Badehygieneverordnung herangezogen. Die Einhaltung der Trinkwasserqualität für das Beschneigungswasser wird allgemein dann als erforderlich angesehen, wenn es sich bei den beschneiten Flächen um sensible Einzugsgebiete für Trinkwasserversorgungsanlagen (Lage im Wasserschutzgebiet) handelt. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung war für das Bundesland Salzburg Trinkwasserqualität für das Beschneigungswasser vorgeschrieben.

Eine gegebenenfalls erforderliche Wasseraufbereitung zur Verbesserung der hygienischen Qualität erfolgt vor der Beschneigung in der Regel durch Bestrahlung in Ultraviolett desinfektionsanlagen mit vorgeschalteter Filterung (Haussteiner 2011).

Der Leitfaden für das wasserrechtliche Behördenverfahren von Beschneigungsanlagen empfiehlt, zum Schutz wassergebundener Organismen in Speicherseen ein Restwasservolumen an der Speichersole zu gewährleisten. Dieses nicht für die Beschneigung genutzte Wasser sollte demnach eine Fläche von etwa 10–20 % der Gesamtoberfläche des Speicherteiches bei Vollfüllung aufweisen und an der tiefsten Stelle in Abhängigkeit von der Höhenlage mindestens 1–1,5 m tief sein. Ziel dieser Mindesthöhe ist es, ein Durchfrieren zu vermeiden (Haussteiner 2011).

Vegetation

Für die Beschneigung ist eine geschlossene und kurz gehaltene Vegetationsdecke von Vorteil. Es sollten nach Möglichkeit auch keine vernässten Standorte beschneit werden. Das bedeutet, dass Rasen- und Wiesengesellschaften gut geeignet und Bereiche mit Latsche, Grün-Erle oder Zwergsträuchern für eine Beschneigung eher ungünstig sind. Durch die kurz gehaltene Pflanzendecke wird eine gute Haftung der Schneedecke erreicht.

3.3 Abgrenzung der dargestellten Inhalte

Zu den Auswirkungen der Beschneigung gehören primär die Auswirkungen auf das Landschaftsbild und den Naturhaushalt. Darüber hinaus werden in den Medien vielfach aber auch Folgeeffekte für den Tourismus sowie die Auswirkungen durch den Energieverbrauch der Anlagen diskutiert.

Bei den möglichen Auswirkungen der Beschneigung auf den Naturhaushalt und das Landschaftsbild muss zwischen den baubedingten sowie den anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen unterschieden werden:

- *Baubedingte Auswirkungen:* Auswirkungen auf den Bau der Beschneigungsanlage und der erforderlichen technischen Bauwerke wie Kühltürme, Pumpen-

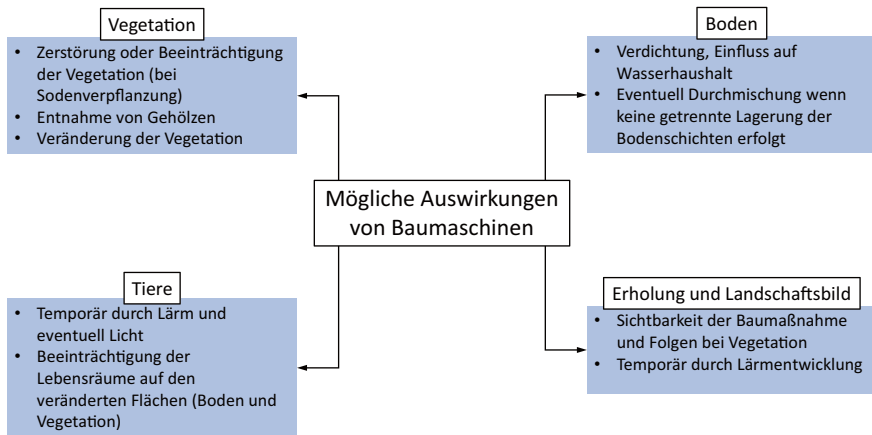


Abb. 3.25 Mögliche baubedingte Auswirkungen. (U. Pröbstl-Haider)

schacht oder Speichersee je nach Anlagentyp und örtlichen Verhältnissen sowie das Verlegen von Kabeln, Rohrleitungen usw. (Leicht 1993) (Abb. 3.25).

- *Anlage- und betriebsbedingte Auswirkungen:* Auswirkungen durch die Anlage selbst (z. B. Versiegelung) und deren Betrieb (Tab. 3.5).

Hinzu kommen Folgeeffekte und Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Bereichen wie Boden, Wasser, Vegetation usw. Diese Auswirkungen werden mit dem Schwerpunkt auf die besonders umstrittenen betriebsbedingten Auswirkungen in Kap. 4 ausführlich dargestellt.

Tab. 3.5 enthält eine schematisierte und zusammenfassende Übersicht zu den möglichen Auswirkungen auf die verschiedenen Schutzgüter des Naturhaushalts, so wie sie heute aus der Literatur bekannt sind bzw. diskutiert werden. Ausgeklammert wird bei Betrieb der Einsatz von Bakterien (*Pseudomonas syringae*) und anderen Substanzen zur Beimischung in das Wasser als Gefrierkerne zur Reduzierung des Energieaufwands, weil in den meisten Ländern des Alpenbogens (Deutschland und Österreich) diese Zusatzstoffe nicht erlaubt sind bzw. nicht verwendet werden.

Abgrenzung von weiteren möglichen Folgewirkungen

Über die dargestellten unmittelbaren Einflüsse der Beschneigung hinaus werden vielfach weitere Effekte diskutiert, die auch soziale und wirtschaftliche Aspekte der Beschneigung betreffen.

Tab. 3.5 Überblick über die verschiedenen Schutzgüter und ihre mögliche Betroffenheit durch die technische Beschneidung

Boden		Vegetation		Tiere		Landschaftsbild	
Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
Mechanische Belastung durch den Skibetrieb	Einfluss auf Oberflächen-erosion	Mechanische Belastung durch den Skibetrieb	Veränderung des Deckungsgrades	Beeinträchtigung der Bodenlebewesen	Veränderung der Artenzusammensetzung	-	-
Veränderung durch Frosteinwirkung	Verzögerung der biologischen Prozesse	Veränderung durch Frosteinwirkung	Schädigung einzelner Pflanzen bzw. Pflanzteilen	-	-	-	-
Abschwemmung von Feinerde, Erosion	Rutschungen in Abhängigkeit von Geologie und Boden	In Abhängigkeit vom Standort Verschiebung des Artenspektrums	Rückgang bestimmter Arten bzw. Artengruppen	-	Rückgang bestimmter Arten in Abhängigkeit von Boden- und Vegetationsentwicklung, insbesondere bei Avifauna und Bodenarthropoden	Bei Rutschungen, Erosionserscheinungen Beeinträchtigung des Landschaftsbildes	Langfristige Veränderung, Verarmung und/oder Nivellierung des Landschaftsbildes durch Verlust an floristischen Kleinstrukturen und Blühaspekten
Lokale Vermäsureung	Längerfristige Veränderung der Nährstoffverhältnisse	In Abhängigkeit vom Standort Verschiebung des Artenspektrums	Rückgang bestimmter Arten bzw. Artengruppen	-	-	-	-

(Fortsetzung)

Tab. 3.5 (Fortsetzung)

Boden		Vegetation		Tiere		Landschaftsbild	
Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
-	Langfristige Veränderung der Nährstoffverhältnisse bei nährstoffbelastetem Wasser	Verschiebungen des Artenspektrums bei Stoffeintrag, insbesondere Nährstoffe möglichst	Veränderung der Pflanzengemeinschaft bei nährstoffreichem Wasser möglich	-	-	-	-
Verzögerte Erwärmung der oberen Bodenschichten	Verzögerung der biologischen Prozesse	Beeinträchtigung frühblühender Arten	Langfristige Veränderung der Artenzusammensetzung	Beeinträchtigung der Bodenlebewesen	Veränderung der Artenzusammensetzung	Verfremdung des Landschaftsbildes, künstlicher Landschaftscharakter	-
-	-	Fäulnis und Schimmelbildung	Schädigung von Pflanzen bzw. Pflanzenteilen	Beeinträchtigung der Bodenlebewesen	-	-	-
		Verschärfte Frosteinwirkung bei Sauerstoffmangel					
		Veränderte thermische Isolationsfähigkeit					
Partielle kleinflächige Versiegelung oder Veränderung des Bodengefüges	Partieller Verlust von belebtem Boden	Verlust von Vegetationsflächen	-	Kleinflächige Verluste an besiedelbarer Fläche	-	Verändertes Landschaftsbild bei oberirdischen Bauwerken	-

(Fortsetzung)

Tab. 3.5 (Fortsetzung)

Boden		Vegetation		Tiere		Landschaftsbild	
Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
-	-	-	-	Energieverluste durch lärm- oder lichtbedingtes Fluchtverhalten	Räumliche und zeitliche Verdrängung, Beeinträchtigung der Fitness durch Störung und Stress	-	-
-	-	-	-	Energieverluste durch lärm- oder lichtbedingtes Fluchtverhalten	Räumliche und zeitliche Verdrängung, Beeinträchtigung der Fitness durch Störung und Stress	Verändertes Landschaftsbild bei großräumigen Ausleuchtungen	-
-	-	-	-	Verdrängung in angrenzende Lebensräume	Veränderung der Areale einschließlich suboptimaler Bereiche	Verändertes Landschaftsbild bei großräumigen Ausleuchtungen	-
Veränderung des Bodenwasserhaushalts	-	Beeinträchtigung der Ufer- und Gewässervegetation	Langfristige Veränderung bei Eingriffen in den Bodenwasserhaushalt	Beeinträchtigung der Gewässerfauna, Folgeeffekte in der Nahrungskette (Avifauna)	-	Verfremdung des Landschaftsbildes z. B. bei Anlagen von künstlichen Staubecken	Langfristige Veränderung der Gewässerökosysteme mit Auswirkungen auf das Landschaftsbild

3.5 Auswirkungen auf die Schutzgüter (Teil 2)

Schutzgüter	Kleinklima		Wasser	
	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
Erhöhte Schneeeauflage	geringere Erwärmung bodennaher Luftschichten	Entstehung von Kaltluft, Kaltluftbildung	Verlängerter Zeitraum der Schneeschmelze	Verlängerte Abflussperiode
Zusätzliche Wassermenge	–	–	Langfristige Veränderungen der Nährstoffverhältnisse, Veränderung des pH-Wertes	Gefahr und Verstärkung der Murenbildung
			Stoffeintrag in Grund- oder Oberflächenwasser	Beeinträchtigung von Trink- oder Grundwasser
Stoffeintrag durch das Beschneigungswasser	–	–	Gewässerverschmutzung durch Öl oder Diesel	Beeinträchtigung von Trink- oder Grundwasser
Verlängerung der Schneedecke	Geringe Erwärmung der bodennahen Luftschichten	Entstehung von Kaltluft, Kaltabfluss	Abschmelzen größerer Wassermengen	Abflussprobleme
Erhöhte Schneedichte und verstärkte Neigung zur Vereisung	–	–	Verlängerter Zeitraum der Schneeschmelze	–
Anlagen für Pumpstationen, technische Einrichtungen (Bauwerke)	Punktueller Beeinträchtigung des Kaltluftabflusses möglich	Lokale Verschärfung von Spätfrostschäden	Lokal reduzierte Grundwasserbildung	–
Lärm	–	–	–	–
Lichteffekte bei nächtlicher Beschneigung	–	–	–	–
Betreuung und Präparieren bei Nacht und in der Dämmerung im Gelände	–	–	–	–
Wasserentnahme aus Fließ- oder Stillgewässern	–	–	Beeinträchtigung des Gewässers	Eingriff in den Wasserhaushalt, z. B. Drainagewirkung auf angrenzende Feuchtfelder, Riede u. ä

Für die Leserinnen und Leser, die sich schnell einen Überblick zu diesem komplexen Thema verschaffen wollen, ist – jeweils getrennt nach Schutzgütern und Einflussfaktoren in Kapitel 4 – eine grau unterlegte Zusammenfassung den verschiedenen Abschnitten zugeordnet. Dies soll die Lektüre erleichtern und den Zugang zu dieser komplexen Materie erleichtern.

Literatur

- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1983): Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Wasserrechts vom 18.10.1983 – VwVBayWG. München
- Dinger, F. (1990): Referat im Rahmen der Fachtagung „Kunstschnee zwischen Tourismus und natürlicher Umwelt“. Unveröffentlichtes Manuskript (4.–6.4.1990).
- Fritz, K. (2000): Lärmsituation bei Beschneiungsanlagen. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Hrsg., Technische Beschneigung und Umwelt. Ergebnisse der Fachtagung am 15. November 2000, Augsburg.
- Fuhrmann, H. (1996): Basisschnee – Einführung in die Nivologie, VSI, Salzburg.
- Haugsvær, N. (2016): Slik fikk Tøyen 1100 kubikkmeter snø på to dager – Flytende nitrogen + vann + luft = full vinter. Aftenposten.
- Haussteiner, W. (2011): Beschneiungsanlagen – Leitfaden für das wasserrechtliche Behördenverfahren. Band 1: Bewilligung und Überprüfung von Neuanlagen, Salzburg. https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser/Documents/Publikationen%20Wasser/Pub-Nutzwasser/Leitfaden_Beschneiungsanlagen_Band1.pdf.
- Jong, C. de (2011): Artificial production of snow. Encyclopedia of snow, ice and glaciers. In: Eds. VP Singh, P. Singh, UK Haritashya. Dordrecht: Springer, 61–66.
- Leicht, H. (1993): Beschneiungsanlagen und Naturschutz – eine naturschutzfachliche Betrachtung der Situation in Bayern. Natur und Landschaft 68, (2), 52–27.
- Monte, A. (2017): Messbericht zu Geräuschemissionen der Schneilanze EOS8-Ak mit Kompressor der Fa. Demaclenko GmbH. Unveröffentlichtes Gutachten vom 09.05.2017, Taufen, 17.
- Müller, F. (1997): Skigebiet Hausberg, Garmisch-Partenkirchen. Mündliche Mitteilungen. OITAF, Hrsg. (2023): Schneedepot und Snowfarming, Veröffentlichung des Studienausschusses VII Umwelt, Graz. 15.S.
- Roth, R. (1997): Landschaftspflegerischer Begleitplan zur Beschneiungsanlage im Skigebiet Götschen Bischofswiesen/ Loipl. Unveröffentlichtes Gutachten, im Auftrag der Gemeinde Bischofswiesen.
- Staatliches Gesundheitsamt Garmisch-Partenkirchen (1990): Stellungnahme zur Beschneiungsanlage an der Kandahar-Abfahrt vom 20.10.1990.
- Stangl, S. (2013): Schallmessungen für den Schneeerzeuger Titan Silent. Prüfbericht St. Moritz. Unveröffentlichtes Gutachten der cBAkustik, Pfäffikon, 2.
- Teich, M., Lardelli, C., Bebi, P., Gallati, D., Kytzia, S., Pohl, M., Pütz, M., Rixen, C. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung, Birmendorf.
- Trødal, S. (2017): Temperature independent snow production. 82140659.
- Wechsler, H. (1997): Referat Beschneiungsanlagen vom 20.1.1997 – Manuskript für den Unterausschuss Wintersportanlagen des Umweltforums am Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Unveröffentlicht.
- Wechsler, H. (2014): Anlagentechnik bei Beschneiungsanlagen. Österr Wasser- und Abfallw 66, (7-8), 243–247.
- Weiler, C., unter Mitarbeit von Pröbstl-Haider, U. (2024): Bedarfsberechnung einer modernen Beschneiungsanlage. unveröffentlicht, Absam

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Auswirkungen der Beschneigung auf den Naturhaushalt – Wirkprognosen und ökologisches Risiko

4

Zusammenfassung

Um die Auswirkungen der Beschneigung zu erforschen und besser zu verstehen, wurden weltweit zahlreiche Forschungsarbeiten durchgeführt. Diese reichen von Einzelbeobachtungen bis zu großen Verbundprojekten, bei denen mehrere Schutzgüter wie Boden, Wasser und Vegetation gleichermaßen betrachtet wurden. Bezogen auf die Schutzgüter einerseits und die möglichen, erwarteten Auswirkungen der Beschneigung andererseits, werden in diesem Kapitel über 40 Feldstudien detailliert vorgestellt und deren Ergebnisse im Vergleich und in der Zusammenschau diskutiert. Dabei geht es nicht nur darum, die mögliche Auswirkung zu erfassen, sondern vielmehr um eine Ableitung eines sogenannten ökologischen Risikos. Die jeweilige Ableitung des ökologischen Risikos für Boden, Vegetation, Wasserhaushalt und Tierwelt verbindet die mögliche Schadensintensität mit ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit. Dies wird der Tatsache gerecht, dass es gravierende ökologische Auswirkungen geben könnte, die allerdings sehr selten vorkommen oder auch umgekehrt. Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt weniger bei den baubedingten Effekten, weil hierzu aus dem Leitungstrassenbau vielfältige Erfahrungen vorliegen, sondern auf den betriebsbedingten Auswirkungen durch Beschneigung. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, wie sich die Natur, in dem Fall gemessen an den einzelnen Schutzgütern, unter dem Einfluss der Beschneigung entwickelt hat, und welche Aspekte – von der verlängerten Schneebedeckungszeit bis zur zusätzlichen Wassermenge – in diesem Zusammenhang im Einzelfall eine besondere Rolle spielen.

4.1 Einführung in die Ableitung eines ökologischen Risikos

Ein häufiges Phänomen der erholungsbezogenen Forschung (recreation ecology) ist es, dass Entwicklungen im Freizeitbereich vielfach so schnell voranschreiten, dass sie nicht durch fundierte Forschungsergebnisse gesteuert oder beratend begleitet werden können. Dies gilt um so mehr als darüber hinaus erfordert eine fundierte Forschung im Bereich der Vegetation oder Fauna in der Regel längere Untersuchungszeiträume. Aber eine Langzeitforschung konnte zum Zeitpunkt der explosionsartigen Entwicklung in den 1980er-Jahren nicht umgesetzt werden.

Daher überrascht es nicht, dass die Auswirkungen der technischen Beschneigung auch wissenschaftlich umstritten waren und sehr heterogen diskutiert wurden. Teilweise wurde diese Situation auch den angewandten ökologischen Bewertungsverfahren angelastet.¹ Deshalb werden nachstehend die Ergebnisse aus den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Studien nicht nur zusammengestellt, sondern einem einheitlichen Bewertungssystem unterworfen. Die vorliegende Zusammenstellung des ökologischen Risikos (Tab. 4.1) baut zunächst auf einer Auswertung der Literatur, realisierter Projekte und einer umfassenden Recherche in Zusammenarbeit verschiedenen Forschungsanstalten auf.

Damit die Ergebnisse aus den einzelnen Studien übertragbar werden, wurde für die verschiedenen Bereiche des Naturhaushalts das ökologische Risiko ermittelt. Dieses setzt sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schadensintensität zusammen. Dabei wird von einer dreistufigen Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit und bei der Schadensintensität ausgegangen (vgl. dazu auch Klöpfer 1993).

Dieses Vorgehen lässt sich am besten an einem Beispiel darlegen: So wird mit *hoher Wahrscheinlichkeit* für die technische Einrichtung einer Beschneigungsanlage ein Gebäude benötigt, und dafür werden Flächen dauerhaft versiegelt. Die Schadensintensität ist dafür jedoch *gering*, da in der Regel nur kleine Flächen benötigt werden und diese zudem oft mit bereits bestehenden Anlagen kombiniert werden können. Bezogen auf das Schutzgut „Vegetation und Boden“ leitet sich in

Tab. 4.1 Ermittlung des Risikos aus Schadensintensität und Eintrittswahrscheinlichkeit (nach Klöpfer 1993)

Eintrittswahrscheinlichkeit	Schadensintensität/Eingriffsschwere		
	I	II	III
A	Hohes Risiko	Hohes Risiko	Hohes Risiko
B	Hohes Risiko	Mittleres Risiko	Geringes Risiko
C	Mittleres Risiko	Geringes Risiko	Geringes Risiko

¹ „Ferner ist diese absurde Situation in der naturwissenschaftlichen Einstufung von Schneeanlagen ein deutlicher Hinweis auf die Schwächen ökologischer Beurteilungsverfahren, ja eine Aufforderung zu kritischer Aufnahme aller auf naturwissenschaftlichem Datenmaterial beruhende Begutachtungsverfahren“ (Seewald et al. 1998).

diesem Fall aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensintensität ein *mittleres Risiko* ab. Als Grundlage für eine solche Risikoabschätzung dient die Matrix in Tabelle 4.1. Allerdings ist es notwendig, dass in jedem Einzelfall diese schematische Aggregation auf ihre Plausibilität und Anwendbarkeit überprüft wird.

Diese Art der Bearbeitung und Darstellung hat zwei Vorteile:

1. Durch die methodische Integration der Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensintensität in die Prognose bzw. Risikoabschätzung werden nicht nur die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse methodisch angemessen integriert, sondern es wird auch dem politisch-rechtlichen Risikobegriff und seinem Stellenwert in der Planung besser Rechnung getragen.
2. Die Transparenz und Vergleichbarkeit unterschiedlicher Auswirkungen werden erhöht. Damit ist die vorliegende Studie auch als ein Beitrag zu sehen, die von Seewald et al. (1998) kritisierte „absurde Situation“ im Hinblick auf die ökologische Beurteilung der technischen Beschneigung durch nachvollziehbare Datengrundlagen und das darauf aufbauende Prognoseverfahren zu beseitigen.
3. Darüber hinaus erleichtert diese Form der Wirkprognose und Risikoabschätzung die ökologische Schnellansprache, indem schutzgutbezogen geeignete Indikatoren und Prüfinhalte benannt werden. Damit wird auch ein Beitrag zur Vorabschätzung möglicher Auswirkungen, zum Screening und zur Begrenzung des Erhebungsaufwands geleistet. Dies gilt selbst dann, wenn jeweils im Rahmen der jeweiligen Planung für ein konkretes Objekt diese Angaben noch einmal differenziert zu überprüfen sind. Besonders wichtig ist dies in den Fällen, in denen eine mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. ein mittleres Risiko abgeleitet wurde.

4.2 Auswirkungen auf Boden und Vegetation

Die möglichen Auswirkungen der technischen Beschneigung sind komplex. Viele direkte und indirekte Folgewirkungen wurden und werden, basierend auf Fallstudien, kontrovers diskutiert. In diesem Abschnitt wird versucht, ein umfassendes Bild zu liefern, das sich sowohl auf die wissenschaftliche Literatur stützt als auch wissenschaftliche Studien und Monitoring-Ergebnisse aus Genehmigungsverfahren miteinbezieht. Wie Tab. 4.2 zeigt, werden Auswirkungen auf Vegetation und Boden vor allem durch

- erhöhte Schneelaufgabe,
- die zusätzlich aufgebrauchte Wassermenge,
- den Stoffeintrag aus dem Beschneigungswasser und
- die Verlängerung der Schneebedeckungszeit und der Schneedichte

erwartet. Im Gegensatz zu den betriebsbedingten Auswirkungen sind die anlagebedingten Effekte unstrittig. Auf kleinen Flächen, die für die Beschneigungsanlage

Tab. 4.2 Mögliche negative betriebs- und anlagebedingte Auswirkungen der technischen Beschneigung auf Vegetation und Boden

Schutzgüter	Boden		Vegetation	
	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
Erhöhte Schneeeinflage	Mechanische Belastung durch den Skibetrieb	Einfluss auf Oberflächen-erosion	Mechanische Belastung der Vegetation durch den Skibetrieb	Veränderung des Deckungsgrades
	Veränderung durch Frosteinwirkung	Verzögerung der biologischen Prozesse	Veränderung durch Frosteinwirkung	Schädigung einzelner Pflanzen bzw. von Pflanzteilen
Zusätzliche Wassermenge	Abschwemmung von Feinerde, Erosion	Rutschungen in Abhängigkeit von Geologie und Boden	In Abhängigkeit vom Standort Verschiebung des Artenspektrums	Rückgang bestimmter Arten bzw. Artengruppen
	Lokale Vernässung	Längerfristige Veränderung der Nährstoffverhältnisse	In Abhängigkeit vom Standort Verschiebung des Artenspektrums	Rückgang bestimmter Arten bzw. Artengruppen
Stoffeintrag durch das Beschneigungswasser	–	Langfristige Veränderung der Nährstoffverhältnisse bei nährstoffbelastetem Wasser	Verschiebungen des Artenspektrums bei Stoffeintrag, insbesondere Nährstoffe möglich	Veränderung der Pflanzengemeinschaft bei nährstoffreichem Wasser möglich
Verlängerung der Schneedecke	Verzögerte Erwärmung der oberen Bodenschichten	Verzögerung der biologischen Prozesse	Beeinträchtigung frühblühender Arten	Langfristige Veränderung der Artenzusammensetzung
Erhöhte Schneedichte und verstärkte Neigung zur Vereisung	–	–	Fäulnis und Schimmelbildung	Schädigung von Pflanzen bzw. Pflanzenteilen
			Verschärfte Frosteinwirkung bei Sauerstoffmangel	
			Veränderte thermische Isolationsfähigkeit	
Anlagen für Pumpstationen, technische Einrichtungen (Bauwerke)	Partielle kleinflächige Versiegelung oder Veränderung des Bodengefüges	Partieller Verlust von belebtem Boden	Verlust von Vegetationsflächen	–
Wasserentnahme aus Fließ- oder Stillgewässern	Veränderung des Bodenwasserhaushalts	–	Beeinträchtigung der Ufer- und Gewässervegetation	Langfristige Veränderung bei Eingriffen in den Bodenwasserhaushalt

benötigt werden, wie z. B. das Pumpenhaus oder andere Betriebsgebäude, werden Vegetation und Boden dauerhaft versiegelt. Weitere Beeinträchtigungen können durch die Art der Wasserentnahme verursacht werden.

4.2.1 Mögliche Schutzeffekte durch die Schneeeauflage

Neben den in Tab. 4.2 dargestellten kritischen Effekten werden in diesem Kapitel auch mögliche positive Effekte diskutiert.

Schutz vor Skikantenschliff und Präparation

Als positive Auswirkung der Beschneieung wird der Schutz von Vegetation und Oberboden vor den Einwirkungen der Skikanten und Pistenraupen gesehen. Wenn die Skipiste von November bis März eine dicke Schneeeauflage erhält, dann, so die Befürworter von Beschneieungsanlagen, wären dadurch Vegetation und Boden vor der mechanischen Einwirkung geschützt (Abb. 4.1). Hinzu kommt, dass auf der sogenannten Grundbeschneieung im November/Dezember der natürliche Schnee – wie bereits dargestellt – vermehrt liegen bleibt und den Schutz verstärken kann. Weiterhin könne – so die Argumentation – die Beschneieungsanlage zum gesonderten Schutz einzelner „Schwachstellen der Piste“, z. B. an Kanten, stark besonnten Teilstücken oder an Einstiegsstellen beitragen. Unterstützt wird diese Einschätzung auch durch Forschungsergebnisse (Wipf et al. 2005). Das Schweizer Forschungsteam fand auf beschneieten Pisten vermehrt störepfindliche Pflanzen-



Abb. 4.1 Vor der Beschneieung waren Pistenraupenspuren, wie hier in der Abbildung, regelmäßig zu sehen. (U. Pröbstl-Haider)

arten. Sie führten dies damals auf den Schutzeffekt durch den technischen Schnee zurück.

Nach der Auswertung der vorliegenden Literatur und nach eigenen Erhebungen muss dieses positive Bild jedoch teilweise korrigiert werden: In der Praxis zeigt sich, dass dieser Idealfall, wie er vielfach zu Beginn von Fachleuten prognostiziert wurde (Mosimann 1987; Wechsler 1987), nicht so einfach und grundsätzlich unterstellt werden kann und dass in diesem Zusammenhang auch weitere Entwicklungen in der Präparation zu berücksichtigen sind. In der Anfangszeit der Beschneigung, in den 1990er-Jahren, konnte man nicht von einem hohen Geschütztheitsgrad der Vegetation ausgehen. Diesen Effekt beschreiben unterschiedliche Studien. So weist Kammer bereits 1989 darauf hin, dass in dem von ihm untersuchten Gebiet in schneearmen Wintern die Beschneigung aufgrund von Witterungsverhältnissen oftmals nicht optimal durchgeführt werden konnte. Bei pflanzensoziologischen Aufnahmen (1988) auf der technisch beschneiten Piste in Savognin stellte er daher in vorzeitig ausapernden Bereichen ebenfalls „abradierte Hangkanten und Spuren von Pistenfahrzeugen“ fest (Kammer 1989). Auch bei den Versuchsreihen von Brandstätter et al. (1992) zeigte sich in den Vergleichsflächen auf beschneiter Piste und außerhalb im rascher ausapernden Talbereich, sowohl in nord- als auch in südexponierter Lage, eine lückige Vegetation mit Fehlstellen aufgrund des Skibetriebs. Diese Ergebnisse werden durch Studien an der Kandahar-Abfahrt in Garmisch-Partenkirchen in Deutschland bestätigt (Ammer & Pröbstl 1996). Auf verschiedenen, quer zur Piste verlaufenden Untersuchungsflächen in stark geneigtem Gelände ergab sich eine deutliche Schwankung der Bedeckung des Bodens mit Vegetation (Deckungsgrad) bei den Kartierungen von 1988 bis 1996. Wie Abb. 4.2 sehr anschaulich zeigt, konzentrieren sich diese mechanischen Schäden auch auf der beschneiten Piste vor allem zu Beginn von steilen Abschnitten, an denen viele, vor allem ungeübte Skifahrerinnen und Skifahrer abschwngen oder auch seitlich abrutschen.

Die oben beschriebenen Rahmenbedingungen haben sich jedoch mit der Einführung der Schneemessung in vielen Skigebieten geändert. Die Schneemessung und digitale Darstellung der vorhandenen Schneebedeckung bei der Pistenpräparation erlauben es, den Geschütztheitsgrad der Vegetation gleichmäßig und unabhängig von der Geländesituation zu gewährleisten.

Es gibt neben diesen empirischen Erfahrungen verschiedener Autorinnen und Autoren aber noch einen weiteren Grund, der das Argument des dauerhaften Schutzes von Boden und Vegetation infrage stellt.

Wie in Abschn. 3.2 ausführlich dargestellt, müssen für die Beschneigung geeignete Witterungsverhältnisse herrschen. Liegen diese nicht vor, können auch notwendige Ausbesserungen auf der Piste zum Schutz von Vegetation und Boden nicht durchgeführt werden. Dies sei an einem Beispiel kurz verdeutlicht: Wenn in der Hochsaison etwa um die Weihnachtsfeiertage und den Jahreswechsel durch einen Wärmeeinbruch die Schneedecke lückig wird, dann kann bei Temperaturen von +5 °C mit den heute gängigen Anlagen kein technischer Schnee in ausreichender Qualität hergestellt werden. Dies würde in diesem Fall bedeuten,



Abb. 4.2 Mechanische Schäden kommen auch auf beschneiten Pisten vor. (U. Pröbstl-Haider)

dass die notwendige Ausbesserungsbeschneieung zum Schutz der Vegetation nicht durchgeführt werden kann. Gerade zu diesem Zeitpunkt sind jedoch besonders viele Erholungssuchende, Urlauberinnen und Urlauber am Wintersport interessiert, sodass die Wahrscheinlichkeit einer hohen Belastung der Piste und einer Schädigung von Teilflächen groß ist. Ein gutes Beispiel für unzureichende Witterungsverhältnisse bei dringend notwendiger Ausbesserungsbeschneieung war der Januar 1998, der bei Temperaturen bis $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ und mehr im Bereich der Bayerischen Alpen nicht nur den Schnee schmelzen ließ, sondern auch keine Ausbesserungsbeschneieung ermöglichte (Münchner Merkur 1998). Eine vergleichbare Situation war auch im Winter 2006/07 und im Winter 2022/23 gegeben. So musste das geplante internationale Abfahrtsrennen am 28./29. Januar 2023 auf der Kandahar-Abfahrt in Garmisch-Partenkirchen wegen Schneemangels abgesagt werden. Trotz der Beschneieungsanlage konnte nach Angaben der Organisatoren „eine dem Weltcup würdige termin- und sicherheitsgerechte Präparation der Kandahar“ nicht gewährleistet werden (Kreisbote 2023).

Einfluss der Schneemessung

Eine wesentliche Verbesserung der Situation im Hinblick auf die mechanische Belastung von Boden und Vegetation wird in den Gebieten erzielt, die die sogenannte Schneemessung einsetzen. In diesem Fall kann frühzeitig, d. h. bei der Präparation, die jeweilige Höhe der Schneeauflage erkannt und Schwachstellen beseitigt werden, bevor Vegetation freigelegt wird. Flächendeckende Vegetationsauf-

nahmen und Schadenskartierungen auf Skipisten mit Schneemessungen² ergaben ein sehr positives Bild. Boden- und Vegetationsverletzungen durch Skikanten oder Präparationsgeräte konnten nur ganz selten festgestellt werden (AVEGA 2022). Im Zusammenhang mit den Energiekosten wurde und wird der Umfang der beschneiten Flächen kritisch diskutiert. Mit Hilfe der Schneemessung kann auch eine Verminderung der Schneeeauflage umgesetzt werden. Weiterhin wird im Rahmen von Sparmaßnahmen auch eine Reduktion der beschneiten Pistenbreite diskutiert bzw. umgesetzt (Kreisbote 2022). Dies kann Auswirkungen auf die Schutzwirkung durch die technische Beschneigung haben.

Auch apere Stellen durch Windverblasung können je nach Temperaturverlauf nicht immer so rasch geschlossen werden, wie dies zum Schutz der Vegetation wünschenswert wäre.

Schonung durch das Entfallen des „Schneesammelns“

Die Beschneigung hat auch die in den 1980er-Jahren noch übliche Praxis des Schneesammelns abgelöst. Dabei wurde aus den angrenzenden Bereichen Schnee auf die Piste gefräst oder in Randbereichen und Waldlichtungen „Schnee gesammelt“, um den Skibetrieb aufrechtzuhalten oder um Skirennen durchzuführen. Dies betraf vor allem Orte mit internationalen Skiwettkämpfen. Beim sogenannten Schneesammeln traten ebenfalls mechanische Verletzungen an Vegetation und Boden auf.

Einfluss von Frosteinwirkung und Temperaturschwankungen

Das Präparieren der Piste für den Wintersport hat vielfach für die darunterliegende Vegetation und den Boden ungünstige Folgen, denn im Vergleich zu den schneebedeckten Flächen außerhalb der Piste dringt der Frost unter einer verdichteten Schneedecke rascher und tiefer in den Boden ein. Zu Schädigungen kann es dabei durch die Temperaturschwankungen mit Auftauen und Wiedergefrieren des Bodens kommen. Dies kann zu Schäden an Feiwurzeln und zu erhöhter Bodenerosion führen. Hänge, Hügel und Kuppen, die rasch ausapern, sind diesen Effekten besonders stark ausgesetzt. In extremen Steil- und Höhenlagen kann es unter diesen Umständen zum sogenannten Bodenfließen kommen, wenn der erwärmte wassergesättigte Boden über den gefrorenen Boden zu gleiten beginnt.

Bei starker Frosteinwirkung auf die Pflanzendecke können einzelne Arten „auswintern“ oder erhebliche Frostschäden erleiden. Verschiedene Autorinnen und Autoren (Lichtenegger 1994; Solar 1994; Cernusca et al. 1992; Trockner & Kopeszki 1994; Rixen et al. 2004) gehen bei solchen Verhältnissen von einer Verbesserung der Situation durch die Beschneigung aus, sofern eine stärkere Schneedecke besteht. Untersuchungen der Universität Innsbruck (Cernusca et al. 1992) belegen diese positiven thermischen Effekte der Beschneigung auf Vegetation und Boden der Skipiste. Wie Abb. 4.3 zeigt, wurden auf der unbeschneiten Piste ein tiefes Frieren des Bodens und das belastende wiederholte Auftauen festgestellt.

²Vegetationsaufnahmen im Skigebiet Flachau und Alpendorf (Snowspace Salzburg), Kartierung 2020 und 2021 (AVEGA 2022).

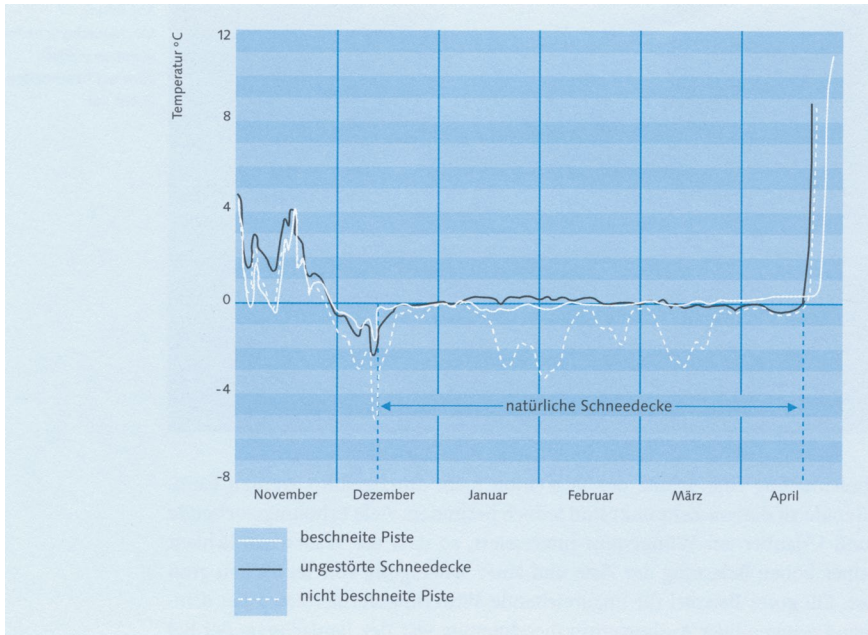


Abb. 4.3 Temperatur an der Bodenoberfläche bei beschneiter, herkömmlicher Piste und unter einer ungestörten Schneedecke im Skigebiet Gschwandtkopf im Verlauf des Winters 1986/87. Die nicht beschneite Piste weist die größten Temperatursprünge auf. (Nach Cernusca et al. 1992)

Die beschneite Versuchsfläche wies dagegen einen wesentlich günstigeren Temperaturverlauf auf, ähnlich dem in ungestörtem Gelände. Als Ursache hierfür wurde die deutlich größere Schneehöhe ermittelt. Zu denselben Ergebnissen kommen auch Trockner und Kopeszki (1994) bei Versuchen auf beschneiten und unbeschneiten Skipisten im Grödnertal in Südtirol.

Im Hinblick auf die Isolationswirkung auf beschneiten Pisten und Naturschneepisten kommt es damit zum einen auf die Höhe der Schneedecke und zum anderen auf deren Dichte an (Sturm et al. 1997).

Wie Abb. 4.4 zeigt, lässt sich dieser Zusammenhang (Cernusca et al. 1992) mit der Wärmeleitfähigkeit erklären. Diese ist bei unbehandelten, nur präparierten sowie beschneiten und präparierten Schneeflächen unterschiedlich, denn die Wärmeleitfähigkeit nimmt mit der Dichte des Schnees zu. Bei Versuchen ergab sich bei Berücksichtigung der durchschnittlichen Schneedichte für die herkömmlich präparierte Piste eine doppelt so große spezifische Wärmeleitfähigkeit wie für die ungestörte Schneedecke. Die beschneite Piste weist den höchsten Wert auf. Daraus kann man schlussfolgern, dass die technisch erzeugte Schneedecke nur dann eine gute thermische Isolationsfähigkeit besitzt, wenn eine ausreichende Mächtigkeit der Schneedecke vorliegt. Entsprechend der spezifischen Wärmeleitung muss daher die beschneite Piste eine um mindestens 20 % größere Schnee-

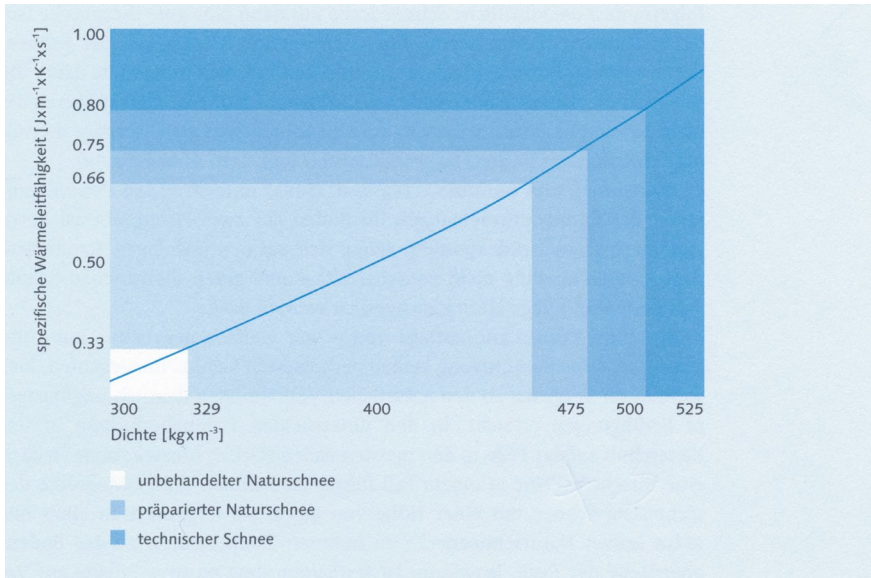


Abb. 4.4 Abhängigkeit der spezifischen Wärmeleitfähigkeit von der Schneedichte. Die Abhängigkeitskurve wurde nach Angaben bei Geiger (1961) gezeichnet. Unter Berücksichtigung der jeweiligen durchschnittlichen Schneedichte ergibt sich für die herkömmliche präparierte Piste mit $0,66 \text{ J/J}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Joule pro Meter * Kelvin * Sekunde) eine genau doppelt so große spezifische Wärmeleitfähigkeit wie für die ungestörte Schneedecke. Technischer-Schnee-Pisten weisen mit $0,75\text{--}0,80 \text{ J/J}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ die höchste spezifische Wärmeleitfähigkeit auf. (Nach Cernusca et al. 1992)

höhe als die nicht beschneite Piste aufweisen, um eine mindestens gleichwertige thermische Isolation des Bodens zu gewährleisten (Abb. 4.4).

Aufnahmen von Brandstätter et al. (1992) unterstreichen diese Ergebnisse. Bei Temperaturmessungen im Boden auf zwei Pisten, einmal nordexponiert, einmal südexponiert, zeigte sich auf den jeweiligen Standorten, dass die Beschneigung nicht pauschal mit einem guten thermischen Schutz von Boden und Vegetation gleichgesetzt werden darf.

Bei einer Auflage mit technischem Schnee von – wie vielfach gegeben – nur rund 20 cm bietet die Beschneigung keinen verbesserten Schutz. Im Gegenteil, hier werden im Vergleich zu den natürlichen Verhältnissen deutlich ungünstigere Bedingungen erreicht. In den untersuchten Pistenabschnitten ist der Kälteschub auf der Piste in den meisten Fällen stärker, hinzu kommt vielfach eine Eisschicht. Nur in einem Fall führte im Rahmen dieser Messreihe der technische Schnee mit einer Höhe von 40 cm im Gegensatz zu einer nur 10 cm hohen Naturschneedecke zu höheren Temperaturen an der Bodenoberfläche der Piste. Insgesamt ist festzuhalten, dass positive Effekte auf Vegetation und Boden eng an eine ausreichende Schneehöhe gebunden sind. Bei geringeren Schneehöhen sind die Verhältnisse ähnlich

ungünstig wie auf Pisten ohne technische Beschneigung. Diese Ergebnisse wurden durch verschiedene Studien bestätigt (Rixen et al. 2004; Knaus 2011).

Untersuchungen von Wipf et al. (2002) und (2005) zeigen, dass an der Vegetation die veränderten Temperaturen und der verbesserte Schutz durch den technischen Schnee ablesbar sind. Die starken winterlichen Temperaturschwankungen auf den Skipisten mit Naturschnee fördern Pflanzenarten von Windheidegesellschaften. Umgekehrt wurden auf Skipisten mit technischem Schnee eher alpine Pflanzenarten angetroffen, die auf Standorten mit mächtiger und langer Schneebedeckung anzutreffen sind (z. B. auch Arten der Schneetälchen).

Casagrande Bacchiocchi et al. (2019) untersuchten die Bodentemperaturen und mögliche Effekte der Beschneigung auf die Vegetation in den Südalpen unter Berücksichtigung einer zunehmenden Schneearmut. Betrachtet wurden Skigebiete im Ski Center Latemar und in der Skiregion Dolomiti Superski (Alta Badia, Kronplatz, Val Gardena) in Italien. Dabei zeigte sich, dass in schneearmen Wintern (hier im Jahr 2016/17) die schneefreien Bereiche außerhalb der Piste ähnlich niedrige Werte aufweisen wie unter verdichteter Schneedecke auf Pisten und teilweise auch darunter lagen. Die Autorinnen und Autoren betonen, dass solche Bedingungen in Zukunft aufgrund des Klimawandels nicht nur in Südtirol häufiger auftreten werden.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Nach bisher vorliegenden wissenschaftlichen Studien dürfen positive Auswirkungen der Beschneigung – wie ein dauerhafter Schutz vor mechanischer Beschädigung oder Frosteinwirkung – nicht grundsätzlich unterstellt werden. Vielmehr muss im Einzelfall geprüft werden, ob und gegebenenfalls in welchen Teilbereichen sich die Beschneigung positiv auf eine Reduzierung von mechanischen Schäden und Beeinträchtigungen durch Frosteinwirkungen auswirken könnte. Hierbei sind folgende Kriterien relevant:

- Relief
- Hangneigung
- Anzahl der Tage mit günstigen Wetterverhältnissen für die Beschneigung
- Höhenlage
- Geplante Schneehöhe durch technische Beschneigung
- Grundbeschneigung (d. h. flächendeckende technische Beschneigung vor Saisonbeginn)
- Einsatz von Schneemessung bei der Präparation

Bei starkem Relief und einer großen Hangneigung ist durch die Schneeverfrachtung beim Skibetrieb die Wahrscheinlichkeit eines Schutzes der Piste über die gesamte Saison hinweg geringer als bei einer schwächer geneigten oder gering reliefierten Piste. Dies gilt dann umso mehr, wenn der Hang intensiv durch Skifahrer genutzt wird. Insgesamt ist im Zusammenhang mit den Auswirkungen der globalen Erwärmung die Schutzfunktion von Vegeta-

tion und Boden durch die Beschneigung reduziert, insbesondere im Hinblick auf die Frosteinwirkung.

Von einem eingeschränkten Schutz von Vegetation und Boden ist weiterhin auszugehen, wenn beispielsweise durch die geringe Höhenlage (z. B. 600 bis 800 m ü. NN) die vorherrschenden Witterungsbedingungen der Ausbildung einer dauerhaften Schneedecke regelmäßig entgegenstehen. Bei der Beurteilung sind hier nicht nur die Anzahl der Tage mit einer geschlossenen Schneedecke, sondern auch die Zeiträume heranzuziehen, in denen eine Beschneigung möglich ist. Allerdings kann durch den gezielten Einsatz von Schneemessgeräten im Rahmen der Pistenpräparation ein wesentlicher Beitrag zum Schutz der Vegetation vor mechanischen Schäden geleistet werden.

Als Richtgröße für eine Reduzierung der Gefahr von Frostschädigungen kann die in den Antragsunterlagen angestrebte Höhe des technischen Schnees herangezogen werden. Je niedriger die avisierte Schneehöhe bei der Grundbeschneigung ist, desto niedriger ist auch die Wahrscheinlichkeit von Schutzeffekten.

4.2.2 Einfluss der erhöhten Schneedichte und Tendenz zur Vereisung

Bereits bei konventionellen Pisten zählen Auswirkungen durch eine erhöhte Schneedichte und die Tendenz zu Vereisung wie Frostschäden, Schneeschimmelbefall, Fäulnisbildung und Beeinträchtigung durch Sauerstoffmangel zu den bekannten möglichen Folgen für die Vegetation (Pröbstl 1990). So legten Wyl und Troxler (1984) Messungen über Ertragsverluste zwischen 6,5 und 21,8 % auf unvereisten Pisten (Mager- und Fettweiden in Höhenlagen von 1060–1410 m ü. NN) und zwischen 12,9 und 86,5 % auf vereisten Pistenabschnitten (auf Mähwiesen und Fettweiden in 980–1120 m ü. NN) vor. Aus diesem Grund wurden von Expertinnen und Experten Ende der 1980er-Jahre als Folge der erhöhten Schneedichte und des hohen Gehalts an freiem Wasser im technischen Schnee verstärkt negative Auswirkungen auf die Vegetation befürchtet (Cernusca et al. 1990). Tatsächlich unterscheiden sich die physikalischen Verhältnisse auf den technisch beschneiten Pisten von natürlichen Schneedecken. Der technische Schnee hat von Anfang an eine Dichte, die etwa einer Altschneedecke, häufig sogar altem Firnschnee, entspricht. Diese hohen Werte bei technischem Schnee werden durch die Präparation weiter erhöht.

Messungen von Newesely et al. (1994) zeigen dies in einer Aufstellung für das Skigebiet Gschwandtkopf für den Verlauf eines Winters (1986/87) sehr anschaulich: Während die ungestörte Schneedecke auf der Vergleichsfläche den ganzen Winter eine Dichte von 329 kg/m^3 im Durchschnitt aufwies, lagen die Werte bei der Piste aus Naturschnee bei durchschnittlich 45 kg/m^3 und auf den beschneiten Pisten zwischen 500 und 520 kg/m^3 . Diese Ergebnisse sind deshalb wichtig, weil sie im Besonderen den Einfluss der Präparation auf technischen Schnee widerspiegeln.

Weiterführende Untersuchungen weisen darauf hin, dass im Verlauf des Winters zudem Phasen mit einem geringen Gefährdungspotenzial und solche mit einem hohen Risiko im Hinblick auf die Vereisung und Vegetationsschädigung aufeinanderfolgen. So untersuchten Newesely et al. (1994) die Veränderung in der Wintersaison im Detail. Nach Messungen in verschiedenen Skigebieten (Gschwandkopf bei Seefeld, Patscherkofel bei Innsbruck, Steinplatte bei Salzburg sowie Skigebiet Schmittenhöhe bei Zell am See und Skigebiet Monte Bondone bei Trient) auf beschneiten und unbeschneiten Pisten sind im Hinblick auf mögliche Folgewirkungen vor allem die Verhältnisse im Spätwinter und in der Ausaperungszeit entscheidend. Im Rahmen der Versuchsreihen wurde der Aufbau der Schneedecke nach Schneehöhe, Kristallform und -größe, Schneedichte, Schneehärte, Schneefeuchtigkeit in Abständen von 7 bis 14 Tagen im Profil aufgenommen. Außerdem wurde mit einem computergesteuerten Messsystem die Sauerstoffkonzentration unter der Schneedecke gemessen.

Um die pflanzenschädigenden Rahmenbedingungen zusammenfassend zu beschreiben, unterscheidet Newesely drei charakteristische Phasen: Hochwinter, Spätwinter und Abschmelzperiode:

- Im *Hochwinter* sind die Bedingungen unproblematisch, wenn, wie bereits dargestellt, eine ausreichend dicke Schneedecke vorhanden ist und Frost herrscht. Dann ist auch der Boden meist gefroren. Die Schneedecke weist eine krümelige Struktur mit luftgefüllten Hohlräumen und guter Luftdurchlässigkeit auf. Die Dichte des Schnees nimmt durch die Präparation von durchschnittlich 400 kg/m^3 nach unten hin auf rund 500 kg/m^3 zu. Die gemessenen Dichte- und Luftpermeabilitätswerte reichen jedoch für eine genügende Sauerstoffversorgung der Vegetation unter der Schneedecke aus.
- Im *Spätwinter*, d. h. zwischen Mitte Februar und Mitte März, wird die Schneedecke vermehrt von oben erwärmt. Dies führt zu einem teilweisen Schmelzen des Schnees in den obersten Schichten. Unter natürlichen Bedingungen sickert dieses Wasser zumeist nur geringfügig nach unten und bleibt in den Poren der oberen Schneeschichten gebunden. Dort friert es als sogenannte Harschschicht über Nacht aus. Wird die teilweise durchfeuchtete Piste jedoch durch Pistenraupen präpariert, dann können die Eiskristalle durch das Wasser in den Poren leicht gleiten und leichter zusammengedrückt werden. Die Dichte des Schnees nimmt daher zu. Das Wasser wird zudem nach unten in tiefere Schneeschichten gedrückt. Erreicht dieses Wasser schließlich die noch gefrorenen Bodenschichten und kann dort nicht versickern, staut es sich dort und füllt die Poren der untersten Schneeschicht. Aufgrund der zu dieser Zeit vielfach tiefen nächtlichen Temperaturen friert es mit dem Schnee zu einer Eisschicht zusammen. Trotz dieser sehr dichten, wenig luftdurchlässigen Schicht konnten zu diesem Zeitpunkt keine Schäden an den Pflanzen durch Sauerstoffmangel festgestellt werden.
- Dies wird erst anders, wenn die oberen Bodenschichten nicht mehr gefroren sind und die *Abschmelzperiode* beginnt. Durch die beschriebene Vereisung des Schnees an der Bodenoberfläche fließt das durchsickernde Schmelzwasser

über der Eisschicht ab. Darunter beschleunigt sich durch die Erwärmung der Stoffwechsel der Bodenorganismen, und es wird Sauerstoff verbraucht. Verhindert die massive Eisschicht an der Bodenoberfläche den Gasaustausch mit der Atmosphäre, kann nach Newesely der veratmete Sauerstoff kaum mehr ersetzt werden. Dies kann nach den Messungen zu einem Sauerstoffdefizit und zu Konzentrationen unter fünf Volumenprozent führen.

Dieser Prozess ist jedoch nicht auf beschneite Pisten beschränkt, sondern tritt vor allem dann auf, wenn in den frühen Abendstunden eine flächige Präparation mit Pistenraupen durchgeführt wird. Allerdings schätzt Newesely die Gefahr von Sauerstoffmangelsituationen auf der beschneiten Piste deutlich höher als auf konventionellen Pisten ein. Auf beschneiten Pisten führt – nach dieser Studie – die oft um Wochen verzögerte Ausaperung dazu, dass der Sauerstoffmangel erheblich länger bestehen bleibt und sich in das späte Frühjahr verschiebt, in dem die natürliche Aktivität der Pflanzen verstärkt einsetzt. Dies bedeutet für die Vegetation eine Schädigung. Wenn solche Zeiträume mit Sauerstoffmangel mit einer erneuten Frosteinwirkung zusammenfallen, treten Schäden der Vegetation sogar vermehrt auf, weil der Sauerstoffmangel die Frostresistenz herabsetzt.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Verschiedene Forschungsarbeiten belegen, dass auf technisch beschneiten Pisten die Gefahr von Pflanzenschädigung durch die höhere Schneedichte und die Tendenz zur Vereisung deutlich höher liegt als auf herkömmlich präparierten Pisten. Diese Frage gewinnt mit zunehmender Höhenlage über 1400 m und abnehmender Regenerationsfähigkeit durch eine kürzere Vegetationszeit und bei ungünstigen Standortbedingungen an Bedeutung.

4.2.3 Auswirkungen einer verlängerten Schneebedeckungszeit

Auswirkungen der Beschneigung werden weiterhin durch die längere Dauer der Schneebedeckung und veränderte Ausaperungsprozesse erwartet. Die aus technischem Schnee und natürlichem Schnee zusammengesetzte Piste schmilzt durch ihre andere Wärmekapazität langsamer und, wenn früher ausapernde Kleinflächen fehlen, in der Regel auch gleichmäßiger ab als Flächen mit natürlicher Schneedecke. Weiterhin beeinflusst die niedrige Temperatur unter dem Schnee im Boden die Entwicklung negativ.

Auf den bislang detailliert untersuchten Teilflächen (Rixen et al. 2003, 2004; Prock & Newesely 1998; Pröbstl 1995; Cernusca et al. 1992; Kammer 1989; Mosimann 1987) ergab sich je nach Witterung, selbst bei Unterstützung durch Auftaumittel, eine durchschnittlich um 10 bis 20 Tage verlängerte Schneebedeckungszeit; allerdings kann sich dies auf einzelnen Teilflächen auch bis zu einem Monat hinziehen. Diese Werte aus nordalpinen Skigebieten werden auch für Skigebiete der Südalpen bestätigt (Casagrande Bacchiocchi et al. 2019).

Auswirkungen auf den Ertrag

Veränderungen durch eine verlängerte Schneebedeckungszeit wurden zunächst im Hinblick auf die landwirtschaftlichen Erträge prognostiziert. Für jeden Tag mit einer Verlängerung der Schneebedeckung setzte Cernusca (1987) einen Produktionsausfall von rund 3 % an. Auch Mosimann (1987) weist auf eine Ertragsverminderung durch die verzögerte Ausaperung hin. Er erwartete sogar Einbußen bis zu 20 %. Konkrete Untersuchungen konnten dies jedoch – wie nachfolgende Beispiele belegen – nicht bestätigen

Beispiel Sölden/Tirol (A) Halaus und Partl (1994) ermittelten bei einer beschneiten Piste in Sölden, Tirol über 1300 m, die im Sommer als Mähwiese genutzt wird, ebenfalls eine um zwei Wochen verzögerte Ausaperung. Die Mächtigkeit der Schneedecke liegt dort zwischen 30 cm und 1 m, durchschnittlich bei 60 cm. Hier erfolgten eine Grundbeschneieung im November und Ausbesserungsbeschneieungen bis Mitte Februar. Der Beginn des Pflanzenwachstums der Berg-Goldhafer-Wiesen wird aufgrund der Beschneieung mit Anfang Mai angegeben. Die Flächen werden als zweimähdige Wiesen genutzt und im Herbst nur mit Stallmist gedüngt. Die Beschneieungsanlage war zum Zeitpunkt der Untersuchungen bereits neun Jahre in Betrieb. Im Mittelpunkt dieser Untersuchungen standen die möglichen Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge. Dazu wurden in den Höhenlagen zwischen 1300 und 1530 m ü. NN Teilflächen ohne Skibetrieb, unbeschneite und beschneite Pistenflächen ausgewählt und dort jeweils einige Tage vor der Ernte von jedem Standort mindestens 2 m² mit durchschnittlicher Qualität geschnitten, gewogen und zur Bestimmung des Wassergehalts je 1 kg Schnittgut entnommen. In den Jahren 1987 bis 1992 wurden die Heuerträge (Heuertrag des ersten Schnittes und der Jahresheuertrag) auf den verschiedenen Teilflächen miteinander verglichen.

Dies führte zu folgenden Ergebnissen (Abb. 4.5): Beim Heuertrag des ersten Schnittes ergaben sich auf den unbelasteten Flächen außerhalb der Piste durchschnittlich 50 dt/ha, auf der unbeschneiten und der beschneiten Piste lagen die Heuerträge mit etwa 42 dt/ha deutlich niedriger. Sowohl die beschneite als auch die nicht beschneite Piste wiesen folglich einen Minderertrag von rund 15 % auf. Auch bei der Auswertung des Jahresheuertrags konnten keine Unterschiede auf den beschneiten und konventionellen Pisten festgestellt werden. Die Unterschiede zwischen den Flächen außerhalb der Piste und den für den Wintersport genutzten Flächen werden auf die Präparation und die Belastung durch den Skibetrieb zurückgeführt. Die verlängerte Schneebedeckungszeit hatte offensichtlich keinen oder nur einen geringen Einfluss.

Beispiel Savognin/Graubünden (CH) Die pflanzensoziologischen Untersuchungen von Kammer (1989) auf 1200 m ü. NN bestätigen, dass die Vegetation auf beschneiten Pisten das verspätete Ausapern in wenigen Wochen einholen kann. Auch hier waren die Flächen bereits zum Zeitpunkt der Untersuchung neun Jahre beschneit. Im Rahmen seiner Untersuchungen versucht Kammer, mögliche Ertragsminderungen durch Vegetationsaufnahmen sowie Erhebungen zur durchschnittlichen

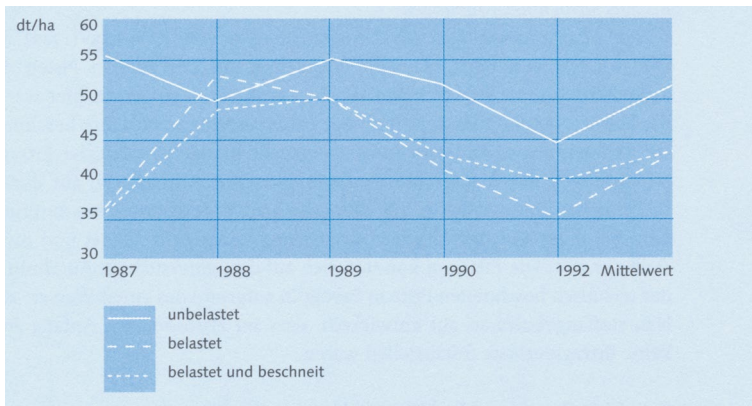


Abb. 4.5 Heuerträge der ersten Schnitte in Dezitonnen pro Hektar (dt/ha) auf einer beschneiten und einer unbeschneiten Piste sowie einer im Winter nicht genutzten Teilfläche in Sölden/Tirol auf 1370, 1420 und 1520 m ü. NN. (Holaus & Partl 1994)

Bestandshöhe, zur Biomasse und Vegetationsdichte zu ermitteln. Bei einer Verzögerung der Ausaperung von einem Monat und mehr stellte er fest, dass sich die Pflanzen auf den untersuchten Abschnitten der technisch beschneiten Piste in Savognin aufgrund des guten Wasser- und Nährstoffangebots so gut entwickeln konnten, dass im Frühsommer, Anfang Juli, keine Ertragsverluste festzustellen waren.

Beispiel Skigebiet Donovaly/Westkarpaten (SL) Die Studie von Mikloš et al. (2018) hatte das Ziel, die Folgen einer verlängerten Schneebedeckungszeit und Abschmelzperiode auf die Vegetation, insbesondere deren Biomasse und Ertrag, zu analysieren. Dazu wurden Flächen außerhalb und innerhalb einer Piste untersucht. Dabei zeigte sich eine deutliche Verzögerung beim Wachstum auf der Piste bis Anfang Juni. Ende Juni konnten jedoch keine statistischen Unterschiede mehr festgestellt werden. Dies zeigte sich auch bei der Wiederholung der Untersuchung im Folgejahr. Die Versuchsflächen befanden sich auf 945 m ü. NN.

Beispiel St. Oswald und Bad Kleinkirchheim/Kärnten (A) Auch Lichtenegger (1993) hat in vergleichbarer Weise wie Holaus und Partl (1994) den Heuertrag von alpinen Fettwiesen untersucht und dabei ebenfalls beschneite Pisten, „Natureschneepisten“ und Flächen außerhalb miteinander verglichen. Es ergeben sich, wie der Ausschnitt aus den erhobenen Daten (Tab. 4.3) zeigt, vielfach nahezu analoge Ergebnisse auf beschneiten und unbeschneiten Pisten.

Die Erträge sind meist außerhalb der Piste höher; zwischen der beschneiten und der unbeschneiten Piste lassen sich keine Unterschiede erkennen. Diese gemessenen Ergebnisse werden auch durch Erfahrungsberichte betroffener Landwirtinnen und Landwirte sowie weiterer Überblicksarbeiten bestätigt. Rixen et al. (2008) haben in den untersuchten Skigebieten in der Schweiz trotz der verlängerten Schneebedeckungszeit und dem verspätet einsetzendem Wachstum der Blüte ebenfalls keine Auswirkungen auf die Biomasse feststellen können.

Tab. 4.3 Untersuchungen zum Heuertrag auf beschneiten und unbeschneiten Flächen

Ort und Aufnahmejahr	Nutzungsgrad	Lage und Typ	Artenzahl	Heuertrag [kg/ha]
St. Oswald in Kärnten 1992	Beschneite Piste, Fettwiese	12° O 1350 m NN	42	4950
	Naturschneepiste, Fettwiese	12° O 1350 m NN	40	4792
	Außerhalb der Piste, Fettwiese	12° O 1350 m NN	41	5150
Bad Kleinkirchheim, Kärnten 1992	Beschneite Piste, Fettwiese	4° NW 1070 m NN	21	5920
	Naturschneepiste, Fettwiese	4° NW 1070 m NN	22	5560
	Außerhalb der Piste, Fettwiese	4° NW 1070 m NN	21	5150
	Beschneite Piste, Fettwiese	10° N 1200 m NN	21	4310
	Naturschneepiste, Fettwiese	10° N 1200 m NN	23	4290
	Außerhalb der Piste, Fettwiese	10° N 1200 m NN	23	5380

Beispiel Latemar/Kronplatz Südtirol (IT) Bestandsaufnahmen in mehreren Skigebieten in Südtirol von Casagrande Bacchiocchi et al. (2019) ergaben, im Unterschied zu den dargestellten Ergebnissen auf den beschneiten Pisten, eine höhere Biomasse als auf den Pistenflächen, sowohl in den größeren Skigebieten als auch in den kleineren Skigebieten. In Letzteren waren die Unterschiede jedoch geringer. Die Autorinnen und Autoren nennen als mögliche Erklärung für diese Unterschiede einen möglichen Einfluss des Beschneiwassers (siehe auch Abschn. 4.2.4 und 4.2.5). Allerdings entscheiden sich die untersuchten Pistenabschnitte auch in den Pflanzensammensetzungen und in den größeren Skigebieten auch in der Artenzahl. Die Autorinnen und Autoren fanden auf den Skipisten mehr „wettbewerbsstarke“ Arten, die offenbar von der technischen Beschneigung und Bodenfeuchte profitieren, vergleichbar mit Ergebnissen von Kammer und Hegg (1990) sowie Rixen et al. (2002).

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Studien aus den Alpen und den Karpaten zeigen, dass durch die längere Schneebedeckungszeit von zwei bis vier Wochen keine Ertragsverminderungen für die landwirtschaftliche Nutzung entstehen, die über die Beeinträchtigung einer Pistenutzung ohne Beschneigung hinausgehen. Auf Pisten mit und ohne Beschneigung ist von Ertragsverlusten grundsätzlich auszugehen. Die Höhe der Betroffenheit hängt jedoch stark von den jeweiligen Pflanzengemeinschaften ab.

Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung

Aus der verlängerten Schneebedeckungszeit lassen sich zwar in der Regel keine Ertragsverluste gegenüber ebenfalls landwirtschaftlich genutzten Pisten nachweisen, dies muss Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung jedoch nicht ausschließen. Die Fachliteratur bietet in dieser Frage auf den ersten Blick ein heterogenes Bild.

Beispiel Savognin/Graubünden (CH) Hier gehört die Studie von Kammer (Kammer & Hegg 1990; Kammer 1989) zu den ersten systematischen Untersuchungen zum Einfluss der Beschneigungsanlage Savognin in Oberhalbstein (Graubünden/Schweiz), mit der 30 ha Fläche zwischen 1200 und 1800 m ü. NN beschneit wurden. Die durchschnittliche Schneehöhe betrug 60 cm. Das Wasser für die Beschneigung wurde einem Talfluss entnommen. Das Gebiet gehört klimatisch zur „Trockeninsel“ Mittelbüdens und besitzt daher im langjährigen Mittel im Vergleich zu anderen alpinen Gegebenheiten verhältnismäßig niedrige Niederschlagsmengen von 934 mm, wobei das Minimum in den Monaten Dezember bis März liegt. Im Rahmen dieser Studie wurden zehn Transekte in verschiedenen Höhenlagen quer über die Piste gelegt. Betroffen waren verschiedene Rasen- und Wiesengesellschaften³: In die Transekte wurden zehn bis zwölf Vergleichsflächen gelegt. Pro Transekt lagen zwei bis fünf Vergleichsflächen in der beschneiten Pistenzone, vier bis acht in der unbeschneiten Zone und einige in der Übergangszone. Für das Gebiet erfolgten umfangreiche standörtliche Voruntersuchungen sowie verschiedene Auswertungen zum potenziellen Einfluss der Beschneigung auf die Vegetation. An dieser Stelle sollen aus der Studie die Betrachtungen zur phänologischen Entwicklung⁴ herausgegriffen werden, die beschneite und unbeschneite Flächen miteinander vergleichen. Dazu wurde der phänologische Zustand zwischen der Schneeschmelze und dem Beginn der Heuernte im Abstand von zwei Wochen vom 2. Mai bis zum 28. Juni festgehalten. Bei den phänologischen Untersuchungen zeigte sich, dass jede Art auf die verspätete Schneeschmelze anders reagiert (Kammer 1989), doch lassen sich auch allgemeine Tendenzen beschreiben:

- Die Arten, die ihre generative Phase früh im Jahr abwickeln, leiden stärker unter der Schneebedeckung als die Arten, die erst später im Jahre blühen und fruchten. Hierzu gehörte im Rahmen dieser Untersuchung unter anderem Ackerhahnenfuß (*Ranunculus acris*).
- Für einzelne Arten ist der Zeitraum für die Entwicklung zwischen dem Ausapern der Schneedecke und der Mahd zu kurz, um eine generative Fortpflanzung (Fruchten) zu gewährleisten. Als Beispiel wird hier der ebenfalls der Ackerhahnenfuß genannt.

³Fettwiesen (*Trisetetum flavescens*), Magerwiesen (trockene Ausbildung von *Trisetetum flavescens*, *Plantagini mediae-Brometum erecti* und *Polygalo-Poetum violaceae*) sowie subalpine Rasen (*Caricetum ferrugineae*, *Nardetum alpicum*).

⁴Die phänologische Entwicklung beschreibt die Entwicklung der Pflanzen von der Knospentbildung über die Blüte bis zum Fruchten.

- Einige frühblühende Arten holen den Entwicklungsrückstand dadurch auf, dass sie, gefördert durch die höheren Temperaturen, die Phase des Blühens und Fruchtens verkürzen. Das lässt sich am Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) zeigen.

Ordnet man die detailliert aufgenommenen Arten bei (Kammer 1989) neu, dann lassen sich vier charakteristische Typen – entsprechend ihres Verhaltens – unterscheiden:

1. *Typ A*: Frühblühende Art, bei der durch die lange Schneebedeckung auf einzelnen Standorten durch die Mahd das Fruchten nicht mehr erreicht wird (z. B. *Ranunculus acris*, *Alchemilla xanthochlora*)
2. *Typ B*: Frühblühende Art, Einfluss der Beschneigung wird durch Verkürzung der Blühphase kompensiert
3. *Typ C*: Mittel- bis frühblühende Art, Beschneigung standortbezogen mit verzögerndem Einfluss
4. *Typ D*: Spätblühende Art, Beschneigung ohne Einfluss

Es erweist sich, dass sich sehr viele Arten durch ihre späte Blütezeit unabhängig von der Beschneigung entwickeln können. Festzuhalten bleibt abschließend, dass der Ackerhahnenfuß (*Ranunculus acris*) die einzige bei Kammer dargestellte Art ist, bei der die Phase des Fruchtens nicht erreicht wird. Sie kann dies auch nur deshalb nicht, weil dann die Flächen gemäht werden, nicht aber wegen der Kürze der Vegetationszeit. Diese Zusammenhänge, die Vielfalt der Typen einerseits und der begrenzende Einfluss der Nutzung andererseits, wurden bei der Verbreitung und Interpretation dieser Studie vielfach nicht beachtet oder waren nicht bekannt. Die Ergebnisse riefen daher – wie gezeigt werden konnte – zu Unrecht große Besorgnis um die Erhaltung artenreicher Pflanzengemeinschaften in vergleichbaren Höhenlagen des Alpenraums hervor. Im vorliegenden Fall würde eine geringfügige Verschiebung des Mahdtermins auf spät ausapernden Flächen oder Teilflächen der Piste die negativen Effekte für einzelne Arten verhindern (Abb. 4.6).

Beispiel Monte Bondone/Trentino (IT) Eine weitere Studie von Prock und Newesely (1998) vergleicht die generative und vegetative Entwicklung der Vegetation auf beschneiten Pisten, herkömmlich präparierten Pisten und unbelasteten Flächen. Diese Untersuchung erfolgte im Skigebiet Monte Bondone Plateau bei Trient in einer Höhe von 1450 und 1600 m ü. NN. Das Monte Bondone Plateau liegt am Südrand der Alpen, das Klima ist als alpin-kontinental mit mediterranem Einfluss zu bezeichnen. Der jährliche mittlere Niederschlag wird mit 1200 mm, die Jahresmitteltemperatur mit 5,9 °C angegeben. Die phänologischen Beobachtungen wurden im Frühjahr und Sommer 1992 durchgeführt. Die Vegetation der Skipisten besteht aus einem Mosaik verschiedener Wiesen- und Weideseit-

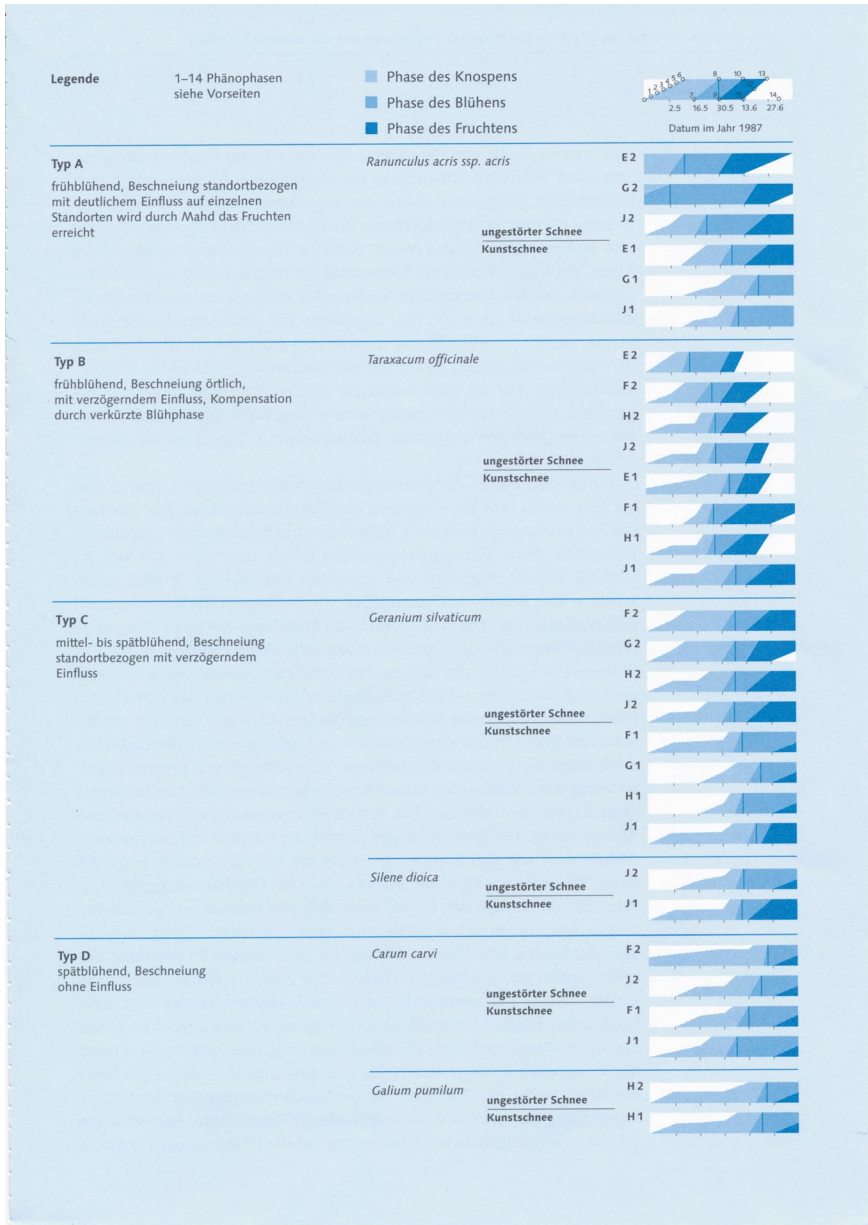


Abb. 4.6 Unterschiedliche Reaktionen auf die verlängerte Schneedecke durch Beschneigung bei verschiedenen Arten. (Neue Darstellung nach Angaben von Kammer 1989)

schaften. Für die Untersuchungen wurden Abschnitte mit relativ ungestörten, sehr artenreichen Borstgrasrasen ausgewählt. Die Versuchsflächen wiesen vergleichbare Vegetation, Geländeneigung, Exposition und Bodenverhältnisse auf.

Die Beobachtungen des phänologischen Zustands wurden vom 22. Mai bis zum 29. Juli in sieben- bis zehntägigem Rhythmus durchgeführt. Der Zeitraum der Beobachtungen umfasste die Periode des Austriebs bis zum Vegetationshöhepunkt. Neun Pflanzenarten wurden gezielt untersucht, die sich im Hinblick auf die vegetative und generative Entwicklung deutlich unterscheiden, z. B. Frühjahrsblüher wie Trollblume (*Trollius europaeus*) und Weißer Safran (*Crocus albiflorus*) oder Spätblüher wie Roter Wiesenklees (*Trifolium pratense*) oder Knöllchen-Knöterich (*Polygonum viviparum*).

Insgesamt konnten die Autorinnen und Autoren keine direkten Auswirkungen der technischen Beschneidung auf die phänologische Entwicklung der betrachteten Pflanzenarten und deren Blühfrequenz finden. Auch ein Vergleich der beschneiten Piste mit den unpräparierten und unbefahrenen Referenzflächen ergab keine signifikanten Unterschiede. Eine verlangsamte generative Entwicklung der Pflanzen der technisch beschneiten Flächen zeigte sich nur auf einem Transekt, bei dem eine deutlich verspätete Ausaperung vorlag. Der Entwicklungsrückstand der Pflanzen im beschneiten Bereich wird von den meisten Arten bis zur Vollblüte wieder eingeholt. Roter Wiesenklees (*Trifolium pratense*) ist im Untersuchungsgebiet auf Transekt 1 die einzige Art, die bis Ende Juli, also bis kurz vor dem Mahdtermin, keine reifen Samen gebildet hat. Erstaunlicherweise zeigte sich hier auch das umgekehrte Phänomen, nämlich eine raschere Entwicklung einzelner Arten auf beschneiten Flächen. Die Autorinnen und Autoren führen dies darauf zurück, dass die Temperaturen an der Bodenoberfläche und im Boden in der beschneiten Teilfläche deutlich höher waren als auf den restlichen Pistenbereichen. Daraus ziehen sie die Schlussfolgerung, dass kleinräumige, durch die Topografie bedingte Unterschiede in den Umweltbedingungen sowie die Höhenstufen der Transekte für die Geschwindigkeit der generativen Entwicklung eine größere Rolle spielen als der technische Schnee. Auswirkungen von langjähriger technischer Beschneidung auf die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften wurden aus dieser Studie folglich nicht abgeleitet.

Beispiel Fellhorn/Oberallgäu (D) Vegetationskundliche Untersuchungen im Rahmen eines vorgeschriebenen naturschutzfachlichen Monitorings nach Beschneidung am Fellhorn im Oberallgäu (Bayern) in einer Höhenlage von 900–1300 m ü. NN sollten mögliche Einflüsse der Beschneidung auf die Artenzusammensetzung überprüfen (Abb. 4.7; Schauer 1996). Auf einer intensiv und seit Jahrhunderten almwirtschaftlich genutzten Piste wurden auf ehemals vollständig planierten und wieder angesäten Standorten über vier Jahre (1987–1991) nach Beginn der Beschneidung die Pflanzengemeinschaften auf 26 Probeflächen von 25 m² nach Braun-Blanquet (1964) vegetationskundlich aufgenommen. Als Folge der Baumaßnahmen konnten einzelne Probeflächen nicht dauerhaft verfolgt werden, weil sie direkt von der Leitungsstrasse durchschnitten wurden. Dafür wurden weitere Quadrate hinzugenommen. Wegen der Beweidung und aufgrund von Sicher-

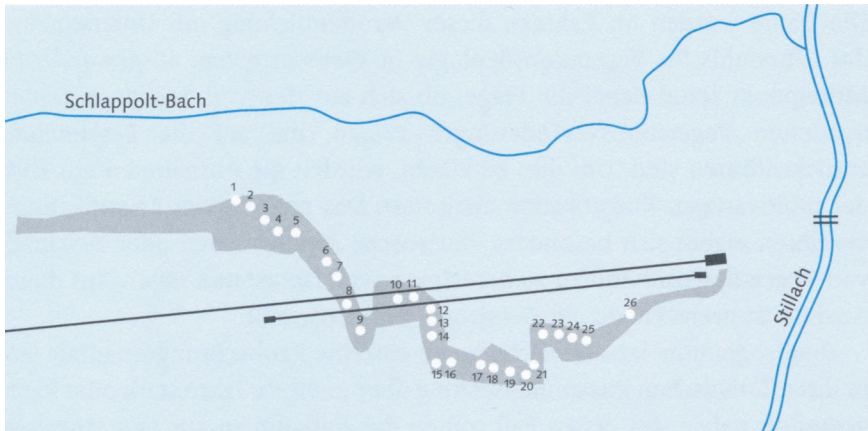


Abb. 4.7 Lage der vegetationskundlichen Aufnahmeflächen an der Talabfahrt des Skigebietes Fellhorn. (U. Pröbstl-Haider)

heitsaspekten beim Winterbetrieb ist es möglich, dass die Wiederholungsaufnahmen der verpflockten Probestflächen nicht immer exakt lagegetreu erfolgten. Die vorgefundenen Pflanzengemeinschaften waren überwiegend durch Kammgrasweiden teilweise mit Borstgras oder mit Feuchtwiesenarten wie Trollblume (*Trollius europaeus*) oder Wiesenknöterich (*Polygonum bistorta*) bestimmt. Nachfolgende Analysen der Kartierungsergebnisse erfolgten mithilfe der multivariaten Klassifikation, um floristische Ähnlichkeiten oder Distanzen der Vegetationsaufnahmen zu berechnen (Dierschke 1994). Die Analysen durch den Lehrstuhl für Vegetationsökologie an der TU München ergaben trotz der möglichen Verschiebungen der Aufnahmequadrate eine hohe Übereinstimmung zwischen den Aufnahmen aller Jahre. Signifikante Veränderungen der betroffenen Pflanzengesellschaften konnten nicht festgestellt werden, die euklidischen Distanzen sind klein und liegen nahe beieinander (Pröbstl 2006). Insgesamt muss also in diesem Skigebiet für die intensiv beweidete Talabfahrt in niedrigen bis mittleren Lagen auf planierten Standorten nicht mit langfristigen Veränderungen durch die Beschneigung gerechnet werden. Der Einfluss der intensiven almwirtschaftlichen Nutzung wird als wesentlicher, die Artenvielfalt bestimmender Faktor gesehen.

Beispiel Garmisch-Partenkirchen, Skigebiet Garmisch-Classic (D) Die Untersuchungen in Garmisch-Partenkirchen, die an der Kandahar-Abfahrt von 1988 bis 1996 durchgeführt wurden, bestätigen, dass in geringen Höhenlagen (780–1180 m ü. NN) die Dauer der Schneebedeckung nicht zu Entwicklungsrückständen und zu Veränderungen in den Pflanzengemeinschaften führen. Wie in der Bilderserie von Abb. 4.8, 4.9, 4.10 und 4.11, die alle denselben Pistenabschnitt der Kandahar-Abfahrt zeigen, erkennbar ist, sind Ende Juni Entwicklungsunterschiede nicht mehr erkennbar. Die dort beobachteten Veränderungen der Vegetation beschreiben eher Renaturierungsprozesse der ehemals planierten und gestörten Pisten hin zu stabili-



Abb. 4.8 Kandahar-Abfahrt, Aufnahme am 11. April 1995. (U. Pröbstl-Haider)



Abb. 4.9 Kandahar-Abfahrt, Aufnahme am 3. Mai 1995. (U. Pröbstl-Haider)

Abb. 4.10 Kandahar-
Abfahrt, Aufnahme am 23.
Mai 1995. (U. Pröbstl-Haider)



len Pflanzengemeinschaften, wie sie aus anderen Studien bekannt sind (Pröbstl 1990). Dies zeigt sich unter anderem an der Zunahme charakteristischer Arten auf den jeweiligen Teilflächen. Dieser Renaturierungsprozess wird durch die spezielle Pistenpflege mit später Mahd und Abräumen des Schnittgutes besonders gefördert.

Beispiel Skigebiete in der Schweiz (CH) Ein anderes Bild ergibt sich, wenn Pflanzengemeinschaften in größeren Höhenlagen betrachtet werden. Eine Untersuchung in zwölf Schweizer Skigebieten (Wipf et al. 2002) befasste sich mit Vegetationsänderungen in verschiedenen Pflanzengemeinschaften auf unterschiedlich lange beschneiten Flächen und vergleichbaren Flächen im Umfeld der Skipisten. Im Unterschied zu den bereits vorgestellten Fallbeispielen bezogen sich hier die Analysen auf Bereiche größerer Höhenlagen von 1800–2500 m. Insgesamt 19 Pisten mit natürlichem Schnee und mit technischer Beschneigung wurden analysiert und mit unveränderten Abschnitten außerhalb der Pisten verglichen. Die Studie ergab zunächst eine große Ähnlichkeit zwischen Pistenflächen aus Naturschnee und



Abb. 4.11 Kandahar-Abfahrt, Aufnahme am 20. Juni 1995. (U. Pröbstl-Haider)

den technisch beschneiten Pisten. Darüber hinaus legen die Datenauswertungen den Schluss nahe, dass die technische Beschneigung in diesen Höhenlagen die Pflanzenarten der Schneetälchengesellschaften fördert und dass Arten der Windkantengesellschaften zurückgehen. Daher erwarten die Forscherinnen und Forscher mögliche Langzeiteffekte in sensiblen Pflanzengesellschaften der Hochlagen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Kohler (2000). Er erwartet nach Aufnahmen am Fellhorn in Oberstdorf (D) in Hochlagen ebenfalls Auswirkungen auf Windkantengesellschaften. Allerdings hebt er hervor, dass entsprechende Gesellschaften bei den dort beschneiten Flächen nur einen sehr geringen Flächenanteil einnehmen.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Auswirkungen einer verlängerten Schneebedeckungszeit auf die Vegetation wurden bislang sowohl im Hinblick auf den Ertrag als auch auf die Artenzusammensetzung der Pflanzengemeinschaften vermutet. Hier zeigt sich, dass in Höhenlagen bis etwa 1600 m nicht von Ertragsverlusten durch die Beschneigung ausgegangen werden muss, sofern diese Flächen schon zuvor als Piste genutzt wurden.

Im Hinblick auf die Artenzusammensetzung der Pflanzengemeinschaften ist in der Regel nicht von einer generellen Artenverschiebung auszugehen, da die einzelnen Arten sehr unterschiedlich reagieren und meist in der Lage sind, einen möglichen Entwicklungsrückstand durch die verlängerte Schneebedeckungsdauer wieder aufzuholen. Pauschale Einschätzungen, wie z. B. eine

besondere Betroffenheit aller frühblühenden Arten, sind durch Forschungsergebnisse nicht zu belegen. Als Einflussfaktoren für die Entwicklung der einzelnen Arten können zusammenfassend folgende Kriterien gelten:

- Artspezifische Eigenschaften (z. B. Zeitpunkt der Blüte, Reaktion auf Wärme, kurze oder lange Blütezeit)
- Höhenlage und damit verbunden die Länge der Vegetationszeit
- Mächtigkeit der technischen Beschneigung (insgesamt, sowie topografisch und reliefbedingte Unterschiede),
- Ausaperungsprozesse
- reliefbedingte Standortunterschiede und die Exposition
- Erwärmung der oberen Bodenschichten
- Art der Nutzung (z. B. Mahd oder Beweidung)

Kritisch kann eine Beschneigung dann sein, wenn die Vegetationszeit tatsächlich so verkürzt würde, dass sich einzelne autochthone Arten nicht mehr wie bisher reproduzieren könnten. Dies ist in Höhenlagen bis 1600 m nicht zu befürchten. Bei Beschneigung in Hochlagen können in Abhängigkeit von den oben genannten Einflussfaktoren Veränderungen bewirkt werden.

Zu beachten ist weiterhin, dass messbare Vegetationsveränderungen vielerorts häufig mehr den Renaturierungsprozess nach durchgeführten Standortveränderungen (Planie) abbilden als die Beschneigung.

Die Forschungsarbeiten betonen auch, dass die häufig als verlängerte Schneebedeckungsdauer beschriebenen Zeiträume von bis zu vier Wochen im Rahmen der natürlich vorkommenden Schwankungen liegen. Die Auswirkungen der technischen Beschneigung auf die Schneebedeckungsdauer müsse zudem vor dem Hintergrund reduzierter Schneedecken, die durch den Klimawandel aufgelöst würden, neu und deutlich positiver bewertet werden (Steinbauer et al. 2018).

4.2.4 Einfluss durch Stoffeintrag aus dem Beschneigungswasser

Wie eingangs angesprochen, sind die nationalen Vorgaben im Hinblick auf das zu verwendende Wasser und mögliche Zusatzstoffe sehr unterschiedlich. So muss in Österreich, Deutschland und Spanien das Beschneigungswasser hohen Qualitätsanforderungen entsprechen. In der Schweiz hingegen kann auch Flusswasser Verwendung finden.

Unabhängig von der an der Gesundheit des Menschen orientierten Wasserqualität für die Beschneigung könnte das Beschneigungswasser auch dann potenziell eine verändernde Wirkung haben, wenn Geologie und Boden in den Bereichen, in dem das Wasser gewonnen wird (z. B. Quelfassung mit kalkhaltigem Wasser), und den Bereichen, in denen es aufgebracht wird (anmooriger Standort), voneinander abweichen. In solchen Fällen könnte es zu Veränderungen des Bodenchemismus

kommen (z. B. Veränderung der pH-Wertes im Boden), die zu indirekten Auswirkungen auf die Vegetation führen können (Rixen et al. 2008; Kohler 2000).

Verschiedene Autorinnen und Autoren weisen weiter darauf hin, dass auch die Zusatzstoffe zur Förderung der Schneekristallbildung (z. B. Snowmax) einen Einfluss haben können (Rixen et al. 2003; Pröbstl 1995).

Diesen möglichen Einflussfaktoren wird im Folgenden nachgegangen. Wie in den Abschnitten zuvor, werden zu diesem Thema verschiedene Fallstudien näher betrachtet.

Beispiel Savognin/Graubünden (CH) Kammer (1989) untersuchte die Verhältnisse in Savognin zwischen 1200 und 1800 m ü. NN. Für die Beschneigung wird dort Flusswasser verwendet. Um mögliche Auswirkungen auf die Vegetation zu untersuchen, wurden die Piste und ihre Randbereiche in zehn Transekten mit jeweils zehn bis zwölf Teilflächen differenziert untersucht. Die Aufnahme der Vegetation erfolgte auf Teilflächen nach der Point-Quadrat-Methode (Müller-Dombois & Ellenberg 1974) auf 1 m² und geschätzt nach Braun-Blanquet auf 10 m². Weiterhin wurden in dieser umfangreichen Studie die mittlere Feuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahl (Ellenberg 1986) jeder Vergleichsfläche ermittelt. Desgleichen wurde die relative Frequenz bestimmter ausgewählter Artengruppen wie Trockenheitsanzeiger, Feuchtezeiger, Basenzeiger, Magerkeitszeiger und Stickstoffzeiger (Ellenberg 1986; Landolt 1977; Oberdorfer 1983; Hegg 1974) zusammengestellt. Insgesamt kommt Kammer (1989) zu folgendem Ergebnis: Der vergrößerte Wasseranfall im Frühjahr durch das zusätzliche Schmelzwasser sowie die Stoff- und Baseneinträge durch das bei der technischen Beschneigung verwendete Wasser zerstören mittelfristig die Magerstandorte. Dies hat – nach seiner Ansicht – zur Folge, dass sich Magerwiesen in Fettwiesen entwickeln, in denen feuchtigkeits- und nährstoffliebende Arten vermehrt vorkommen. Diese Verschiebung sei mit einem Verlust der Artenvielfalt verbunden.

Allerdings weist Kammer (1989) in seiner Studie auf die landwirtschaftliche Nutzung und Düngung der Untersuchungsflächen hin. Kammer beschreibt die landwirtschaftliche Nutzung auf Transekt 2, Magerwiese, wie folgt: Der Transekt wird zweimal jährlich gemäht, im Frühling mit Vollgülle und im Herbst mit Stallmist gedüngt. Falls zu wenig Mist zur Verfügung steht, wird die Düngung mit Thomasmehl oder Superphosphat vorgenommen (Kammer 1989).

Auch alle anderen Magerstandorte erhalten eine vergleichbare Düngung. Vor diesem Hintergrund erscheint das Ausmaß des düngenden Effekts durch das Wasser für die Beschneigung wenig wahrscheinlich, wie die Gegenüberstellung der Stoffeintrags aus dem Fluss Julia und einer konventionellen landwirtschaftlichen Düngung (Tab. 4.4) zeigt. Auch Lichtenegger (1993) stellte die angenommenen Auswirkungen der Beschneigung vor dem Hintergrund der erfolgenden landwirtschaftlichen Düngung infrage.

Weiterhin könnten auch methodische Aspekte die Ursache für die schwer erklärbareren Ergebnisse sein, da aus heutiger Sicht die verwendete Analyseverfahren,

Tab. 4.4 Nährstoffeintrag pro Jahr/ha durch technischen Schnee am Beispiel der Beschneigungsanlage in Savognin bei Wasserentnahme aus dem Fluss Julia (aus Kammer 1989) und Vergleich mit Düngung durch Stallmist (als Vergleichsgröße ergänzt)

Nährstoffe in kg/ha	Mächtigkeit der technisch erzeugten Schneedecke		Zum Vergleich: Konventionelle landwirtschaftliche Nutzung und Düngung mit Stallmist 15 t/ha
	60 cm	120 cm	
Stickstoff	0,9	14,8	30
Phosphor	1,8	29,6	20
Kalium	0,03	7,8	75
Chlor	0,06	15,6	30
Calcium	1,4	4,8	75
Magnesium	2,8	9,6	18
Natrium	2	28	9
Schwefel	4	56	6

d. h. die Ableitung von Unterschieden auf der Grundlage von mittleren Zeigerwerten, als nicht unproblematisch eingestuft wird.⁵

Beispiel Skigebiet Cerna Hora im Krka-Nationalpark (CZ) Die Forschungsfrage von Krenova et al. (2020) rund um mögliche Düngungseffekte durch Beschneigung stand auch im Mittelpunkt der Untersuchungen im Krka-Nationalpark in Tschechien auf einer Höhenlage zwischen 800 und 1450 m ü. NN. Das Wasser für die Beschneigung im Gebiet wird aus zwei Speicherseen und aus kleinen Gebirgsbächen entnommen. Die Wasserproben wurden auf ihre hydrochemische Zusammensetzung von April 2019 bis ins Jahr 2020 untersucht. Zu den wichtigsten Ergebnissen gehört die Tatsache, dass der pH-Wert und die stoffliche Zusammensetzung des Wassers im Jahresablauf variieren und stoffliche Belastungen im

⁵ Da die sogenannten Zeigerwerte von Pflanzen relative Abstufungen nach dem Auftreten im Gelände darstellen, dürfen sie nicht mit den Ansprüchen der Pflanze an bestimmte Umweltfaktoren gleichgesetzt werden. Damit handelt es sich auch nicht um kardinale Zahlen, die beliebig mathematischen Rechenmodellen unterzogen werden dürfen (Durwein 1983; Kowarik & Seidling 1989; Dierschke 1994). Die Anwendung von Zeigerwerten auf Skipisten ist jedoch vor allem deshalb kritisch zu beurteilen, weil hier durch mechanische Belastung und andere Rahmenbedingungen des Skibetriebs die Konkurrenzverhältnisse so verändert werden, dass z. B. auch Arten vorkommen können, die auf diesem Standort eigentlich keinen Verbreitungsschwerpunkt hätten. Auf diesen Zusammenhang weisen auch Ellenberg et al. (1992) besonders hin. Nach ihren Erfahrungen können sich Erstbesiedelungen, Bestandteile von Neuansaat oder Regenerationsstadien nach Störungen völlig anders verhalten, als die Faktorzahlen angeben, da sich die Zeigerwerte auf Pflanzen in ausgeglichenen Beständen beziehen. Gerade auf Magerstandorten dauert dieser Prozess nach Ellenberg (1992) besonders lange. Auch weitere Arbeiten (vgl. Krause 1997; Straussberger 1997) unterstreichen die Schwierigkeit standörtlicher Vergleiche über die Berechnung mittlerer Zeigerwerte, insbesondere dann, wenn anthropogene Störungen mitbestimmend sind.

Herbst ansteigen. Die Autorinnen und Autoren führen dies auf die natürliche Gewässerdynamik und die Aktivitäten von Mikroorganismen zurück. Dadurch, dass das Wasser in Hochlagen gewonnen und gefasst wird, weisen die untersuchten Speicherseen und Bäche im Gebiet eine hohe Qualität auf. Die enthaltenen Nährstoffanteile im Wasser entsprechen den Grenzwerten für Trinkwasser der tschechischen Gesetzgebung. Daher enthielt auch das Speicherbecken sehr klares und nährstoffarmes Wasser. Im Blick auf die Vegetation im Nationalpark kommen die Autorinnen und Autoren zu dem Schluss, dass die Nutzung des untersuchten Wassers für die Beschneigung nicht zu einer Düngung der Wiesen auf den Skipisten führt. Das Beschneigungswasser sollte jedoch eher im Frühjahr und Sommer als im Herbst gewonnen werden, um die Möglichkeit von Nährstoffeinträgen gering zu halten. Weiterhin sollten danach spätere Auffüllungen, zusätzliche Nutzungen (z. B. Fische) und Störungen des Sediments vermieden werden.

Beispiel Latemar/Südtirol (IT) Casagrande Bacchiocchi et al. (2019) diskutieren, ob und in welcher Weise das Beschneigungswasser in den Dolomiten vorgefundene Unterschiede zwischen Kontrollflächen und Bereichen auf der Skipiste erklären könnte. Das Wasser selbst wurde jedoch nicht analysiert, sondern es wurden nur vergleichende Bodenproben innerhalb und außerhalb der Piste für die Studie herangezogen. Das Beschneigungswasser für die Skipisten kommt aus Fließgewässern und Speicherseen. Die Autorinnen und Autoren halten es für möglich, dass die vorgefundenen Unterschiede bei der Vegetation, hier ein erhöhter Anteil von Kleearten auf der Piste, durch den signifikant höheren Wert bei Calcium (Ca) und Magnesium (Mn) im Boden erklärt werden könnte, der eventuell auf das Beschneigungswasser zurückzuführen sei. Allerdings zeigten sich keine oder sehr geringe Unterschiede bei anderen Kräutern und Gräsern. Daher halten es die Autoren auch für denkbar, dass die Unterschiede durch die unterschiedliche Bewirtschaftung von Piste und Umgebungsflächen hervorgerufen werden. So werden im Untersuchungsraum die Pistenflächen regelmäßig spät im Jahr gemäht, die Vergleichsflächen außerhalb jedoch nicht oder in längeren Intervallen, weshalb dort auch verholzte Pflanzen vorkommen. Diese Bewirtschaftungsunterschiede könnten ebenfalls zur Erhöhung des Anteils an Kleearten beigetragen haben (Körner et al. 2008). Durch die Mahd auf der Piste wird die Sukzession verhindert, und es entsteht nach Auffassung der Autoren ein neues „Pistenökosystem“ mit anderer Artenzusammensetzung.

Beispiel geschützte Moorflächen in Sorenberg, Luzern (CH) Untersuchungen von Knaus (2011) mit Vergleich von Aufnahmen 2002 und 2009 unterstreichen den Einfluss der Sommernutzung bei der Analyse von Pistenflächen. So zeigten sich bei detaillierten Vegetationsaufnahmen auf Moorflächen größere Unterschiede vor allem im Hinblick auf die Nährstoffzahlen, die jedoch unabhängig von den Pisten (beschneit und unbeschneit) im Raum verteilt sind. Der Autor begründet dies mit der landwirtschaftlichen Nutzung bzw. mit einer Lage im Schutzgebiet. Seine Forschungsarbeiten in den Mooren weisen zudem auf Nährstoffeinträge in alle Flächen über die Bewirtschaftung, aber auch durch Düngung aus der Luft hin, da

das Beschneigungswasser in der Zusammensetzung dem Regenwasser entspricht. Die Düngewirkung führt dazu, dass die eher konkurrenzschwachen Spezialisten in den nährstoffarmen Flächen von gebietsfremden Arten, die schneller und besser das Nährstoffangebot verwerten können, zuerst bedrängt und später verdrängt werden. Der gemessene Anstieg an Artenvielfalt spiegelt damit keine zunehmende Naturnähe, sondern eine beginnende Störung wider, die langfristig zu einer stetigen Homogenisierung der Pflanzenzusammensetzung führen kann. Dieser Prozess ist nach Knaus (2011) völlig unabhängig von der Beschneigung und Pistenpräparierung. Vorgefundene Unterschiede bei der Feuchtezahl, bei der Reaktionszahl und Temperaturzahl werden nicht auf die Beschneigung, sondern auf den Einfluss des Pistenbetriebs, insbesondere die Präparation, zurückgeführt. Zudem könne aus der Entwicklung einzelner Arten nicht auf allgemeine Trends der Entwicklung von Lebensräumen geschlossen werden. Ein spezifischer Einfluss der Beschneigung im Hinblick auf die Artenzusammensetzung konnte nicht gefunden werden (Knaus 2011). Allerdings weist die Studie auf die besondere Bedeutung der chemischen Eigenschaften des Beschneigungswassers zur Nährstoffbilanz und der Veränderung des Säuregehalts in den Böden hin und diskutiert den Nährstoffeintrag in Moore aus der Luft, der auch außerhalb von Skigebieten hochwertige Lebensräume negativ beeinflusst.

Möglicher Einfluss von Zusatzstoffen

Wie eingangs dargestellt sind Zusatzstoffe, die dem Beschneigungswasser zugesetzt werden, nicht in allen Ländern erlaubt. In Deutschland, Österreich und Italien sind keine Zusatzstoffe zulässig. In der Schweiz oder den USA werden sie hingegen regelmäßig eingesetzt. Bei den in der Praxis häufig verwendeten Zusatzstoffen handelt es sich um sogenannte Eiskeime, die aus Bakterien hergestellt werden und deren Einsatz die Kristallisation zu Schnee begünstigt. Zugesetzte Eiskeime sollen einen erfolgreichen Einsatz der Beschneigung auch bei geringen Minusgraden ermöglichen. Nach Teich et al. (2007) ist der Einsatz von Bakterien umstritten. Zwar sind die Bakterien abgetötet, in Labortests zeigten sie jedoch bei hoher Konzentration Einflüsse auf die Wuchsreaktion verschiedener alpiner Pflanzenarten (Rixen et al. 2003). Ob diese teils wuchsfördernden, teils verringernden Wirkungen sich auch bei der geringen Konzentration und bei Langzeiteinsatz ebenfalls zeigen, ist unbekannt.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Wenn das für die Beschneigung verwendete Wasser mit Nährstoffen belastet ist, kann sich dies auf Boden und Vegetation auswirken. Hier ist – in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen – jeder Einzelfall gesondert zu prüfen. Nachdem die meisten Skigebiete auch einen Anteil an gesetzlich geschützten Biotopen aufweisen (im bayerischen Alpenraum durchschnittlich rund 15 %; Pröbstl 2000), sollte die Frage des Stoffeintrags in jedem Einzelfall kritisch geprüft werden. Auf den Einsatz von Bakterien sollte, wie bisher in den meisten Skigebieten des Alpenraums praktiziert, wegen der unklaren Effekte wei-

ter verzichtet werden. Insgesamt erscheint die Beeinflussung der Skigebiete durch die landwirtschaftliche Nutzung gewichtiger als die Beschneigung (Knaus 2011). Bei Beschneigung von Pistenflächen, in denen Moore und Quellfluren liegen, wird daher eine regelmäßige Überprüfung der chemischen Zusammensetzung des Beschneigungswassers empfohlen (vor allem P, N, pH-Wert). Sollten Nährstoff- und Kalkeintrag nachgewiesen werden, müssen ergänzende Auflagen zur Sicherung der Wasserqualität formuliert werden.

4.2.5 Einfluss der aufgebrauchten Wassermenge

Im Zusammenhang mit den potenziellen Auswirkungen der Beschneigung werden Beeinflussungen durch eine erhöhte Bodendurchfeuchtung mit Auswirkungen auf die Pflanzen einerseits und ein Abschwemmen von Feinerde als Folge der zusätzlich aufgebrauchten Wassermenge andererseits diskutiert.

Dazu liegen zahlreiche Untersuchungen in Skigebieten vor, die sich mit der Frage des Einflusses von Skipisten auf den Abfluss und den Bodenabtrag befassen. In all diesen Studien wird die oberflächlich abfließende Wassermenge zur Bewertung der ökologischen Stabilität herangezogen (Cernusca et al. 1992; Neuwinger et al. 1992; Pfitzner & Kernschner 1992). Übereinstimmend wird festgestellt, dass der Oberflächenabfluss von der Höhenlage, der Pflanzendecke und den erfolgten Eingriffen in die Bodenoberfläche (Planie) abhängt.

Einfluss von Eingriffen in die Bodenoberfläche

Vor allem durch Vollplanie wird in erheblichem Umfang in das Wasserspeichervermögen des Bodens eingegriffen. Untersuchungen von Löhmannsröben und Cernusca (1990) ergaben für planierte Skipisten in den österreichischen Bundesländern Tirol (Achenkirch, Obergurgl, Penken) und Salzburg (Schloßalm, Stubnerkogel) ein fünf- bis zehnmal geringeres Wasserspeichervermögen der Böden im Vergleich zu den angrenzenden ungestörten Verhältnissen.

Eine detaillierte Skigebietsuntersuchung mit Beregnungsversuchen am Stubnerkogel zeigte zudem, dass nicht nur durch Planie veränderte Standorte, sondern auch durch Beweidung stark verkürzte und verdichtete Profile abflussfördernd sind.

Hier machen sich vor allem das unterschiedliche Porenvolumen, die veränderte Wasserkapazität und die verschiedenen Anteile der schnell drainierenden Grobporen bemerkbar. Aus diesem Grund ist der Oberflächenabfluss auf der planierten Skipiste deutlich höher. Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft hat diese Zusammenhänge durch Beregnungsversuche ebenfalls auf zahlreichen Flächen nachgewiesen (Schauer 1981; Bunza 1984, 1989, 1990). Diese Zusammenhänge bestätigen auch aktuelle Studien (Wrońska-Wałach et al. 2019; Pintaldi et al. 2017; Roux-Fouillet et al. 2011; Jong et al. 2015).

Risiken im Hinblick auf Erosion und dauerhafte Degradation sind in Höhenlagen von über 2200 m vor allem dann zu erwarten, wenn die Piste umgestaltet oder planiert wurde. In diesem Fall entscheiden oft mikroklimatische Verhältnisse

über den Wiederbegrünungserfolg und deren Entwicklung unter Beschneigung. Darauf weisen Rixen et al. (2004) besonders hin.

Einfluss des Deckungsgrades der Pflanzendecke

Wie groß der Oberflächenabfluss und damit die Gefahr einer Bodenerosion ist, hängt weiterhin ganz wesentlich vom Deckungsgrad der Pflanzendecke ab (Abb. 4.12) ab. Wissenschaftliche Untersuchungen der Universität Mannheim und der Technischen Universität München (Arbeitsgemeinschaft Bodenforschung Deutsche Alpen 1995) auf Flächen unterschiedlicher Nutzung (Almen, Skipisten, Wanderwegen) im Gunzesrieder Tal und im Nationalpark Berchtesgaden können nachweisen, dass es bei geschlossener Vegetationsdecke nur bei besonderen Starkregenereignissen und in Rinnen bzw. Einschnitten zu Oberflächenabfluss kommt, nicht aber zu einem nennenswerten flächigen Abtrag. Von vegetationsfreien Flächen dagegen werden kurz nach dem Einsetzen des Regens die größten Abspülungen gemessen, z. B. nach 15 min nahezu die Hälfte des Gesamtbetrags eines Regenereignisses. Der Abtrag darf allerdings nicht linear hochgerechnet werden. Zwar verarmt die Bodenoberfläche relativ rasch an leicht erodierbarem Material, es bildet sich jedoch dann ein Wasserfilm aus, der den weiteren Tropfenfall auf der Bodenoberfläche in seiner erodierenden Wirkung dämpft.

Allerdings dürfen Ergebnisse, die auf der Analyse von Starkregenereignissen beruhen, nicht unmittelbar auf die Wirkung von Beschneigung übertragen werden. Im Unterschied zum Starkregen tritt das Wasser aus der Schneedecke langsamer



Abb. 4.12 Oberflächiger Abfluss bei geringem Deckungsgrad der Vegetation. (U. Pröbstl-Haider)

und gleichmäßiger aus (Abb. 4.13). Bodenerosion kann im Gelände dann beobachtet werden, wenn der im Untergrund zum Teil gefrorene, stark verdichtete oder durch Planie gestörte Boden das absickernde Wasser nicht aufnehmen kann, eine funktionsfähige Wasserausleitung fehlt bzw. wenn sich aus dem oberflächlich abfließenden Wasser ein Rinnsal bilden kann. In diesem Fall sind Erosionsrinnen und Eintiefungen je nach Erosivität des Untergrundes die Folge.

Nach Angaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes (1997) können zur Ermittlung des Bodenabtrags folgende Richtzahlen angewandt werden: Bei einer durch die Beschneigung erhöhten Winterniederschlagsmenge um 55 % ergibt sich eine Steigerung der Erosivität von etwa 15 % gegenüber dem langjährigen Mittel. Wird der Bodenabtrag auf einer vegetationsfreien Fläche mit 100 % angesetzt, so vermindert sich eine Vegetationsdecke mit 40%igem Deckungsgrad auf 20–25 % und eine geschlossene Vegetationsdecke auf 3–4 %.

Die Pflanzenzusammensetzung und damit die Durchwurzelung des Bodens beeinflusst ebenfalls die Effekte auf den Boden (Roux-Fouillet et al. 2011). Neben den Eigenschaften der betroffenen Böden und der Pflanzendecke ist auch die Höhenlage ein wichtiger Einflussfaktor. So wird mit zunehmender Höhe eine deutliche Abnahme der direkten Verdunstung gemessen. Auch dies kann im Einzelfall zur Verschlechterung der Situation beitragen.

Für die Hochlagen erwarten diverse Autorinnen und Autoren daher auch ungünstigere Bedingungen im Hinblick auf die Renaturierung bzw. Wiederbegrünung von hergestellten bzw. geplanten Skipisten über 1600 m. Auf diesen



Abb. 4.13 Ausaperung und randliche Durchfeuchtung ohne erosionsfördernde Auswirkungen auf Vegetation und Boden durch die erhöhte Wassermenge. (U. Pröbstl-Haider)

Standorten ist dann auch das Erosionsrisiko besonders hoch (Rixen et al. 2004; Roux-Fouillet et al. 2011).

Auswirkungen waren – wie zu erwarten – auch dann zu beobachten, wenn die beschneiten Flächen in steilem Gelände liegen und die Vegetation Bodenwunden oder einen sehr geringen Deckungsgrad aufweist (z. B. im Bereich der Kabelgräben im ersten Jahr nach der Baumaßnahme). Da die Böden im Frühjahr stärker durchfeuchtet sind, weisen sie im Hinblick auf die verschiedenen Nutzungen, insbesondere Beweidung, eine höhere Empfindlichkeit auf. Somit ist bei gleicher Nutzungsintensität die Gefahr von Folgeschäden für Vegetation und Boden erhöht.

Einfluss der zusätzlichen Wassermenge

Die zusätzliche Wassermenge, die durch die Beschneigung aufgebracht wird, könnte – so wurde befürchtet – einen erheblichen Einfluss auf die Artenzusammensetzung besitzen. Erwartet wurden mögliche Veränderungen vor allem auf Magerstandorten, Mooren und in Hochlagen durch eine langfristige Standortveränderung. Befürchtet wurde in diesem Zusammenhang, dass der Feuchtigkeitsgehalt im Boden durch die Beschneigung dauerhaft erhöht werden könnte und damit zur langfristigen Veränderung von Mager- und Trockenvegetation beiträgt (Roux-Fouillet et al. 2011). Andere Arbeiten erwarten, dass die Vegetation auf Gebirgsstandorten vom Schmelzwasser zu Beginn des Frühlings profitieren könne (Bilbrough et al. 2000). Allerdings scheint das von der Höhenlage und der betroffenen Pflanzengemeinschaft abzuhängen. Weiterhin wurde diskutiert, inwieweit hier nicht auch von einem unterschiedlichen Verhalten einzelner Arten auszugehen ist. Rixen et al. (2004) heben diesen Zusammenhang hervor.

Beispiel Kandahar-Abfahrt in Garmisch-Partenkirchen (D) Bei der vegetationskundlichen Untersuchung auf einer ehemals planierten Skipiste mit Beschneigung und intensiver wintersportlicher Nutzung auch für internationale Rennen wurden auf 780–1180 m Höhe Transekte mit Kalkmagerrasen 1988, 1993 und 1996 detailliert betrachtet (Abb. 4.14 und 4.15).

Die Beschneiungsanlage im unteren Teil der Kandahar-Abfahrt wurde 1989 gebaut. Die Strecke von 780–1180 m ü. NN wird seit dem Winter 1989/90 beschneit. Die Piste wurde mit Ausnahme kleiner Randbereiche vollständig durch Planie verändert. Der untere Pistenabschnitt eignet sich sehr gut für die Untersuchung, weil der intensiven Nutzung im Winter eine extensive Pflege im Sommer gegenübersteht. Die Flächen werden nicht gedüngt, im Spätsommer wird gemäht und das Mähgut abgeräumt. Durch den Schotter im Untergrund und die extensive Pflege ist die Piste durch magere Pflanzengemeinschaften gekennzeichnet. Die dominierende Pflanzengemeinschaft auf den waldfreien Standorten der montanen Stufe sind im Skigebiet blütenreiche Goldhaferwiesen, in die Magerrasenflächen eingestreut sind. Oberboden und Pflanzengemeinschaften wiesen zu Beginn der Untersuchungen 1988 deutliche Schäden auf, die ausschließlich dem Wintersport zuzuordnen waren (Pröbstl 1990). Das Wasser für die Beschneigung stammt aus dem Gebiet und ist nährstoffarm.



Abb. 4.14 Ausschnitt aus dem Untersuchungsgebiet an der Kandahar-Abfahrt in Garmisch-Partenkirchen. (U. Pröbstl-Haider)

Der beschneite Bereich wurde insgesamt vegetationskundlich nach Braun-Blanquet aufgenommen, anschließend wurden fünf Transekte quer zur Piste festgelegt und darin 55 Untersuchungsquadranten (Größe 1×1 m) angeordnet und deren Vegetation mithilfe eines Pflanzenzählrahmens (eingeteilt in 10×10 cm große Einzelflächen) detailliert erfasst (Mühlberger 1993).

Die Analyse der Datensätze erfolgte mehrstufig. Den ersten Schritt bildeten traditionelle vegetationskundliche Analyseverfahren (Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4.15). Daran schlossen sich Analysen mithilfe multivarianter Verfahren an. Um Fehler durch ein mögliches Verschieben der einzelnen Dauerquadrate zu vermeiden, wurde aus den Dauerquadraten einer Pflanzengemeinschaft ein Pool gebildet (Zahlen in Abb. 4.15). Anstelle des Direktvergleichs der Entwicklung einzelner Dauerquadrate wurde ein Vergleich auf der Ebene der jeweiligen Vegetationseinheit pro Transekt durchgeführt.

Bei den Dauerquadraten, die aufgrund ihrer Artenzusammensetzung den Kalkmagerrasen zuzuordnen waren, ergab sich keine Entwicklungstendenz hin zu nährstoffreicheren, feuchten oder wechselfeuchten Pflanzengesellschaften. Die artenreichen Magerstandorte blieben auf beiden Transekten erhalten. Die Analyse der Standortbedingungen zeigt anschaulich die Ursache hierfür. Im Bereich der Magerrasen führt das hohe Porenvolumen des Bodens und Untergrundes zu einer relativ hohen Wasserdurchlässigkeit. Durch die Planie steht darüber hinaus nur ein relativ geringmächtiger Oberboden zur Verfügung. Dies hat zur Folge, dass die untersuchten Magerrasen die zusätzlichen Wassermengen, die im Früh-

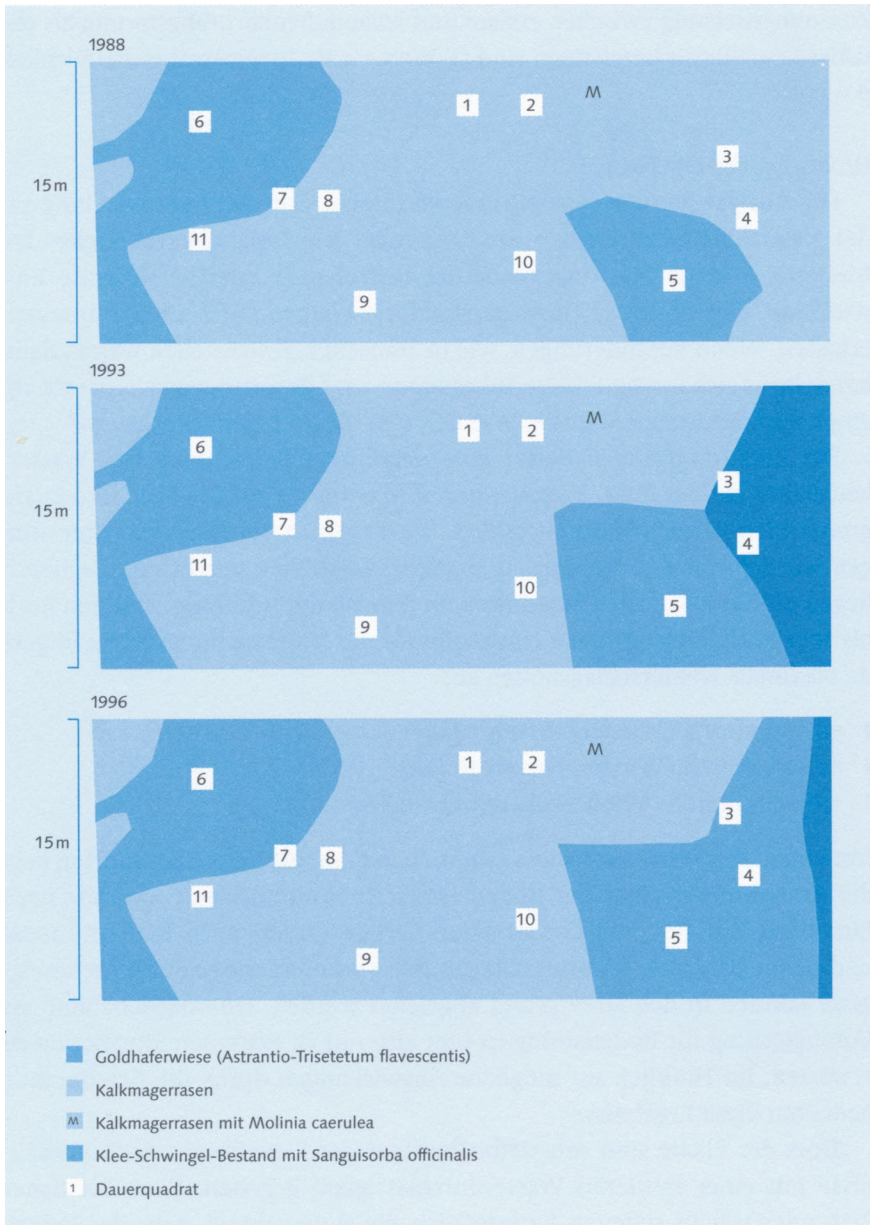


Abb. 4.15 Grafische Darstellung von Transekt 3 in den Aufnahmejahren 1988, 1993 und 1996. Die Kästchen geben die Lage der Dauerquadrate wieder. Veränderungen sind am rechten Pistenrand erkennbar. (Pröbstl 2006)

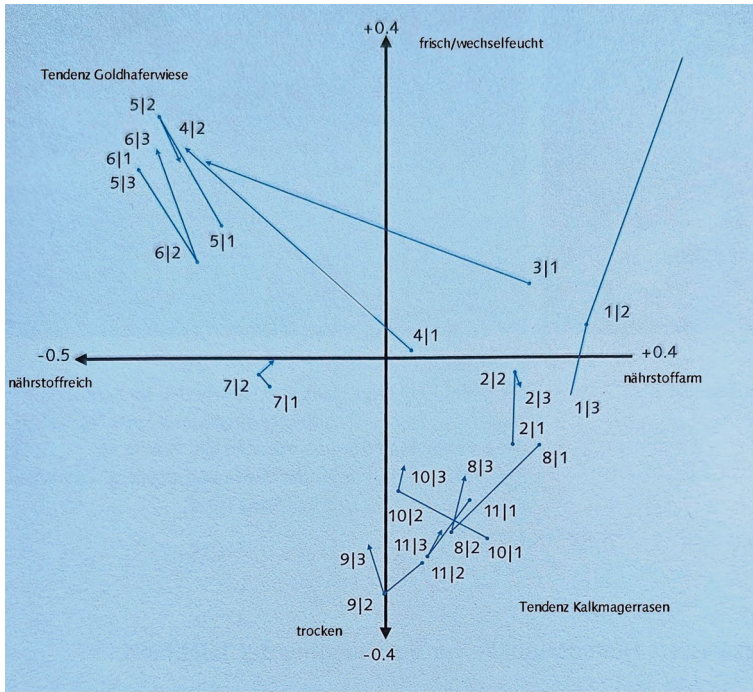


Abb. 4.16 Ergebnisse der Ordination für Transekt 2. Die Länge der Pfeile gibt den Umfang und die Richtung der Änderung an. (TU München in Pröbstl 2006)

jahr zur Verfügung stehen, nicht nutzen können. Längere Trockenperioden im Sommer sind für die beschneiten Flächen daher ebenso stark wirksam wie für unbeschneite Magerrasen. Auch die beschneiten Flächen sind hier dem Trockenstress ausgesetzt.

Die Ergebnisse sind in Abb. 4.16 und 4.17 zu finden. Die meisten Aufnahmen der Dauerquadrate waren denselben Pflanzengesellschaften zuzuordnen.

Knight et al. (1979) und Rixen et al. (2004) berichten von hoch gelegenen Standorten, bei denen trotz Beschneigung ebenfalls eher eine geringere Biomasseproduktion festgestellt wurde.

Beispiel Hochlagenkigegebiete in den Schweizer Alpen (CH) Wipf et al. (2005) untersuchten die Situation in den höheren Lagen in neun Schweizer Skigebieten (1750 und 2550 m ü. NN) auf 17 Pisten. Hier zeigte sich der Einfluss der technischen Beschneigung und des aus dem Wasser verstärkten Nährstoffeintrags darin, dass spätblühende Arten und Arten der Schneetälchen begünstigt wurden. Daher erwarten Wipf et al. (2005) aufgrund der stofflichen Belastung des Beschneigungswassers negative Effekte für Magerstandorte. In diesem Fall bedroht jedoch nicht

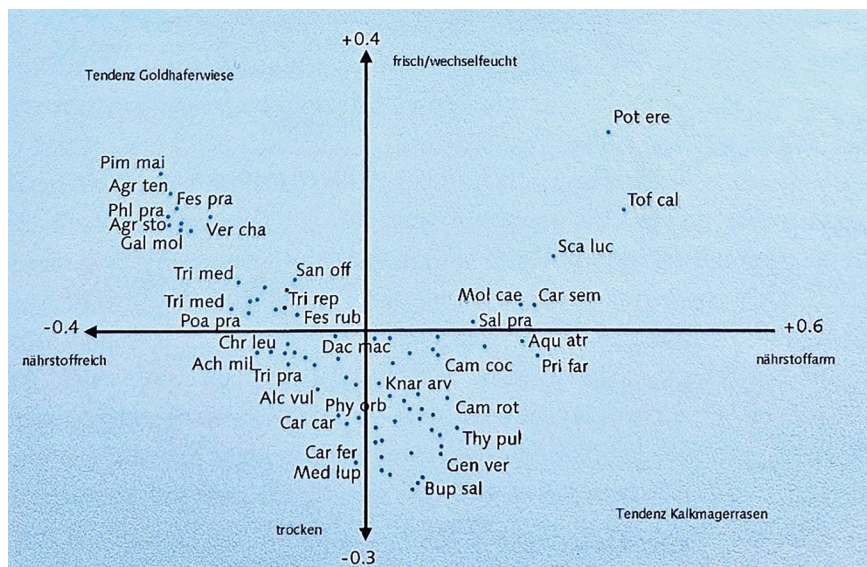


Abb. 4.17 Ergebnisse der Ordination für Transekt 3. Die rechte Hälfte steht für nährstoffarme Verhältnisse. Dies ist im feuchten Bereich an *Tofieldia calyculata* (Tof cal), an *Molina caerulea* (Mol cae) und im trockenem Bereich an *Gentiana verna* (Gen ver) oder *Thymus pulegioides* (Thy pul) gut zu erkennen. Die bisherigen Pflanzengesellschaften und die sie bestimmenden Arten sind auch 5 Jahre nach der Beschneigung erhalten. (TU München in Pröbstl 2006)

die Wassermenge, sondern der Nährstoffeintrag aus dem Wasser die Magerstandorte. Dies zeigte sich unter anderem darin, dass, je länger die Pisten technisch beschneit wurden (2 bis 15 Jahre), die Indikatorwerte für Feuchtigkeit und Nährstoffe desto höher waren (Wipf et al. 2005). Die Folgen davon sind dann langfristig eine geringere Artenvielfalt.

Die Ergebnisse dürfen deshalb nicht auf solche Skigebiete übertragen werden, die höhere rechtliche Auflagen im Hinblick auf die Wasserqualität im Zusammenhang mit der Beschneigung besitzen (Badewasser- oder Trinkwasserqualität), wie etwa in Deutschland, Österreich und Spanien. Sie müssen jedoch als repräsentativ für viele Gebiete in der Schweiz und Gebiete mit nährstoffreicherem Beschneigungswasser gelten.

Beispiel Beschneigung auf geschützten Moorflächen in Sorenberg, Luzern (CH) Neben den Magerrasen wurden auch potenzielle Auswirkungen auf basenarme Moore befürchtet. Bei Untersuchungen (Knaus 2011) in Moorflächen wurden bei den vegetationskundlichen Analysen auch die ökologischen Zeigerwerte nach Landolt (1977) berechnet, um zu erkennen, ob sich die Pflanzengemeinschaft auf den Moorflächen verändert hat. Dabei sollte eine Auswertung der Feuchtzahl darstellen, ob sich die Pflanzengemeinschaft hin zu mehr Bodenfeuchte anzeigende Arten verschiebt. Eine Abnahme des Wertes würde auf eine Ver-

schlechterung hinweisen. Die Auswertungen ergaben für alle Flächen zwischen 2002 und 2009 jedoch keine signifikante Veränderung. Kleinräumig wurden moorfördernde Zustände festgestellt (Knaus 2011).

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Als Folge der zusätzlich aufgebrauchten Wassermenge können Erosionserscheinungen, insbesondere Abschwemmen von Feinerde, und langfristige Standortveränderungen (z. B. Vernässung) für die Pflanzengemeinschaften ausgelöst werden. Im Extrem wird auch die Gefahr von großen Rutschungen befürchtet. In der Regel bestehen diese Gefahren aber nur, wenn eine Reihe ungünstiger Rahmenbedingungen zusammentreffen. Die zusätzliche Wassermenge stellt danach nur dann ein Problem dar, wenn die Standortverhältnisse auf der Piste bereits Störungen aufweisen. Diese Störungen können darin bestehen, dass

- der Bereich vollplaniert und damit das Porenvolumen so verändert wurde, dass das Wasser nicht rasch genug in tieferliegenden Schichten abgeführt werden kann,
- die bestehenden Wasserausleitungen auf der Piste nicht oder nicht in ausreichendem Maße funktionsfähig sind und so die zusätzlichen Wassermengen nicht aufnehmen können,
- das oberflächlich abfließende Wasser an wenigen Stellen zusammenfließt,
- die Vegetation einen Deckungsgrad von weniger als 50 % aufweist,
- Bodenwunden durch den Wintersport oder andere Nutzungen (z. B. Sommertourismus oder Almwirtschaft) Ansatzpunkte für die Erosion bieten oder
- der Standort natürlich oder nutzungsbedingt ein stark verdichtetes oder verkürztes Bodenprofil aufweist.

Probleme können aber auch durch labile geologische Untergrundverhältnisse und durch wasserstauende Schichten verursacht werden. Im Einzelfall können in labilen Lagen gesonderte geologische Gutachten oder Infiltrationsmessungen bei der Bestandsaufnahme zur Vermeidung späterer Erosionsschäden notwendig werden.

Von einer Veränderung der Pflanzengemeinschaften auf trockenen, mageren Standorten muss dann nicht ausgegangen werden, wenn sich an den Verhältnissen im Sommer mit Trockenstress nichts ändert und das Wasser für die Beschneigung nährstoffarm ist. Eine Artenverschiebung in Mooren konnte dann, wenn das Beschneigungswasser frei von Nährstoffen ist bzw. keine abweichenden pH-Wert besitzt, nicht festgestellt werden. Die zusätzliche Wassermenge könnte im Hinblick auf künftig abnehmenden Niederschlag sogar förderlich sein.

4.2.6 Zusammenfassung der Auswirkungen auf die Vegetation

In den vorhergehenden Abschnitten wurden viele auf den ersten Blick sich widersprechende Ergebnisse aus Fallstudien präsentiert, und es stellt sich die Frage, ob und wie die Ergebnisse zueinander passen.

Abb. 4.18 hilft, die zu beachtenden Einflussfaktoren nachzuvollziehen, die jeder einzelnen Fallstudie zugrunde lagen und die ermittelten Ergebnisse beeinflussten, die sich eigentlich nur mit Einflussfaktor 5, der Beschneigung, befassen wollten. Grundlegend wird die Situation auf den Skipisten durch die ursprüngliche Vegetation beeinflusst. Diese spiegelt die standörtlichen Bedingungen einschließlich Hangneigung und Exposition, aber auch den möglichen Einfluss von Nutzungen oder vorangegangenen Baumaßnahmen. Skipisten wurden aus Offenlandlebensräumen, aber aus Wald entwickelt. Umso größer die Standortveränderung und die Veränderung der Vegetationsdecke zu Beginn waren, je kürzer sie zurückliegen, desto stärker sind Vegetationsanalysen auch Jahrzehnte später noch davon beeinflusst (Meijer zu Schlochtern et al. 2014).

Oftmals spiegelt sich in Vegetationsveränderungen (Abb. 4.19) bei starkem Einfluss der Planie der Beginn einer Renaturierung zu standortgerechten Pflanzengesellschaften aus der Einsaatmischung durch Einwanderung (Pröbstl 1994).



Abb. 4.18 Einflussfaktoren auf Vegetation einer beschneiten Skipiste. (U. Pröbstl-Haider)

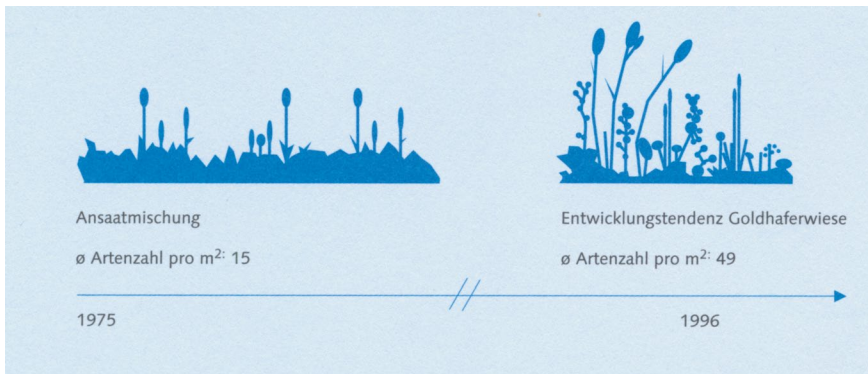


Abb. 4.19 Bei Skipisten der mittleren und tiefen Lagen dauern Renaturierungen nach einer Planie (hier z. B. 1975) unter günstigen Voraussetzungen mindestens 15 bis 20 Jahre. (Gemessene Veränderungen, z. B. 1996, verdeutlichen oft den Entwicklungsprozess der Pflanzengemeinschaft, aber nicht unbedingt den Einfluss der Beschneigung.)

Wenig beachtet, aber von hohem Einfluss auf die Pflanzengemeinschaft auf der Piste, ist die Intensität der Sommernutzung. Insbesondere Düngung, die mechanische Belastung durch Beweidung oder Sommertourismus und die Bewirtschaftung (z. B. Mulchen, Heumahd, Beweidung) haben entscheidenden Einfluss auf die Artenvielfalt auf der Piste. So können bei geringem Nutzungseinfluss im Sommer unabhängig vom Winterbetrieb sehr naturnahe Pflanzengemeinschaften von hoher Biodiversität angetroffen werden (Wittmann et al. 2019).

Auch Steinbauer et al. (2018) heben im Zusammenhang mit Veränderungen der Vegetation durch den Wintersport die Bedeutung der Landnutzung, insbesondere in alpinen Landschaften, hervor, die von ungedüngten, zweimal gemähten Mähwiesen oder Weiden bis zu intensiv genutztem Grünland mit Düngung und Beweidung reichen.

Fasst man die Faktoren 1, 2 und 3 in Abb. 4.18 zusammen, dann kann auf der Bergwiese oder der planierten Piste auf ehemaligem Waldbestand eine Beweidung und Wanderbetrieb stattfinden, zu dem dann die Faktoren 4 und 5 im Winter hinzukommen.

Je nach Topografie, Ausrichtung, Höhenlage und Steilheit der Piste ist der Aufwand für die Präparation und die damit verbundene mögliche mechanische Belastung im Winter unterschiedlich groß. Auf flachen, leicht geneigten Pisten ist der Einfluss geringer als in Steillagen. Auch die Intensität der Belastung, z. B. für den Rennsport bzw. internationale Wettkämpfe, spielt dabei eine Rolle. Insbesondere bei Nutzung für den Leistungssport kommen weitere meist düngend wirkende

Stoffeinträge zur Stabilisierung der Schneedecke hinzu, die im folgenden Sommer Auswirkungen auf die Pflanzengemeinschaft haben.⁶

Als letztes Bündel an Einflussfaktoren kommen diejenigen aus der Beschneigung hinzu, die – wie dargestellt – aus vermehrtem Wassereintrag, einer verlängerten Schneebedeckungszeit oder zusätzlichem Nährstoffeintrag bestehen könnten.

Wenn man nun die Pflanzengemeinschaft über kurze Zeiträume untersucht und die Faktoren 1 bis 4 nicht detailliert kennt, dann bleiben die Aussagen oft unklar, wie etwa:

- Resultiert die festgestellte Zunahme von nährstoffliebenden Pflanzenarten aus der Beschneigung, dem Rennsport oder der Festmistdüngung durch die Landwirtschaft?
- Ist die festgestellte Veränderung der Vegetation auf den Einfluss der Beschneigung zurückzuführen, oder handelt es sich um einen Renaturierungsprozess auf der planierten Piste durch Einwanderung standortgerechter Arten, die die angesäten Arten ersetzen?
- Inwieweit ist die geschlossene stabile Pflanzengemeinschaft auf den Schutz durch Beschneigung zurückzuführen, oder ist sie nicht vielmehr ein Ergebnis der neu eingeführten Schneemessung?

Weitere Hinweise auf die vielfältigen Interaktionen sind Meijer zu Schlochtern et al. (2014), Knaus (2011) und Pröbstl (1994) zu entnehmen. Der dargestellte Überblick zu Forschungsergebnissen zeigt, dass der „Vorgeschichte“, also den Faktoren 1 bis 4, zunehmend mehr Aufmerksamkeit in der Forschung geschenkt wurde und diese Aspekte stärker in die Analyse miteinbezogen wurden. In aktuellen Forschungsprojekten wird zu den genannten Einflussfaktoren noch der Klimawandel als zusätzlicher Faktor diskutiert, wonach die technische Beschneigung negative Effekte des Klimawandels teilweise kompensieren könnte (Knaus 2011; Meijer zu Schlochtern et al. 2014; Rixen et al. 2011; Evette et al. 2011).

Eine weitere mögliche, jedoch deutlich untergeordnete Ursache für unterschiedliche Interpretationen kann auch im methodischen Bereich liegen. Im Mittelpunkt vieler Studien stand der Vergleich der Zeigerwerte. Bei diversen Anwendungen zeigten sich dabei Schwierigkeiten. Dies liegt zum einen daran, dass auf einer Skipiste ein starker mechanischer Einfluss besteht. Dieser begünstigt konkurrenzschwache, lichtbedürftige Arten, aber auch Rohbodenbesiedler. Das bedeutet, dass die Annahme des ökologischen Optimums, das hinter den Zeiger-

⁶Bei den stabilisierenden Stoffen, auch als Schneezement bezeichnet, handelt sich in der Regel um Düngemittel, die auch in der Landwirtschaft Verwendung finden (z. B. Natrium-, Calcium-, Kalium- und Ammoniumverbindungen). Diese Düngemittel entziehen der Schneedecke Feuchtigkeit und somit Energie, sodass die Schneedecke oberflächlich auskühlen und leichter gefrieren kann. Dadurch wird die Schneedecke für ca. 24 h – auch bei Temperaturen über 0 °C – verfestigt und noch befahrbar.

werten steht, auf Pistenflächen grundsätzlich hinterfragt werden muss. Auf diesen Zusammenhang weist auch Knaus (2011) bei Untersuchungen von Skigebieten in der Schweiz hin. Der Autor stellt heraus, dass die Präparation unter anderem Einfluss auf die Lichtzahl hat. Zum anderen beruhen die Zeigerwerte auf allgemeinen Erfahrungen und Verbreitungstrends und müssen daher immer wieder präzisiert werden. So kann bereits die Verwendung aktualisierter Zeigerwerte zu theoretischen Abweichungen führen. Darüber hinaus wird seit Langem auch die zu tolerierende Fehlergrenze bei Vegetationsvergleichen kritisch diskutiert (Hagen 1993).

4.2.7 Ableitung des ökologischen Risikos für Vegetation und Boden

Aus den Ergebnissen der dargestellten Forschungsarbeiten leiten sich die nachstehend dargestellten Wirkprognosen und Risiken für die Schutzgüter Vegetation und Boden in Tab. 4.5 und 4.6 ab.

Tab. 4.5 Wirkprognose und Risikoabschätzung betriebs- und anlagebedingter Folgen für das Schutzgut Vegetation abgeleitet aus Eintrittswahrscheinlichkeit (A=hohe Wahrscheinlichkeit, B=mittlere Wahrscheinlichkeit, C=geringe Wahrscheinlichkeit) und Schadensintensität (I=hohe Intensität, II=mittlere Intensität, III=geringe Intensität; zur Ableitung des Risikos vgl. Tab. 4.1)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Vegetation Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Erhöhte Schneeauflage	Mechanische Belastung der Vegetation durch den Skibetrieb	B	III	Gering
	Schäden durch Frosteinwirkung bei hoher Schneeauflage durch technische Beschneigung	C	III	Gering
	Schäden durch Frosteinwirkungen bei geringer Schneeauflage durch technische Beschneigung	A	III	Mittel

(Fortsetzung)

Tab. 4.5 (Fortsetzung)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Vegetation Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Verlängerung der Schneebedeckung	Ertragsverluste auf landwirtschaftlich genutzten Flächen bis 1600 m	C	II	Gering
	Beeinträchtigung frühblühender Arten über 1600 m	C	III	Gering
	Ertragsverluste auf landwirtschaftlichen Flächen über 1600 m	B	II	Mittel
	Verschiebung des Artenspektrums und dauerhafte Veränderung der Pflanzengemeinschaft			
	Bis 1600 m bei Rücksichtnahme durch Landnutzung (wie räumlich oder zeitliche Anpassung der Mahd bzw. Beweidung)	C	III	Gering
	Bis 1600 m bei unveränderter Landnutzung	B	III	Gering
	Über 1600 m	A oder B	II	Mittel bis hoch

(Fortsetzung)

Tab. 4.5 (Fortsetzung)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Vegetation Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Zusätzliche Wassermenge	Lokale Vernässungen und dauerhafte Veränderung der Pflanzengemeinschaft			
	Bei intaktem System an Wasserausleitung oder hohem Infiltrationsvermögen	C	II	Gering
	Bei beeinträchtigtem Bodengefüge und Standorten mit stark verdichteten und verkürzten Profilen (z. B. auch durch langjährige Beweidung) und wasserstauendem Untergrund	B	II	Mittel
	Verschiebung des Artenspektrums auf Magerstandorten	C	II	Gering
Stoffeintrag aus dem Wasser	Veränderung der Pflanzengemeinschaften und des Standortes			
	Bei geringer Nährstofffracht	C	II	Gering
	Bei Nährstoffzufuhr, je nach Belastung	A oder B	I	Hoch
Erhöhte Schneedichte und verstärkte Neigung zur Vereisung	Schädigung von Pflanzen bzw. Pflanzenteilen durch Fäulnis- und Schimmelbildung, Frosteinwirkung bei Sauerstoffmangel oder veränderter thermischer Isolation	B	II	Mittel
Bauliche Einrichtungen	Dauerhafte Versiegelung für Einrichtungen, Verlust von Vegetation	A	III	Gering

(Fortsetzung)

Tab. 4.5 (Fortsetzung)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Vegetation Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Wasserentnahme aus Fließ- und Stillgewässern	Beeinträchtigung der Ufer- und Gewässervegetation			
	Bei Entnahme aus natürlichen Gewässern	A	III	Hoch
	Bei Entnahme aus naturfernen Speicherseen	C	I	Gering

Tab. 4.6 Wirkprognose und Risikoabschätzung betriebs- und anlagebedingter Folgen für das Schutzgut Boden abgeleitet aus Eintrittswahrscheinlichkeit (A=hohe Wahrscheinlichkeit, B=mittlere Wahrscheinlichkeit, C=geringe Wahrscheinlichkeit) und Schadensintensität (I=hohe Intensität, II=mittlere Intensität, III=geringe Intensität; zur Ableitung des Risikos vgl. Tab. 4.1)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Boden Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Erhöhte Schneeauflage	Mechanische Belastung durch der Bodenfauna den Skibetrieb	B	III	Gering
	Veränderung durch Frosteinwirkung bei hoher Schneeauflage durch Beschneigung	C	III	Gering
	Veränderung durch Frosteinwirkungen bei geringer Schneeauflage durch Beschneigung	B	III	Mittel
Verlängerung der Schneebedeckung	Verzögerte Erwärmung der oberen Bodenschichten bis 1600 m	C	III	Gering
	Verzögerte Erwärmung der oberen Bodenschichten über 1600 m	B	III	Gering

(Fortsetzung)

Tab. 4.6 (Fortsetzung)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Boden Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Zusätzliche Wassermenge	Abschwemmung von Feinerde			
	Bei vollplanierten Standorten und Standorten mit stark verdichteten und verkürzten Profilen (z. B. auch durch langjährige Beweidung)	A	I	Hoch
	Bei Bodenwunden bzw. geringem Deckungsgrad	A	I	Hoch
	Bei unveränderten Standorten mit geschlossener Pflanzendecke	C	II	Gering
	Lokale Vernässungen und dauerhafte Veränderung der Pflanzengemeinschaft			
	Bei intaktem System an Wasserausleitung oder hohem Infiltrationsvermögen	C	II	Gering
	Bei beeinträchtigtem Bodengefüge und Standorten mit stark verdichteten und verkürzten Profilen (z. B. auch durch langjährige Beweidung) und wasserstauendem Untergrund	A	I	Hoch
Stoffeintrag aus dem Wasser	Veränderung des Nährstoffverhältnisses im Boden			
	Bei geringer Nährstofffracht	C	II	Gering
	Bei hoher Nährstoffzufuhr	A oder B	I	Hoch
Bauliche Einrichtungen	Dauerhafte Versiegelung für Einrichtungen, Verlust von belebtem Oberboden	A	III	Mittel

4.2.8 Mögliche baubedingte Auswirkungen auf Vegetation und Boden

Durch den Bau der Wasserentnahmeverrichtung, das Verlegen der Rohrleitungen für Wasser, Luft (nur bei Hochdrucksystem) und Strom, der Betriebsgebäude, der Zapfstellen und sonstiger Anlagenteile ist auf Teilflächen Folgendes zu erwarten:

- Verlust der Vegetationsdecke (Verlust von Vegetation, Gebüsch- oder Waldbereichen)
- Störung des Bodenprofils
- Bodenverdichtung durch Baumaschinen
- Mechanische Beschädigung von Einzelbäumen im Wurzel- und Stammbereich

Zu den möglichen Folgen der oben genannten Eingriffe können dann ein verstärkter Oberflächenabfluss des Niederschlagswassers aufgrund der unzureichenden Vegetationsdecke sowie des gestörten bzw. verdichteten Bodenprofils und als Folge davon eine erhöhte Erosionsgefahr hinzukommen.

Für einen wirksamen Erosionsschutz müssen mindestens 70 % Deckung bei der Vegetation gegeben sein. Ob und wann diese erreicht werden kann, hängt von vielen Faktoren ab, die hier nur kurz skizziert werden können:

- der Länge der Vegetationszeit in Abhängigkeit von der Höhenlage, dem Temperaturverlauf und der Dauer der Schneebedeckung,
- den ursprünglichen Pflanzengemeinschaften und den Einwanderungspotenzialen der angrenzenden Gesellschaften sowie
- den standörtlichen Gegebenheiten, insbesondere der Oberbodenmächtigkeit und dem Wasserhaushalt.

Neben den natürlichen Standortverhältnissen entscheidet auch die Art der Wiederbegrünung darüber, wie rasch der für den Erosionsschutz erforderliche Deckungsgrad erreicht wird (Pröbstl 1990; Pröbstl et al. 1998).

Ein weiteres Problem wird in der möglichen Florenveränderung durch die Ansaatmischung gesehen. Durch die Wiederbegrünung kann sich das Artengefüge auch in den angrenzenden Flächen verschieben. Die Vegetationsaufnahmen auf der Kandahar-Abfahrt in Garmisch-Partenkirchen zeigten, dass sich die angesäten Arten nur in Pistenbereichen mit einem günstigen Bodenwasserhaushalt halten konnten. Auf Magerstandorten konnten sich die ausgesäten Arten nicht halten, dort fand eine Einwanderung standortgerechter Arten der Magerrasen aus der Umgebung statt. Allerdings werden die Zeiträume, die für eine Renaturierung auch unter idealen Bedingungen benötigt werden, unterschätzt.

Während in Lagen bis 1400 m die Renaturierung – wenn Einwanderungsoptionen vom Rand her bestehen – über 15 Jahre andauern, benötigen Renaturierungsprozesse in Hochlagen Zeiträume von 30 bis 50 Jahren unter guten Bedingungen. In Hochlagen über 2200 m ergibt sich zudem vielfach die Schwierigkeit, dass diese Standorte dauerhaft gedüngt werden müssen, um den

Deckungsgrad der ausgesäten, zumeist standortfremden Arten für den Erosionsschutz möglichst hochzuhalten. Damit ist eine Einwanderung standortgerechter Arten zumeist ausgeschlossen. Erst durch die Verfügbarkeit von alpinem Saatgut haben sich die Chancen zur Renaturierung verbessert (Krautzer 2007).

Insgesamt kann auch die Nutzung die Renaturierung der veränderten Bereiche beeinflussen bzw. behindern. Dies gilt z. B. bei früher Mahd oder Beweidung in angesäten Bereichen oder bei hoher Bodendurchfeuchtung.

Indirekte Folgen auf Boden und Vegetation sind dann zu erwarten, wenn die Baumaßnahmen in labilem Gelände durchgeführt werden. Dies trifft beispielsweise zu, wenn Vernässung und natürliche Abflussrinnen durch die Rohrleitungen gequert werden.

Weiterhin ist in labilem Gelände zu prüfen, ob aktuelle Rutschungen vorliegen oder ob die Lagerung des geologischen Untergrundes z. B. durch Durchführung von Grabarbeiten am Hangfuß destabilisiert werden kann (Abb. 4.20). Hier genügen – wie zahlreiche Beispiele belegen – geringfügige Eingriffe, um umfang-

Abb. 4.20 Beispiel für eine Destabilisierung nach einer Baumaßnahme und die Folgen nach einem Starkregenereignis bei fehlenden Wasserausleitungen. Abgang einer Mure auf einem ehemaligen Kabelgraben für eine Abwasserleitung in sensiblen geologischem Untergrund (Skigebiet Wendelstein). (U. Pröbstl-Haider)



reiche Hangrutsche und Murenabgänge auszulösen. Zu beachten ist weiterhin, dass die Kabelgräben je nach Ausbildung und Art der Verfüllung eine Drainagewirkung haben können. Im Graben zusammenfließendes Wasser kann dann Erosionen größeren Ausmaßes und Rutschungen bewirken. Durch die Veränderung des kleinräumlichen Wasserabflusses können an anderer Stelle Wasseraustritte, Vernässungen und Rutschungen verursacht werden. Dies kann auch Leitungen beschädigen.

4.3 Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

Für die Beschneigung wird sehr viel Wasser in einer zumeist eher niederschlagsarmen Zeit benötigt. Daher wird, auch unter dem Einfluss des Klimawandels, die Wasserverfügbarkeit zunehmend kritisch diskutiert.

Für die Alpennordseite und den zentralalpinen Raum zeigte sich, dass seit den 1980er-Jahren die Niederschlagsmenge tendenziell zugenommen hat. Bei den mittleren jahreszeitlichen Niederschlagsmengen zeigt sich eine Tendenz zur Verschiebung vom Sommer in Richtung Winter, wobei hier noch eine relativ große Modellunsicherheit besteht und einzelne Simulationen von diesem generellen Muster abweichen können. Ein größerer Teil des Niederschlags wird unter Einfluss des Klimawandels zukünftig als Regen direkt zum Abfluss kommen. Weiterhin ist die Schneedeckenperiode kürzer, wodurch sich die Durchflüsse im Winterhalbjahr, in denen die Niederwässer auftreten, erhöhen. Insgesamt wird auch wegen des Rückgangs der Gletscher im alpinen Raum mit einer Erhöhung der Winterabflüsse gerechnet. Dies zeigt sich bereits an Zunahmen der Niedrigwasserabflüsse vor allem in tieferen Lagen. In Klimawandelszenarien wird davon ausgegangen, dass die Niederschläge in hoch gelegenen Gebieten, insbesondere im Spätwinter, um 20 % zunehmen werden (Blöschl et al. 2018).

Die Niederschlagsmengen unterscheiden sich zwischen dem nördlichen und südlichen Teil der Alpen. So liegen die Niederschlagsmengen nördlich des Alpennordrands bei rund 2500 mm, auf der Alpensüdseite bei rund 700 mm und weiter im Süden, etwa in der Region Monte Grappa, Bassano, bei rund 1100 mm. Dies hat auch Auswirkungen auf das für die Beschneigung zur Verfügung stehende Wasser und die Beachtung divergierender Ansprüche wie Trinkwasser, Energie oder landwirtschaftliche Bewässerung. Je nach Lage und geologischem Untergrund kann damit auch eine Diskussion um die Ressource Wasser verbunden sein.

Für die Planung und Bewertung von Beschneigungsanlagen bedeutet dies, dass geeignetes Wasser (Kap. 3) in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung stehen muss. Dabei ist auch zu beachten, dass die Gewährleistung des derzeitigen und künftigen Trinkwasserbedarfs aus Grund- und Quellwasser Vorrang haben sollte gegenüber einer Wasserentnahme für Beschneigungsanlagen. Die Verwendung von Wasser aus Trinkwasserversorgungsanlagen ist vor den sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen zu überprüfen. Entnahme und Beschneigung in Quellgebieten und deren Einzugsgebieten sind im Einzelfall dementsprechend zu analysieren.

Grundsätzlich sind in Europa auch die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie zu beachten, wenn Wasser aus naturnahen Oberflächengewässern entnommen wird bzw. bauliche Maßnahmen erforderlich sind, um eine Wasserentnahme zu ermöglichen. Ziel der Richtlinie ist es, dass insgesamt der gute ökologische Zustand des Gewässers erhalten bleibt oder bei einem bereits erheblich veränderten Gewässer wiederhergestellt werden kann (gutes ökologisches Potenzial). Verschlechterungen sind nicht zulässig.

Im Zusammenhang mit den erwarteten Folgen des Klimawandels mit kleinräumigen Starkregenereignissen kommt allgemein der Beachtung des Hochwasserabflussvermögens des Gewässers, insbesondere mit Blick auf mögliche Einbauten und der Evaluierung von natürlichen Retentionsräumen, eine besondere Bedeutung zu. Auch das Risikomanagement von Speicherseen ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

Neben den Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel bzw. der Berücksichtigung möglicher Folgeeffekte müssen, wie bereits eingangs dargestellt, auch weitere Nutzungen des Wassers und mögliche Einschränkungen daraus berücksichtigt werden. Hierzu zählen die Beachtung bestehender Wasserbenutzungsrechte, vor allem zur Restwasserführung bzw. Pflichtwasserabgabe, bewilligungsfreie Wassernutzungen sowie Lage und Inhalte von Schutz- und Schongebieten. Dabei sind auch Summeneffekte zu ermitteln.

Im Hinblick auf das Schutzgut Wasser sind vier Themenfelder zu untersuchen:

1. Welche Gewässerökosysteme sind durch die Wasserentnahme betroffen?
2. Welche möglichen Auswirkungen entstehen durch das Aufbringen der zusätzlichen Wassermenge bezogen auf den Wasserhaushalt?
3. Welche neuen Risiken können durch Speicherseen entstehen?
4. Welche Auswirkungen können durch Stoffeintrag entstehen?

Die möglichen Effekte und Folgewirkungen werden zunächst allgemein auf der Grundlage der hierzu vorliegenden Literatur beschrieben und mithilfe von Fallbeispielen aus der Praxis erläutert. Zum Schluss werden mögliche baubedingte Auswirkungen und Hinweise für die Planung sowie Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung möglicher Belastungen abgeleitet.

4.3.1 Auswirkungen auf Gewässerökosysteme durch Wasserentnahme

Bislang wurden bei der Wasserentnahme für die Beschneidung in der Regel folgende Wasserressourcen genutzt:

- Grundwasser (z. B. Skigebiet Unternberg/Ruhpolding, D)
- Trinkwasser (z. B. anteilig im Skigebiet Snow Space Salzburg, A)
- Flusswasser (z. B. Kolbenabfahrt, Oberammergau, D)
- Quellwasser (z. B. Kandahar-Abfahrt/Garmisch-Partenkirchen, D)

- Kleine Fließgewässer mit Aufstauung als See oder Speicherung (z. B. Jenner/Berchtesgaden, D)
- Gesondert angelegte künstliche Speicherseen (z. B. Skigebiet Sudelfeld, D)
- Natürliche Seen (z. B. Zell am See, A)

Als Richtwert für die bei der Beschneigung benötigten Wassermengen setzt man für die flächige Grundbeschneigung pro Quadratmeter 20–35 cm technischer Schnee an, wofür 70–120 l Wasser pro Quadratmeter benötigt werden. Im Laufe der Saison erhöht sich der Bedarf für die Ausbesserungsbeschneigung um 50–120 % dieser Menge. Nach den Erfahrungen aus der Praxis liegen diese Richtwerte eher an der unteren Grenze.

Setzt man die natürlichen Niederschlagsmengen im Voralpenraum als Vergleichsgröße ein, dann bedeutet dies, dass die maximal aufgebrauchte Menge an technischem Schnee etwa 55 % der Winterniederschlagsmenge (im Monat Oktober bis März) entspricht und damit den Winterniederschlag auf der Piste um mehr als die Hälfte erhöht (Bayerisches Geologisches Landesamt 1997; Pröbstl 2006).

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die Wasserentnahme nicht gleichmäßig über den Winter erfolgt. Für die Grundbeschneigung werden in der Regel in den Monaten November und Dezember höhere Wassermengen entnommen, während für die Ausbesserungsbeschneigung nur noch kurzzeitig geringere Mengen benötigt werden. Nachdem, wie in Abschn. 2.1 dargestellt, die Zeiten in denen eine Beschneigung durchgeführt werden kann, in den letzten Jahrzehnten erheblich abgenommen haben, mussten die Unternehmen die benötigten Zeiten für die Beschneigung reduzieren. Dies wurde einerseits durch eine Erhöhung der technischen Kapazitäten und des rasch verfügbaren Wassers, z. B. durch Speicherseen, gewährleistet. Die meisten Skigebiete wollen in 48–72 h die wichtigsten Pistenflächen beschneit haben. Abb. 4.21 von 1995 zeigt, dass die Zeiträume mit der höchsten Entnahmemenge im Frühwinter liegen. Später erfolgten auch nur wenige Ausbesserungsbeschneigungen. Dabei kommt es – nach unseren Erfahrungen – damals durchaus vor, dass im Februar und März keine oder nur geringe Nachbeschneigungen nötig sind.

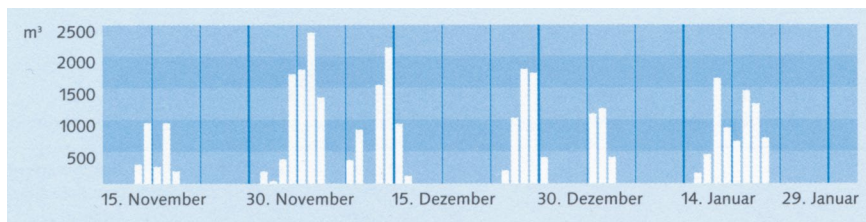


Abb. 4.21 Der Wasserverbrauch erreichte früher nur im November und Dezember zur Grundbeschneigung Spitzenwerte, die später nicht mehr erreicht werden. (Auswertung des Betriebstagebuches 1995/1996 mit freundlicher Erlaubnis des Sportamtes Garmisch-Partenkirchen, 1997)

Demgegenüber zeigen die Angaben aus aktuellen Betriebstagebüchern, dass die Beschneigungszeiträume heute deutlich komprimierter erfolgen. Es wird weiterhin deutlich, dass dies auch eine Folge des Klimawandels ist. Dieser führt dazu, dass im Spätwinter keine Beschneigung mehr erforderlich ist, da eher mit „spätem Naturschnee“ zu rechnen ist.

Um die potenziellen Auswirkungen auf Gewässer erfassen zu können, müssen daher nicht nur die Wassermenge, sondern auch die Entnahmezeiträume und die Entnahmespitzen gesondert betrachtet werden. Hierzu muss eine detaillierte Berechnung erfolgen. Für die Ermittlung der maximalen Werte pro Zeiteinheit spielt die Zahl der eingesetzten Schneeerzeuger, aber auch die Temperatur eine entscheidende Rolle. Je kälter die Außentemperaturen und je günstiger die Witterungsbedingungen zum Zeitpunkt der Beschneigung sind, desto mehr Wasser (l/s) wird benötigt. Den Daten bei einer maximalen Entnahme sind die Daten zum Abfluss des Gewässers, der Quellschüttung bzw. der gegebenen Wassermenge im entscheidenden Zeitraum zwischen November und März gegenüberzustellen. Für größere Fließgewässer liegen meist Pegelmessungen vor. Bei kleineren Gewässern sind hierfür eigene Messreihen aufzubauen.

Abb. 4.22 zeigt das Modell für eine Wasserentnahme aus dem Hammersbach bei Garmisch-Partenkirchen. In diesem Beispiel wird maximal ein Anteil von 10 % des Abflusses für die Beschneigung verwendet. Dies kann in den meisten Fällen als Richtgröße und Anhaltswert für eine ökologisch verträgliche Wasserentnahme aus einem Fließgewässer gelten. Basis für die Ableitung der 10 % sind der Wert für das mittlere Niedrigwasser (MNQ, Mittel aller niedrigsten Abflüsse/Jahr für mehrere Jahre) und die Entnahme bei Betrieb aller Schneeerzeuger unter optimalen Voraussetzungen.

In der Schweiz sieht der Gewässerschutz vor, dass zusammen mit anderen Entnahmen einem Fließgewässer höchstens 20 % an Abflussmenge Q₃₄₇ (gemittelte Abflussmenge, die über 10 Jahre durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird) und nicht mehr als 1000 l/s entnommen werden dürfen (Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft 1991). Eine Studie der französischen Fachbehörden für Wasserwirtschaft Rhône-Méditerranée und Korsika ergab, dass ca. zwei Drittel des Wassers, das für die Beschneigung verwendet wird, weniger als 10 % des jährlichen Mindestabflusses in Anspruch nehmen (Evette et al. 2011). Aus ökologischer Sicht und im Hinblick auf die oben genannten Richtwerte ist das Ergebnis, dass rund ein Drittel der untersuchten französischen Beschneigungsanlagen höhere Anteile verwendet, jedoch bedenklich.

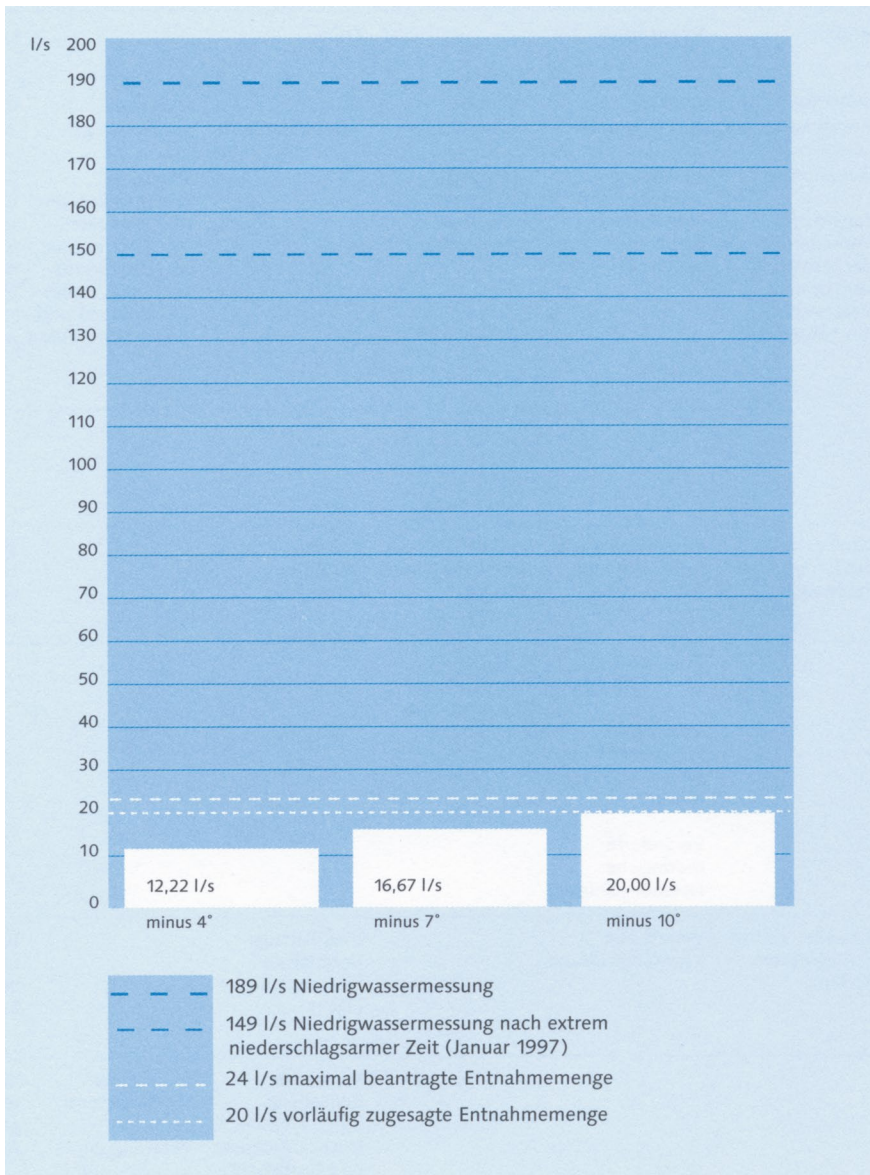


Abb. 4.22 Modell für die Wasserentnahme aus dem Hammersbach für die Beschneigung der Olympiaabfahrt in Garmisch-Partenkirchen. (Pröbstl 1997)

Folge- und Wechselwirkungen der Entnahme

Bei der Beurteilung müssen auch indirekte Auswirkungen und Wechselwirkungen (Tab. 4.7) beachtet werden. Dazu zählen insbesondere:

- Die ökologischen Wechselwirkungen im Gewässer selbst und in dessen Umfeld (zu prüfen ist auch die potenzielle Eignung eines neuen Gewässers, z. B. eines Speichersees, als Lebensraum und dessen Folgewirkung für die Fauna der Umgebung)
- Die Nutzung für die Fischerei
- Die wirtschaftliche Nutzung (z. B. für die Energiegewinnung)
- Die Bedeutung im Rahmen der Trinkwassergewinnung (z. B. Wechselwirkungen mit anderen Quellen oder Brunnen) bzw. die Folgen für die Trinkwassergewinnung
- Die Nutzung als Vorflut für Abwässer
- Die Nutzung für die Erholung und potenzielle Auswirkungen auf das Landschaftsbild

Bei der Entnahme aus einem Fließgewässer kann eine Reihe negativer Effekte entstehen. Im ungünstigsten Fall könnte durch die Wasserentnahme der Wasserstand so stark reduziert werden, dass die Gewässerbiologie gestört bzw. das Gewässer die Eignung als Lebensraum für bestimmte Arten verliert. Dies gilt vor allem im Ober- und Mittellauf von Fließgewässern im Berggebiet. Für diese Fließgewässer ist der Gewässergrund ein ökologisch besonders bedeutsamer Teilbereich. In diesem Lebensraum sind die bodennahen Strömungsmuster der bestimmende Faktor. Sie prägen die Struktur und Funktion der am Gewässergrund lebenden Organismen, deren Vorkommen und Verteilung wiederum in hohem Maß den natürlichen Fischbestand bestimmen. Werden bei einem Fließgewässer durch Wasserentnahme die sohlennahen Strömungsverhältnisse nachhaltig verändert, hat dies daher Konsequenzen für die Biozönose des Gewässers, insbesondere die Benthofauna. Daraus leiten sich Folgeeffekte für die fischereiliche Eignung des Gewässers ebenso ab wie für wassergebundene Vogelarten, z. B. Eisvogel oder Wasseramsel.

Die Wasserentnahme kann auch dazu führen, dass ungünstige Wechselwirkungen mit angrenzenden Lebensräumen verursacht werden. So kann – insbesondere bei Entnahme zu Zeiten von Niedrigwasser – ein „Drainageeffekt“ erzeugt werden, wenn an das Gewässer weitere Feuchtlebensräume anschließen. Dies gilt besonders dann, wenn die Wasserentnahme bei einem bereits in Eintiefung befindlichen Gewässer vorgesehen ist, bei dem beispielweise die Freilegung erosionsempfindlicher Sohlen (z. B. Flinz) oder die Gefahr einer beschleunigten Abwitterung bereits freiliegender oder zeitweilig trockenfallender Sohlbereiche droht. Ungünstige Folgeeffekte sind aber auch direkt an den Ufern stehender Gewässer denkbar. Hier können Wasserschwankungen artenreiche Ufersäume schädigen und zu einer verstärkten Frosteinwirkung bzw. vollständigen Vereisung führen. Auch hier ergeben sich negative Wechselwirkungen auf vielfach geschützte, floristisch und faunistisch bedeutende Lebensräume (Abschn. 4.2 und 4.4).

Die Wasserentnahme für die Beschneidung kann bestehende „kritische Zeiträume“ für den Lebensraum Gewässer, wie besondere Niedrigwasserzeiten im Winter, verschärfen, wenn die wechselnde Abflussdynamik und Saisonalität der Wasserführung bzw. Wassereinspeisung nicht ausreichend berücksichtigt werden. Hierzu gehört z. B. das Gefrieren des Gewässers.

Gerade bei größeren Gewässern in Siedlungsnähe sind zudem die Summenwirkungen mit anderen Nutzungen bzw. Belastungen zu beachten. Hier sind in der

Tab. 4.7 Mögliche negative betriebs- und anlagebedingte Auswirkungen der technischen Beschneigung auf das Schutzgut Wasser

Schutzgüter Wasser		
Wirkfaktoren der Beschneigung	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
Erhöhte Schneeeauflage	Verlängerter Zeitraum der Schneeschmelze	Verlängerte Abflussperiode
Zusätzliche Wassermenge	Langfristige Veränderungen der Nährstoffverhältnisse, Veränderung des pH-Wertes	Gefahr und Verstärkung der Murenbildung
	Stoffeintrag in Grund- oder Oberflächenwasser	Beeinträchtigung von Trink- oder Grundwasser
Stoffeintrag durch das Beschneigungswasser	Gewässerverschmutzung durch Öl oder Diesel	Beeinträchtigung von Trink- oder Grundwasser
Verlängerung der Schneedecke	Abschmelzen größerer Wassermengen	Abflussprobleme
Erhöhte Schneedichte und verstärkte Neigung zur Vereisung	Verlängerter Zeitraum der Schneeschmelze	–
Anlagen für Pumpstationen, technische Einrichtungen (Bauwerke)	Lokal reduzierte Grundwasserbildung	–
Wasserentnahme aus Fließ- oder Stillgewässern	Beeinträchtigung des Gewässers	Eingriff in den Wasserhaushalt, z. B. Drainagewirkung auf angrenzende Feuchtflächen, Riede u.ä

Regel größere Zusammenhänge zu betrachten, um ungünstige Folgeeffekte auszuschließen. Dazu sind unter anderem weitere Nutzungsrechte, wie die Entnahmen für die Stromgewinnung oder für industriellen oder gewerblichen Bedarf (z. B. Kühlung) zu prüfen. Auch die Einleitung von Abwässern in ein Fließgewässer, aus dem das Wasser für die Beschneigung entnommen werden soll, ist zu berücksichtigen. Werden bei einem Flusslauf in flussabwärts gelegenen Abschnitten Abwässer eingeleitet, dann kann durch die Entnahme eine Erhöhung der Schadstoffkonzentration im Wasser gegenüber dem Status quo eintreten.

Im Unterschied zu Wasserentnahmen für Fischteiche oder Energiegewinnung wird das Wasser nicht in einem bestimmten Flussabschnitt entnommen und dieser dadurch belastet, sondern dem gesamten Wasserhaushalt für mehrere Monate entzogen.

Bei Entnahme von Grundwasser sind die potenziellen Wechselwirkungen vielfach schwieriger zu prognostizieren als bei Oberflächenwasser. Um negative Wechselwirkungen auszuschließen und eine Wirkprognose zu erstellen, müssen in kritischen Fällen Versuche mit markiertem Wasser – wie im Skigebiet Unternberg in Ruhpolding (Zeller 1997) – Aufschluss über die Nutzbarkeit des Grundwasserstroms geben.

Obschon immer wieder argumentiert wird, dass das Wasser nicht „weg“ sei, sondern dem Wasserhaushalt erhalten bleibe, könnten dann negative Effekte entstehen, wenn zwei Einzugsgebiete betroffen sind. Dies gilt dann, wenn dem örtlichen Einzugsgebiet des Gewässers (dem Flusslauf, dem Bereich der Grundwasserneubildung oder dem Zulauf des Sees) das Wasser dauerhaft entzogen, ins Skigebiet gepumpt und das Beschneigungswasser auf Skipisten verwendet wird,

die einem anderen Wassereinzugsgebiet zuzuordnen sind. In diesem Fall sind die Auswirkungen auf zwei Regime zu prüfen. Einer differenzierten Betrachtung nach Entnahmebereich und den Bereichen, denen das abschmelzende Wasser wieder zugeführt wird, ist daher auch in Bezug auf die Wechselwirkungen mit Vegetation und Boden besonderes Augenmerk zu richten, etwa im Hinblick auf eine mögliche erhöhte Erosionsgefahr.

Aus den oben genannten Gründen und zur Vermeidung von Belastungen natürlicher oder naturnaher Gewässer wird vielfach der Bau eines Speichers in Betracht gezogen. Für den Betrieb eines Skigebiets ergeben sich dabei folgende Vorteile, die sich auch positiv auf die natürlichen Gewässer auswirken können:

- Es entfallen Entnahmespitzen im Gewässer, weil das benötigte Wasser in geringerer Menge, gleichmäßig in Tages- oder Jahresspeicher abgeleitet wird.
- Der Betrieb der Beschneigungsanlage wird nicht von Schwankungen der Wasserführung beeinflusst.
- Eine eventuelle temporäre Überschreitung der genehmigten Wasserentnahme bzw. eine Unterschreitung der zulässigen Restwassermenge werden vermieden.
- Durch Speicher, die in näherer Umgebung zu den Beschneigungsanlagen eingerichtet werden, lässt sich der Energiebedarf senken, weil das Pumpen reduziert werden kann.
- Eine Speicherbefüllung, die zu Zeiten erhöhter Abflussspenden in den Sommermonaten erfolgt, kann zur Entlastung örtlicher Abflussprobleme beitragen.
- Beim Bau von offenen Speicherseen entsteht eine natürliche Kühlung des Wassers, die den Energieverbrauch senkt.

Diese Vorteile beeinflussten auch die Entwicklung in der Praxis. Eine Zunahme der Speicherseen ist in allen Alpenstaaten zu beobachten.

Evette et al. (2011) berichten von einer starken Zunahme der Speicherseen in Frankreich. Nicht nur die Anzahl, sondern auch das durchschnittliche Volumen der Seen nimmt erheblich zu. Das durchschnittliche Volumen beträgt rund 40.000 m³, allerdings liegen die zuletzt geplanten und realisierten Projekte bei rund 100.000 m³. Dabei liegen 50 % der Speicherseen in Frankreich über 1500–2000 m, weitere rund 30 % unter 1500 m und 20 % der Anlagen über 2000 m. Vergleichbar detaillierte Angaben gibt es für andere Länder nicht.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Die Wasserentnahme für die Beschneigung erfolgt nicht gleichmäßig. Die Regel sind eine Grundbeschneigung im Frühwinter und nachfolgende Ausbesserungsbeschneigungen. Auswirkungen des Klimawandels mit Wärmeeinbrüchen verändern diese Praxis. Die Beschneigungszeiträume wurden erheblich reduziert und erfordern daher in kurzer Zeit größere Wassermengen.

Nachdem einerseits Wasserentnahmen aus Fließgewässern und natürlichen Gewässern negative Auswirkungen auf das jeweilige Ökosystem besitzen und andererseits kurzfristig ein hoher Wasserbedarf besteht, hat der Einsatz und die Anzahl an Speicherseen erheblich an Bedeutung gewonnen.

Wechselwirkungen können sich auch durch Drainageeffekte ergeben, die in angrenzende Feuchtlebensräume hineinreichen und dort den Grundwasserstand senken. Auch aus diesen Gründen kann die Anlage von Speicherseen zur Vermeidung von Folgewirkungen wesentlich beitragen.

4.3.2 Auswirkungen durch Aufbringen von zusätzlichem Wasser und Abschmelzen der erhöhten Wassermengen

Wie in Abschn. 4.3.1 bereits dargestellt, werden auf beschneite Flächen zusätzliche Wassermengen aufgetragen, die den Winterniederschlag um mehr als die Hälfte erhöhen. Deshalb soll hier der Frage nachgegangen werden, ob und unter welchen Voraussetzungen diese zusätzlichen Wassermengen Folgewirkungen, wie eine erhöhte Gefahr von Erosionserscheinungen oder Murenbildung, nach sich ziehen können. Dazu müssen zunächst die Rahmenbedingungen auf den beschneiten Pisten in Bezug auf den Boden- und Wasserhaushalt angesprochen werden.

Wichtige Aspekte sind in diesem Zusammenhang der Umfang und Anteil baulich veränderter Skipisten im Gebiet. In der Skigebietskartierung des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (1997b) ergab sich bei der Zwischenauswertung von 24 Skigebiet, dass durchschnittlich nur knapp 25 % der Pistenflächen baulich verändert (planiert) wurden. Bei der detaillierten Betrachtung einzelner großer Gebiete (Pröbstl & Förster 1996) zeigt sich jedoch, dass in den großen Skigebiet in Deutschland und Österreich diese Werte deutlich überschritten werden und Anteile von über 50 % an planierten Pisten der Regelfall sind. Teilweise waren für den Ausbau der Skigebiet auch Rodungen erforderlich. Sowohl Rodung als auch Planie haben erhebliche Auswirkungen auf den Boden.

So stellt Bunza (1990) aufgrund der Auswertung von 50 Versuchen mit einer Beregnungsanlage nach Karl und Toldrian (1973) in den Bayerischen Alpen auf unterschiedlichen Waldstandorten und Kahlhiebsflächen fest, dass der für Waldboden typische Grobporenraum mit zunehmendem Alter der Kahlhiebsflächen weitgehend verloren geht und die Vergleyung (d.h. ein Prozess der Bodenveränderung unter Wassereinfluß) der Böden fortschreitet. Vergleichbare Prozesse haben auch auf den Pisten stattgefunden.

Zudem haben Pistenplanierungen das Retentionsvermögen der betroffenen Standorte sowie deren Infiltrationsrate wesentlich verändert (Abb. 4.23). Hierzu liegen detaillierte Untersuchungen vor (Pfitzner & Kernschner 1992; Löhmannsröben & Cernusca 1990; Mosimann 1987; Cernusca 1987; Bunza 1984; Cernusca et al. 1990).

Durch die Planie (insbesondere eine Vollplanie) wird das Wasserspeichervermögen gravierend verschlechtert. Untersuchungen von Cernusca et al. (1992) ergaben ein fünf- bis zehnmals geringeres Wasserspeichervermögen des Bodens (0–40 cm unter Flur). Dies gilt besonders dann, wenn die wasserspeichernde Humusaufgabe beeinträchtigt wurde. Weiterhin ist neben dem Speichervermögen eine hohe Infiltrationsrate entscheidend. Hierzu ist ein hoher Anteil von Grobporen notwendig, die das Wasser rasch nach unten weiterleiten. Damit ist auch die Infiltrationsrate auf planierten Skipisten deutlich reduziert (Abb. 4.24).

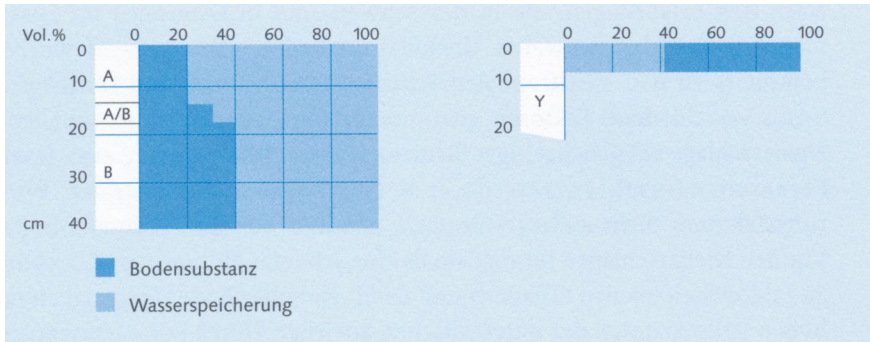


Abb. 4.23 Wasserspeichungsvermögen einer naturnahen Almweide und einer Skipistenplanierung. Durch den Skipistenbau wird das Wasserspeichungsvermögen stark reduziert, und es kommt zu einer Zunahme von Oberflächenabfluss und zu Bodenabtrag. (Nach Cernusca et al. 1992)



Abb. 4.24 Erhöhte Schmelzwassermenge am Pistenrand mit beginnender Erosion durch unzureichende Wasserausleitung und Störung des Bodens durch den Bau des Leitungsgrabens. (U. Pröbstl-Haider)

Auch Moeschke (1998) weist darauf hin, dass bei Extremereignissen selbst die Schutzwirkung des Waldes nicht ausreicht und es auf Waldböden zu Oberflächenabfluss kommen kann. Dies tritt unter anderem dann ein, wenn die Infiltrationskapazität der Stauhazone in 15–20 cm Bodentiefe überschritten wird.

Beispiel Skigebiete Hahnenkamm, Hochgurgl und Axamer Lizum (A)

Pfritzer und Kernschner (1992) gingen der Frage nach, ob die skitechnische Erschließung, insbesondere der Pistenbau, an der Verstärkung von Hochwasser und Murgängen mit verantwortlich seien. Dabei zeigte sich, dass mögliche Wechselwirkungen in großen Einzugsgebieten nicht gegeben sind, da der Anteil planierter Pisten relativ klein ist. Auswirkungen durch die Beschneigung sind demnach nur dann zu erwarten, wenn Einzugsgebiete in einer Größenordnung von wenigen Quadratkilometern vorliegen. In mehreren Fallstudien im Skigebiet Hahnenkamm in Kitzbühel, im Skigebiet Hochgurgl und Axamer Lizum wurden die kleinen Einzugsgebiete von Gebirgsbächen untersucht. Dabei ergab sich, dass skitechnische Erschließungen dann umso hochwasserwirksamer sind, je größer die geplante Fläche in Relation zum Einzugsgebiet ist und je mehr Waldrodungen für den Pistenbau erfolgten. Solange die geplanten Flächen jedoch unter 10 % der Einzugsgebiete bleiben, ist – nach Ansicht der Autoren – die Hochwasserwirksamkeit gering. Allerdings gilt dies nicht für labile Standorte oder freigelegte Geschieberhede, die jeweils gesondert zu berücksichtigen sind. Überträgt man diese Ergebnisse auf beschneite Pisten, dann kann davon ausgegangen werden, dass sich in großen Einzugsgebieten die Beschneigung nicht auswirken wird. In kleinen Einzugsgebieten muss jedoch die kleinräumige Labilität geprüft werden. Wurden mehr als 10 % der Fläche geplant, dann sind negative Wechselwirkungen und Abflussveränderungen nicht auszuschließen.

Beispiel Skigebiet La Plagne (F)

Morin et al. (2023) illustrieren am Beispiel des Skigebiets La Plagne in Frankreich den Einfluss der Beschneigung und Präparation auf den lokalen Wasserhaushalt in einem gebirgigen Einzugsgebiet. Die Autorinnen und Autoren zeigen, dass Beschneigung und Pistenmanagement die Schneeschmelze im Winter und den Beginn der Schneeschmelze verzögern. Das Ergebnis ist ein geringerer Schmelzfluss während der winterlichen Niedrigwasserperiode, in der Größenordnung von –10 % bis –20 %, der durch höhere Mengen bei der Schneeschmelze im Frühjahr ausgeglichen wird. Während etwa 10 % des für die Beschneigung verwendeten Wassers durch Verdunstung bei der Schneeabdeckung verloren gehen, zeigt sich, dass in dem untersuchten Fall die jährliche Veränderung der Wasserressourcen begrenzt ist und schätzungsweise in der Größenordnung von 1–2 % liegt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die für die Beschneigung von Skipisten verwendete Wassermenge nur einen Bruchteil von 10–20 % der jährlichen Gesamtniederschläge ausmacht, dass Skipisten typischerweise 10 % der Fläche der Einzugsgebiete einnehmen und dass die Beschneigungsanlagen im Fall von La Plagne nur 40 % der Pistenfläche abdecken. Daher trägt die Beschneigung in diesem Fall nur zu einer moderaten Verschiebung der Schneedeckenbildung und Schneeschmelzprozesse bei. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Beschneigung eine geringe Rolle bezogen auf die Gebirgshydrologie spielt.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um mögliche Folgewirkungen der Beschneigung wurden auch Verstärkungen von Hochwässern und Muren durch plötzliches Abschmelzen der zusätzlichen Wassermenge befürchtet. Nach den Er-

fahrungen von Wechsler (1989) schmilzt der Schnee nicht „schneller“, sondern über einen längeren Zeitraum. Dadurch ergeben sich andere Effekte, als sie bei Starkregen in den Sommermonaten, die vielfach als Vergleich herangezogen werden, auftreten. Die Schmelzabflussleistung ist in erster Linie vom Strahlungsgenuss, d. h. vor Ort von konstanter Wärmezufuhr aus der Atmosphäre sowie von der Exposition, abhängig. So beträgt der maximale tägliche Schmelzwasserabfluss auf beschneiten Pisten nur einen Bruchteil jener Werte, die bei sommerlichen Starkregen auf die Pisten treffen. Dies belegen auch Studien von Cernusca et al. (1992). Für durchschnittlich beschneite Pisten im Skigebiet Gschwandtkopf wurden bei Abflussmessungen ähnliche Schmelzwasserraten wie bei nicht beschneiten Pisten festgestellt. Die Werte von 15–25 l/m² und Tag wurden vor allem dann überschritten, wenn besondere Witterungsverhältnisse (starker Wärmeeinbruch durch Föhn oder warmer Regen) eintraten. So wurden z. B. im Skigebiet Patscherkofel in 1660 m ü. NN am 9. April 1989 bei Regen eine Menge von 50 l/m² und Tag und stündliche Maximalwerte von 12 l/m² und Stunde gemessen. Die Verdunstung spielte – wie die Versuchsreihen zeigten – in allen Fällen eine zu vernachlässigende Rolle.

Nach den Erfahrungen, die in der Schweiz und in Österreich im Zusammenhang mit den schweren Hochwasserschäden 1987 gemacht wurden, kommt es zu den katastrophalen Schäden durch Muren und Hochwasser, wenn verschiedene Faktoren zusammentreffen, beispielsweise anhaltende Niederschläge bei gleichzeitiger Schneeschmelze. Nach Ammer et al. (1998), Petraschek (1990) und Petraschek et al. (1991) waren die einzelnen Witterungsfaktoren nicht außergewöhnlich, sondern nur ihr Zusammentreffen. Vor den Niederschlägen führte damals eine schnelle Abfolge von Kaltfronten zu zahlreichen lokalen Schauern und damit zu hoher Bodenfeuchtigkeit und hohen Füllzuständen der unterirdischen Speicher. Durch hohe Lufttemperaturen wurde zudem die Schneeschmelze begünstigt. Das Ergebnis waren die extremen Schäden durch Hochwasser und Muren.

Daraus kann abgeleitet werden, dass eine erhöhte Schmelzwassermenge beim Zusammentreffen mit anderen Faktoren zu extremen Schadereignissen führen kann. Im Regelfall ist jedoch nach Cernusca et al. (1992) davon auszugehen, dass sich die Abschmelzraten auf technisch beschneiten Pisten ähnlich verhalten wie auf unbeschneiten Pisten. Allerdings kann die Abschmelzrate auch durch das Aufbringen von sogenannten Abtauhilfen in Form von Dünger oder Gesteinsmehl erhöht werden. Nach Messungen von Cernusca et al. (1992) kommt es dadurch zu einer Erhöhung der Abschmelzrate um durchschnittlich 30–40 %. Die Anwendung dieser Stoffe sollte daher im Einzelfall kritisch geprüft werden, da die Düngung Auswirkungen auf die Pflanzenzusammensetzung hat und Nährstoffeintrag ins Grundwasser möglich ist. Die Erosionsgefahr ist bei langsam abschmelzendem Schnee ebenfalls geringer.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Auf Skipistenflächen ist vielfach durch Geländeänderung (Planie), teilweise auch Rodung, das Porenvolumen des Bodens deutlich reduziert. Dennoch sind potenzielle Auswirkungen wie Murenabgänge oder Hochwasserereignisse durch extreme Niederschläge – mit Ausnahme von geologisch

labilen Standorten – nur dann wirksam, wenn mehr als 10 % des Einzugsgebiets verändert bzw. beschneit werden.

Die erhöhte Schmelzwassermenge führt in der Regel nur bei Zusammentreffen mit anderen Faktoren, wie Wärmeeinbruch mit hohen Niederschlagsmengen, zu nennenswerten Auswirkungen auf Hochwasser- und Murenereignisse. Durch Abtauhilfen wird die Abschmelzrate erhöht, der Einsatz wird nicht empfohlen.

4.3.3 Risiken durch Schneiteiche bzw. Speicherseen

Mit der zunehmenden Anzahl an Schneiteichen bzw. Speicherseen entstanden auch neue potenzielle Risiken im Berggebiet. Zu diesen Risiken gehört die Möglichkeit, dass Steinschlag, Muren oder Lawinen in den Speichersee abgehen oder diesen beschädigen und die austretende Wassermenge Schäden verursacht. Weiterhin werden mögliche Schäden durch einen zu hohen Wasserstand nach Starkregenereignissen gegebenenfalls mit Überspülung des Dammes bzw. der Einfassung befürchtet, in deren Folge dann weitere Rutschungen, Muren oder sonstige geologische Schadereignisse eintreten könnten. Auch weitere sozioökonomische Folgen von möglichen Flutwellen oder Abflussereignissen mit Gefahren für Infrastruktureinrichtungen, Gebäude und Personen werden in der Fachliteratur diskutiert (Evette et al. 2011). Hinweise auf dieses Gefahrenpotenzial gibt eine Studie, bei der Risiken in den französischen Alpen und den Pyrenäen untersucht wurden. Danach wurden rund 20 % der Speicherseen in lawinengefährdeter Lage errichtet. 10 % dieser Anlagen wurde ein hohes Risikopotenzial zugeordnet. Für einige Anlagen wurden daher bereits entsprechende Schutzvorkehrungen getroffen. Rund ein Viertel der untersuchten Speicherseen kann durch geologische Ereignisse wie Muren, Rutschungen oder herabstürzende Felsblöcke beeinträchtigt werden (Evette et al. 2011). Unter der Annahme, dass durch das Ereignis rasch viel Wasser austritt, würde nach Angabe der Autorinnen und Autoren in jedem zweiten Fall die öffentliche Sicherheit gefährdet sein (Evette et al. 2011).

Vergleichbare wissenschaftliche Studien zu Skigebieten in anderen Alpenländern oder aus Spanien gibt es nicht. Allerdings ist anzumerken, dass es in allen Ländern spezifische Vorschriften zur Anlage von Speicherteichen sowie entsprechende Schulungen gibt.

In Österreich wurde auf dieses Gefahrenpotenzial reagiert. Gemäß dem Leitfaden für das wasserrechtliche Behördenverfahren von Beschneigungsanlagen sind laufende Sicherheitsbeurteilungen von Speicherseen für die Beschneigung vorzusehen und sogenannte Stauanlagenverantwortliche gegenüber der Aufsichtsbehörde zu nominieren. Diese Personen müssen an entsprechenden Schulungen teilnehmen und diese Kurse mindestens im Abstand von zehn Jahren wiederholen.

Ziel ist die dauerhafte Überwachung der Anlage und des Betriebs des Speicherteiches bzw. der Speicheranlage. Im Mittelpunkt steht die Kontrolle des Wassermanagements (Füllmengen, Entnahmemengen, Füll- und Entnahmezeiten). Wichtig ist dabei insbesondere die Berücksichtigung von Niederschlägen unter

Beachtung des Stauziels. Ein voller Aufstau sollte erst kurz vor Saisonbeginn erfolgen. In den Sommermonaten ist der mögliche Einfluss von Starkregenfällen zu beachten. Weiterhin besteht die Aufgabe des Stauanlagenverantwortlichen darin, den Stauraum nach Entleerung zu kontrollieren, die Entnahmeeinrichtung zu überprüfen und gegebenenfalls Fremdkörper oder störende Ablagerungen zu beseitigen. Weiterhin umfasst ihre Aufgabe die jährliche Kontrolle der Anlagenteile, insbesondere zur Wasserregulierung (z. B. Schieber) und Wasserzufuhr (z. B. Pumpen). Darüber hinaus sind die entsprechenden Sicherheitseinrichtungen (z. B. Zäune, Warnschilder oder Rettungsringe) zu überprüfen.

Auch für den französischen Sprachraum gibt es ein entsprechendes Handbuch, das Maßnahmen zu Vermeidung von Risiken und Vorgabe zu einer guten fachlichen Praxis enthält (Peyras & Mériaux 2009).

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Speicherseen im möglichen Einflussbereich von Lawinenabgängen, Muren und anderen Georisiken können eine Gefahr darstellen, weil durch entsprechende Ereignisse in kurzer Zeit viel Wasser austreten kann. Potenzielle Risiken dieser Art sind bei der Standortplanung zu berücksichtigen. Potenzielle Gefahren können auch durch Überfüllung bei lang anhaltenden Niederschlägen oder extremen Starkregenereignissen auftreten. Diesen ist durch Überwachung durch entsprechend geschulte Stauanlagenverantwortliche zu begegnen.

4.3.4 Belastung durch Stoffeintrag

Durch die Beschneigung kann es zwei Arten von Stoffeinträgen in Grund- oder Oberflächenwasser geben:

1. Stoffeinträge und Belastungen durch die verwendeten Schneeerzeuger
2. Stoffeinträge durch das für die Beschneigung verwendete Wasser

Der zuletzt genannte Aspekt ist bereits bei der erforderlichen Qualität des Wassers für die Beschneigung dargestellt. Die Folgewirkungen sind darüber hinaus in Abschn. 4.2 zu Vegetation und Boden angesprochen. Hier geht es um Nährstoffanreicherungen und Stoffaustrag. Aus diesem Grund sollen an dieser Stelle nur die Belastungen angesprochen werden, die direkt aus dem Betrieb der Schneeerzeuger resultieren können. In der Vergangenheit war eine Umweltbelastung durch Öl aus den Kompressoren gegeben. Dieses Problem kann jedoch, nach Fuhrmann (1996), durch Filter weitgehend verhindert werden.

Sehr selten und ebenfalls nur bei älteren und kleinen Anlagen ist die Gefährdung durch Einträge von Benzin und Diesel gegeben. Dies gilt nur für diesel- bzw. benzinbetriebene Niederdruck-Schneeerzeuger. Der Betrieb solcher Geräte sollte im Interesse des Gewässerschutzes eingeschränkt werden.

Durch die Beschneigung können sich auch positive Effekte im Hinblick auf den Stoffeintrag in Wasser und Boden ergeben (Rixen et al. 2003). So konnte auf

Salze, die in den Haupttrainings- und Wettkampfstrecken regelmäßig zur Stabilisierung der Schneedecke zum Einsatz kamen, durch die Beschneigung und die hohe mechanische Belastbarkeit des technischen Schnees ganz verzichtet bzw. dieser Stoffeintrag gemindert werden. An vielen Wettkampforten wurde der zusätzliche Stoffeintrag durch den Volldünger Nitrophoska deutlich reduziert und damit potenziellen Belastungen vorgebeugt. Dieser Effekt kann aufgrund der klimatischen Erwärmung jedoch eingeschränkter wirksam werden.

In den letzten Jahren hat durch die zunehmende Erwärmung auch das Problem der Algenbildung in Beschneigungsteichen deutlich zugenommen. Als vorbeugende Maßnahme sollte möglichst nährstoffarmes Wasser verwendet bzw. der Nährstoffeintrag verhindert oder stark begrenzt werden. Um einen Nährstoffeintrag zu vermeiden, sollten Speicherseen auch nicht für den Badebetrieb verwendet werden oder einen breiten Grüngürtel (Ufersaum) erhalten. Naturferne Ufer reduzieren die Gefahr der Algenbildung. Maßnahmen zur Vermeidung von Algenbildung können neben der mechanischen Beseitigung auch durch Umwälzungen des Wassers und damit verbundene Kühlung erreicht werden. Weiterhin trägt die Förderung von Sauerstoffeintrag z. B. durch Einblasen von Druckluft, Wasserfontänen etc. zur Reduktion der Algenbildung bei.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Durch die Schneeerzeuger, aber auch durch das für die Beschneigung eingesetzte Wasser kann es zu Stoffeinträgen in Grund- oder Oberflächenwasser kommen. Einem nährstoffarmen Wasser für die Beschneigung kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

Auf Wettkampf- und Trainingsstrecken kann die Beschneigung zu einer Entlastung von Stoffeinträgen beitragen, weil weniger stabilisierende Produkte (mit stark düngender Wirkung) eingesetzt werden, die ins Grund- oder Oberflächenwasser eingetragen werden können.

Durch die Klimaerwärmung treten vermehrt in den Sommermonaten Belastungen an Gewässern durch Algenbildung auf, der durch Managementmaßnahmen begegnet werden sollte.

4.3.5 Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Wasser

Nachstehend sind die wichtigsten Ergebnisse im Sinne einer Wirkprognose und Risikoabschätzung in Tab. 4.8 zusammengefasst.

Tab. 4.8 Wirkprognose und Risikoabschätzung betriebs- und anlagebedingter Folgen für das Schutzgut Wasser abgeleitet aus Eintrittswahrscheinlichkeit (A=hohe Wahrscheinlichkeit, B=mittlere Wahrscheinlichkeit, C=geringe Wahrscheinlichkeit) und Schadensintensität (I=hohe Intensität, II=mittlere Intensität, III=geringe Intensität; zur Ableitung des Risikos vgl. Tab. 4.1)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Wasser Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Wasserentnahme aus Fließ- oder Stillgewässer	Beeinträchtigung des Gewässers			
	Großes Fließgewässer	B	II	Hoch
	Kleines Fließgewässer	A	I	Hoch
	Grundwasser	A	III	Hoch
	Trinkwasser	C	III	Mittel
	Natürliche stehende Gewässer	A	I	Hoch
	Technische Speicherseen	C	II	Mittel
Zusätzliche Wassermenge und Verlängerung der Schneebedeckung	Erhöhte Gefahr und Verstärkung von Murenbildung und Erosionen durch Abschmelzen größerer Wassermengen			
	Bei durchschnittlich beschneiten Pisten mit geringem Anteil planierter Pisten im Wassereinzugsgebiet (<10 %)	C	II	Gering
	Bei hohem Anteil (>10 %) planierter Pisten im Wassereinzugsgebiet oder labilen Teilstücken oder unzureichenden Wasserausleitungen	A	I	Hoch
	Bei Verwendung von Abtaumitteln	A	II	Hoch
	Bei unzureichender oder beeinträchtigter Wasserausleitung aus der Piste	A	I	Hoch
	Bei wasserstauendem oder geologisch labilem Untergrund	B	I	Hoch
Stoffeinträge aus den Beschneigungsgeräten und Maschinen	Stoffeinträge in Grund- und Oberflächenwasser	C	I	Mittel
	Gefahr der Gewässerverschmutzung	C	I	Mittel

4.3.6 Baubedingte Belastungen

Außer den betriebs- und anlagebedingten Auswirkungen sind auch die im Zusammenhang mit der Wasserentnahme stehenden potenziellen baubedingten Auswirkungen zu untersuchen. Die baubedingten Belastungen hängen von der gewählten Form der Wassergewinnung, der Wasserspeicherung oder der Wasserentnahme ab.

Tab. 4.9 zeigt die jeweils zu erwartende Eingriffsintensität bei unterschiedlichen Lösungen für die Wasserentnahme.

Tab. 4.9 Möglichkeiten der Wasserentnahme für die Beschneidung und Bewertung potenzieller Eingriffsintensität (+++ = großer Eingriff, ++ = mäßiger Eingriff, + = geringer Eingriff)

Art der Entnahme	Beschreibung der Maßnahme bzw. des baubedingten Eingriffs in das Gewässer	Bewertung der Eingriffsintensität
Wasserentnahme geringer Mengen aus Fließgewässer	Saugpumpe, Abgrenzung der Entnahmestelle durch Wasserbausteine mit kleinflächiger Aufstauung ohne wasserbauliche Maßnahmen	+
Geringfügige Wasserentnahme aus Fließgewässern mit Speichervorrichtung am Gewässer	Einbau eines kleinen Betonschachtes in unmittelbarer Nähe des Gewässers	++
	Bau einer Zuleitung und eines Überlaufs je nach Umfang der Entnahme	
Größere Wasserentnahme aus größeren Fließ- oder Stillgewässern bzw. Grundwasser	Bau einer Pumpstation	++
	Bau eines Entnahmeschachtes	
	Kleinflächige Befestigung an der Gewässersohle, Pumpvorrichtung	
Größere Wasserentnahme aus Fließgewässer bzw. Grund-, Quell- oder Restwasser der Trinkwassergewinnung mit Speichervorrichtung	Bau einer Ableitung aus dem Flussbett	+++
	Befestigung der Sohle in Teilbereichen	
	Bau eines Speichersees oder Speicherbehälters oder umfangreiche Aufstauung eines Fließgewässers	

Zu den Auswirkungen der Baumaßnahmen können folgende Effekte gehören:

- Verschmutzung des Gewässers und Gefahr des Stoffeintrags über die Baumaschinen
- Störung oder Zerstörung naturnaher Uferböschungen
- Störung oder Veränderung der Grundwasserströme beim Bau von unterirdischen Speichern, Gebäuden oder Leitungsgräben
- Temporäre Gewässerumleitungen, Aufstauungen und Wasserschwankungen

Weitere baubedingte Belastungen für den Wasserhaushalt können beim Verlegen der Leitungen eintreten. Zu den möglichen Wechselwirkungen gehören:

- Zerschneidung von Feuchtflächen mit möglichen Drainageeffekten
- Beeinträchtigung durch Querung von wasserführenden Gräben mit möglicher Beeinträchtigung der Gewässersohle
- Beeinträchtigung bestehender Drainagegräben in der Piste

4.4 Auswirkungen auf die Tierwelt

Bei der Fauna ist, neben den räumlich begrenzten Baumaßnahmen, eine nachhaltige Betroffenheit vor allem durch den Betrieb der Anlage zu erwarten, deshalb wird dieser Aspekt ausführlicher behandelt (vgl. Tab. 4.10). Vorauszuschicken ist, dass es nur wenige spezielle Studien zu dem Thema gibt und daher in vielen Bereichen mögliche kausale Zusammenhänge nur eingeschränkt interpretierbar sind.

So ergab eine internationale Zusammenschau von Sato et al. (2013), dass die Mehrheit der Studien, die sich mit Wintersport und der Tierwelt befassen, aus Europa stammt. Vor allem Auswirkungen auf Vögel, Reptilien und Bodenarthropoden stehen dabei im Mittelpunkt. In Nordamerika und Australien wurden dagegen mehr Säugetiere untersucht (Sato et al. 2013). Im Hinblick auf den in den letzten zehn Jahren zunehmenden Bau von Speicherseen überrascht, dass die Gruppe der Amphibien wissenschaftlich nicht näher betrachtet wurde. Dies gilt umso mehr, als in der Genehmigungspraxis in Deutschland und Österreich sehr oft Feuchtlebensräume für Amphibien im Bereich der Speicherseen umzusetzen waren (z. B. bei Speicherseen im Skigebiet Schmittenhöhe, Zell am See). Im Zusammenhang mit tierökologischen Studien kommt hinzu, dass Tiere aufgrund ihrer höheren Position in der Nahrungskette im Vergleich zur Vegetation auf Belastungen mit viel komplexeren Überlebensstrategien reagieren, die zudem bei verschiedenen Tiergruppen erheblich voneinander abweichen (Braunisch et al. 2011).

Die Verhaltensforschung an wildlebenden Tieren und die Suche nach Wirkfaktoren für ihr Verhalten stellen ein wenig bearbeitetes Forschungsgebiet dar. Dies gilt in besonderem Maße für den Einfluss von Sport, Freizeitaktivitäten oder Tourismus. Darüber hinaus fällt innerhalb der Arten bzw. Artengruppen ein hohes „Wissensgefälle“ auf, weil zu jagdbaren, verhaltensauffälligen und attraktiven Arten deutlich mehr Arbeiten vorliegen als zu den Auswirkungen von Freizeitaktivitäten auf Bodenarthropoden, Hautflügler oder vergleichbare Artengruppen.

Tab. 4.10 Mögliche negative betriebs- und anlagebedingte Auswirkungen der technischen Beschneigung auf die Fauna

Schutzgut Tiere		
Wirkfaktoren der Beschneigung	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
Erhöhte Schneeeauflage	Beeinträchtigung der Bodenlebewesen	Veränderung der Artenzusammensetzung
Zusätzliche Wassermenge	–	Rückgang bestimmter Arten in Abhängigkeit von Boden- und Vegetationsentwicklung, insbesondere bei Avifauna und Bodenarthropoden
Verlängerung der Schneedecke	Beeinträchtigung der Bodenlebewesen	Veränderung der Artenzusammensetzung
Erhöhte Schneedichte und verstärkte Neigung zur Vereisung	Beeinträchtigung der Bodenlebewesen	–
Anlagen für Pumpstationen, technische Einrichtungen (Bauwerke)	Kleinflächige Verluste an besiedelbarer Fläche	–
Lärm	Energieverluste durch lärm- oder lichtbedingtes Fluchtverhalten	Räumliche und zeitliche Verdrängung, Beeinträchtigung der Fitness durch Störung und Stress
Lichteffekte bei nächtlicher Beschneigung	Energieverluste durch lärm- oder lichtbedingtes Fluchtverhalten	Räumliche und zeitliche Verdrängung, Beeinträchtigung der Fitness durch Störung und Stress
Betreuung und Präparieren bei Nacht und in der Dämmerung im Gelände	Verdrängung in angrenzende Lebensräume	Veränderung der Areale einschließlich suboptimaler Bereiche
Wasserentnahme aus Fließ- oder Stillgewässern	Beeinträchtigung der Gewässerfauna, Folgeeffekte in der Nahrungskette (Avifauna)	–

Trotz dieser Einschränkungen wird nachstehend versucht, durch Zusammenschau verschiedener Studien und Analogieschlüsse das Spektrum möglicher Interpretationen einzugrenzen und Anhaltspunkte für eine Beurteilung in der Praxis zu geben. Dazu ist es in Bezug auf die Beschneigung notwendig, solche Indikatoren bzw. Tiergruppen zu betrachten, an denen sich mögliche Wechselwirkungen stellvertretend auch für andere Arten in charakteristischer Weise ablesen lassen. Im Bereich des Wintersports haben sich in der Vergangenheit das Schalenwild, die Vögel, die Bodenfauna und im Hinblick auf die Gewässernutzung (Speicherseen etc.) auch Amphibien als geeignete Indikatoren erwiesen.

Dabei gibt eine Analyse des Schalenwildes – neben Hinweisen zur direkten Betroffenheit der Art – auch Auskunft über Funktionalität von landschaftlichen Großstrukturen, insbesondere im Hinblick auf Zerschneidungseffekte und großräumige Habitatkomplexe.

Die Avifauna (Vögel) zeichnet sich durch eine große Artenvielfalt aus. Dies und die starke Abhängigkeit vieler Arten von bestimmten Lebensraumstrukturen und Wirkfaktoren erlaubt eine kleinräumige Diagnose. Vorteilhaft dabei ist, dass einzelne Arten auf unterschiedliche Wirkfaktoren – wie beispielsweise Vegetationsveränderungen, Störungen, Beleuchtung – ganz unterschiedlich reagieren. Dagegen sind Makro-Bodenarthropoden wie Weberknechte, Spinnen und Laufkäfer geeignet, Veränderungen am Boden und in der bodennahen Vegetation auf Skipisten abzubilden.

Zu unterscheiden ist jeweils zwischen direkten und indirekten Auswirkungen der Beschneidung (Tab. 4.10). Die indirekten Auswirkungen leiten sich aus möglichen standörtlichen Veränderungen und ihren Folgen für die Vegetation ab. Die direkten Auswirkungen ergeben sich unmittelbar aus dem Betrieb der Beschneidungsanlage. Dazu gehören z. B. Lärm der Schneerzeuger, die Ausleuchtung und die Betreuung der Anlage.

4.4.1 Indirekte Auswirkungen durch Standortveränderungen und Vegetationsverschiebungen

Als geeignete Indikatorarten für die Standort- und Vegetationsveränderungen gelten die Avifauna, Insekten und in besonderem Maße die Bodenarthropoden (Arthropoda, Gliederfüßler).

Die Forschungsergebnisse, die es zum Wintersport gibt, konzentrieren sich vor allem auf den Vergleich zwischen Skipisten und angrenzenden Flächen ohne Skibetrieb. Studien, die sich auf den Vergleich einer beschneiten und unbeschneiten Piste beziehen, sind dagegen sehr selten. Bei diesen Arbeiten stehen daher die Folge der Lebensraumveränderungen zur Herstellung einer Skipiste (mit Teil- oder Vollplanie), der längeren Schneebedeckungszeit durch den verdichteten Schnee und der abweichenden Bewirtschaftung (z. B. durch anderes Mahdregime) im Mittelpunkt.

Den Untersuchungen von Insekten, Laufkäfern, Grashüpfern und Spinnen kommt deshalb auch eine hohe Bedeutung zu, weil sie die Nahrungsgrundlage auch für andere Arten darstellen, wie z. B. Vögel, aber auch für den Salamander oder kleine Säugetiere (Negro et al. 2010). Darüber hinaus sind die Alpen für die hohe Vielfalt an bodennahen Arthropoden bekannt, die es zu erhalten gilt.

Beispiel Monterosa Ski, Aostatal (It) In einer Höhenlage von 2500–2900 m wurden Fallen auf den Pisten und außerhalb aufgestellt, um Spinnen, Grashüpfer und Laufkäfer vergleichend untersuchen zu können (Negro et al. 2010). Die Pisten waren vollständig planiert, und die angesäte bzw. wieder aufkommenden Vegetation war lückig.

Abundanz (Anzahl von Organismen pro Flächen- oder Raumeinheit) und Artenreichtum bei Spinnen waren auf den Skipisten signifikant niedriger als auf den Vergleichsflächen im Grasland. Dies gilt auch für die Grashüpfer. Bei den Laufkäfern ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse. Oberflächenaktive Arten

(z. B. *Amara quenseli*) wurden auf der lückigen Piste gegenüber der dicht geschlossenen Wiesenfläche vermehrt gefangen. Die Biodiversität auf den Wiesenflächen außerhalb war jedoch wesentlich höher. Die Autorinnen und Autoren leiten aus den Ergebnissen einen Bedarf an schonendem Pistenbau und einer möglichst naturnahen Begrünung z. B. mit Sodenverpflanzung ab (Negro et al. 2010).

Beispiel Gasteinertal (A) Haslett (1988) untersucht Veränderungen bei Schwebfliegen auf Skipisten und außerhalb davon. Aufgrund ihrer ausgeprägten Blütenpräferenz, die eine Einteilung in „Generalisten“, „Spezialisten“ und „Graspollen bevorzugende Arten“ zulassen, eignen sie sich für Vergleiche verschiedener Pflanzengemeinschaften auf Skipisten. Haslett ermittelte auf artenärmeren Skipisten eine höhere Anzahl an Generalisten und Graspollen fressenden Arten als auf der unbelasteten Almwiese. Dort dominieren dagegen die Nahrungsspezialisten mit besonderen Blütenpräferenzen.

Beispiel Schmittenhöhebahn, Zell am See (A) Bei den meisten Untersuchungen werden Schlussfolgerungen durch Verteilung von Untersuchungsflächen innerhalb und außerhalb von Pisten, gegebenenfalls mit oder ohne Beschneigung, gezogen. In der Studie zum Skigebiet Schmittenhöhe ist dies anders. Hier werden faunistische Untersuchungen auf Pistenabschnitten durchgeführt, die sich durch eine unterschiedliche floristische Ausstattung unterscheiden (Wittmann et al. 2019). Ausgewählt wurden fünf Pistenflächen und deren Umfeld mit genau bekannter Vorgeschichte, d. h. Anlagezeitpunkt der Piste, jährliche Betriebsdauer des Skibetriebs, Präparierungsintensität und Beschneigungszeiträume, um dort Organismen und Vegetation aufzunehmen (Tab. 4.11).

Zur Erfassung der Bienengemeinschaft wurde semiquantitativer Handfang durchgeführt. Dafür wurden auf allen sechs Flächen im Laufe eines Tages für jeweils 40–50 min mit einem Streifnetz besammelt. Dabei wurden vor allem sichtbar fliegende oder auf Blüten sitzende Bienen gefangen. Waren keine Bienen aktiv, wurden die vorhandenen blühenden Pflanzen abgestreift, um in der Vegetation sitzende Tiere zu erfassen (2019).

Es wurden, wenn man die Honigbiene unberücksichtigt lässt, rund doppelt so viele Wildbienen auf den extensiv bewirtschafteten Flächen als auf den intensiv genutzten Flächen nachgewiesen. Bienen- und Hummelvorkommen (Abb. 4.25 und 4.26) zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den Bewirtschaftungsarten. Zur Verbesserung der Situation führt ein Verzicht auf Düngung und Mulchen, Extensivierung der beweideten Flächen sowie späte und gestaffelte Mahd, wobei Strukturen am Rand (z. B. Bereiche mit Disteln) erhalten bleiben sollten.

Die Ergebnisse bei den Tagfaltern bestätigen den hohen Einfluss der Landnutzung und Düngung. Es zeigt sich außerdem, dass trotz Beschneigung bei extensiver Nutzung eine hohe Artenvielfalt auch bei einheitlich intensiv genutzten und beschneiten Skipisten möglich ist (Abb. 4.27). Die Zeiträume und Rahmenbedingungen bei der Regeneration scheinen auch ausreichend gewesen zu sein. Auch im Hinblick auf die Schmetterlinge sollte die Düngung wesentlich reduziert,

Abb. 4.25 Bei einer extensiven Bewirtschaftung kommen drei- bis viermal mehr Bienenarten vor wie auf intensiv bewirtschafteten Flächen. Zu diesen zählt auch die Große Zottelbiene (*Panurgus banksianus*). (H. Bellmann/F. Hecker/blickwinkel/picture alliance)



Abb. 4.26 Die Gewöhnliche Schmalbiene (*Lasioglossum calceatum*) zählt zu den insgesamt 18 Bienenarten im Skigebiet Schmittenhöhe. (E. Nerger/imageBROKER/picture alliance)



Abb. 4.27 Neben dem Natterwurz-Perlmutterfalter (*Boloria titania*) wurden im Skigebiet Schmittenhöhe weitere elf selten gewordene Schmetterlinge der Roten Liste kartiert. (W. Leurs/AGAMI/picture alliance)



Tab. 4.11 Hintergrundinformationen zu untersuchten Flächen und vorgefundene Artenzahlen für Bienen und Tagfalter im Skigebiet Schmittenhöhebahn. (nach Wittmann et al. 2019)

Hintergrundinformationen		Fläche 1	Fläche 2	Fläche 3	Fläche 4	Fläche 5	Fläche 6
Piste seit		1957	1969	1969	1972	1972	1996
Planie		Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Begrünung		–	Spritzbegrünung	Spritzbegrünung	Spritzbegrünung	Spritzbegrünung	Maschinen-saat
Bewirtschaftung	Intensivität	Intensiv	Extensiv	Extensiv	Intensiv	Extensiv	Intensiv
	Art	2 × Mahd ab Anfang Juni	Mahd, Mitte Juli	Mulchen, Ende August	Mulchen, September	Mulchen, Ende August	3 × Mahd ab Mitte Mai
Beweidung		Nachbeweidung durch Rinder	Nein	Nein	Rinder	Nein	Rinder, unregelmäßig
	Düngung	Einmal jährlich	Einmal jährlich	Einmal jährlich	Einmal jährlich	Einmal jährlich	Mehrfach
Beschneigung seit	Art	Festmist	Mäßig Biosol	Mäßig Biosol	Mäßig Biosol	Mäßig Biosol	Gülle
		2005	2005	2005	2009	1995	1995
Präparierung seit		1963	1963	1963	1963	1963	1963
	Höhenlage in Metern	1080–1090	1570–1640	1770–1800	1800–1820	1680–1700	760–770
Vegetation	Geschützte Arten	Keine	Borstgrasrasen auf Teilfläche	Borstgrasrasen	Borstgrasrasen auf Teilfläche	Bergmähwiese	Keine
	Anzahl Rote-Liste-Arten		2	2	1	1	

(Fortsetzung)

Tab. 4.11 (Fortsetzung)

Hintergrundinformationen		Fläche 1	Fläche 2	Fläche 3	Fläche 4	Fläche 5	Fläche 6
Piste seit		1957	1969	1969	1972	1972	1996
Planie		Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Begrünung		–	Spritzbegrünung	Spritzbegrünung	Spritzbegrünung	Spritzbegrünung	Maschinen- saat
Pflanzengesellschaften		Glatthaferwiese	Magerwiese	Magerwiese	Fettweide und Magerwiese ver- zahnt	Magerwiese	Intensiv- wiese arten- arm
Bienen und Hummeln	Artenanzahl	16	10	13	12	13	4
	Individuenanzahl inkl. Honigbiene	59	185	122	91	160	12
	Anzahl gefährdete Arten	1	0	1	1	0	0
Tagfalter	Artenanzahl	15	35	35	17	31	5
	Individuenanzahl	56	152	218	64	251	18
	Gefährdete Arten	1	4	1	2	6	1

eine extensive Beweidung angestrebt oder die Mahd möglichst spät angesetzt werden. Ein strukturreicher Waldanteil würde ebenfalls den Bestand fördern (Wittmann et al. 2019).

Die Ergebnisse zu den Flächen auf Höhenlagen von 700–1820 m ergaben insgesamt auf extensiv bewirtschafteten Pisten, d. h. mit geringer oder fehlender Düngung und nur einmaliger Mahd, bei Wildbienen und Tagfaltern eine hohe Artenvielfalt und Vorkommen von wertgebenden Arten (gefährdete Arten oder Arten der Roten Liste). Die Gegenüberstellung mit intensiver genutzten Teilflächen bestätigt den Einfluss der Bewirtschaftung.

Beispiel geschützte Moorflächen in Sörenberg, Luzern (CH) Widmer et al (2009) untersuchten ebenfalls das Vorkommen von Schmetterlingen auf Skipisten und verglichen die Ergebnisse mit Flächen außerhalb der Piste. Die Ergebnisse der Vergleiche in den Jahren 2001/2002 und 2008 auf Moorflächen, bei der Artenvielfalt und die Anzahl von Schmetterlingen aufgenommen wurden, ergab zwar Unterschiede, diese waren jedoch nicht auf die Beschneigung zurückzuführen (Widmer et al. 2009). Die kleinräumig dort vorgefundenen Unterschiede führen die Autorinnen und Autoren auf die Pistenpräparation und Herstellung von Pistenflächen zurück. So werden für die Pistenpräparation die Vegetation im Sommer tief abgeschnitten und Strukturelemente, wie kleine Gebüsch und Hochstauden, beseitigt. Dadurch fehlen wichtige ökologische und räumliche Nischen, die für vorgefundene Unterschiede verantwortlich gemacht werden. Die Beschneigung hatte darauf jedoch keinen Einfluss.

Teich et al. (2007) kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Bei Untersuchungen zu Laufkäfern, Spinnentieren und Springschwänzen, wurde auf Skipisten ebenfalls eine verringerte Diversität festgestellt. Die Veränderung konnte jedoch nicht klar der Pistenpräparation oder der technischen Beschneigung als Ursache zugeordnet werden.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Im Hinblick auf mögliche indirekte Auswirkungen durch Standortveränderungen und Vegetationsverschiebungen sind Bodenarthropoden und Insekten geeignete Indikatorarten. Es zeigt sich, dass bei am Boden lebenden Arten und Insekten die Veränderung von Oberboden und Vegetation und damit der Strukturreichtum verantwortlich für die Artenvielfalt und das Vorkommen von Spezialisten ist. Ungünstig wirken sich hingegen Planie und Bodenbeschädigungen aus, die vielfach zu einem geringen Deckungsgrad bzw. einer lückigen Pflanzendecke führen. Betrachtet man neben den Bodenarthropoden, insbesondere Wildbienen, Schwebfliegen und Tagfalter, dann wirken hier vor allem die Nutzungsintensität und die Art der sommerlichen Nutzung fördernd oder einschränkend auf die Biodiversität. Die Einflüsse von Planie und Nutzung sind so erheblich, dass Rückschlüsse auf die Wirkung der Beschneigung nicht abgeleitet werden können.

Einfluss der verlängerten Schneebedeckungszeit

Nachdem bislang überwiegend am Boden lebende Arten, wie Spinnen und Laufkäfer, beschrieben wurden, werden im Folgenden Arten betrachtet, die im Boden leben und durch die längeren Schneebedeckungszeiträume betroffen sein könnten, denn in 10 repräsentativen Skigebieten in der Schweiz mit technischer Beschneigung zeigte sich, dass die Böden der Skipisten unter einer technisch hergestellten Schneedecke im Durchschnitt $0,5^\circ$ kälter waren als die Flächen auf Kontrollflächen außerhalb (Rixen et al. 2004). Ein zusätzlicher negativer Einflussfaktor kann das Schmelzwasser aus der technisch beschneiten Piste darstellen. Dadurch könnte eine zusätzliche kühlende Wirkung entstehen, die die Lebensbedingungen für Arten im Boden negativ beeinträchtigen kann (Pintaldi et al. 2017).

Beispiel Grödentäl/Südtirol (It) Hier geben die Forschungsergebnisse von Trockner und Kopeszki (1994) konkrete Hinweise auf Wechselwirkungen zwischen der Bodenfauna und der Beschneigung. Sie untersuchten nicht planierte Pisten mit ungestörten Böden im Grödentäl in Südtirol. Es handelte sich um Braunerden mit vergleichbarem Humusgehalt, pH-Wert und C/N-Verhältnis in 2300 m ü. NN. Die Flächen wurden seit rund 30 Jahren als Skipiste genutzt. Auf den beschneiten Teilflächen war die Beschneigungsanlage zum Zeitpunkt der Untersuchung seit sieben Jahren in Betrieb (Abb. 4.28).

Zunächst wurden die winterlichen Bodentemperaturen in 0, 5, 10, 20 und 40 cm Profiltiefe erhoben. Dabei ergab sich, dass in den Wintermonaten die unbefahrene Wiese infolge der lockeren luftreicheren Schneeauflage und die tech-

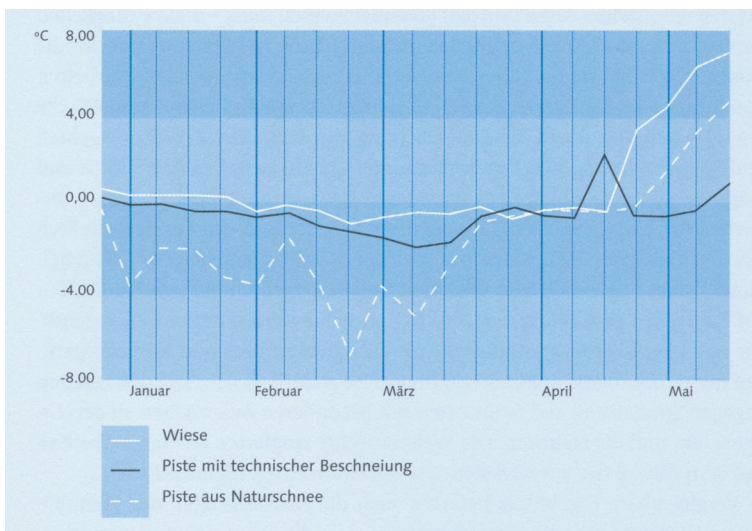


Abb. 4.28 Bodentemperatur, 20 cm unter der Bodenoberfläche auf einer Wiese, Piste aus Naturschnee und einer Piste mit technischer Beschneigung. (Verändert nach Trockner und Kopeszki 1994)

nisch beschneite Skipiste durch die größere Schneehöhe (Abschn. 4.3) einen ähnlichen Temperaturverlauf aufweisen. Charakteristisch sind die relativ hohen und konstanten Temperaturen in den oberen Bodenschichten. Dagegen weist die Piste aus Naturschnee deutlich niedrigere Temperaturen und einen unregelmäßigen Temperaturverlauf auf (Abb. 4.28). Deutliche Unterschiede und Wärmevorteile gegenüber der beschneiten Piste zeigten sich erst im Frühjahr. So taut die technisch beschneite Piste in 20 cm Bodentiefe im Frühjahr um drei Wochen später auf als die unbelastete Wiese auf gleicher Höhenlage. Wenn der Boden – wie in dieser Versuchsreihe – von oben her auftaut, verkürzt sich dadurch vor allem auf der beschneiten Piste die im Bergsommer ohnehin kurze physiologisch aktive Zeit von Bodenarthropoden nicht unwesentlich.

Weiterhin wurden die Porengrößenverteilung und die Versickerungsraten auf den drei Versuchsflächen untersucht und miteinander verglichen. Die Messungen ergaben, dass das Gesamtporenvolumen auf den beiden Pistenflächen reduziert ist, die beschneite Piste jedoch insgesamt die stärkste Verdichtung sowohl bei der Analyse der Bodenproben als auch bei der Versickerungsrate erkennen ließ. Bei den Aufnahmen der Collembolenfauna im Juli wurden auf der beschneiten Piste nur 18 Arten vorgefunden, auf der unbeschneiten Piste 27 Arten, auf der nicht befahrenen Wiese dagegen 28 Arten. Auch das Dominanzgefüge und die Tiefenverteilung weichen deutlich ab. Im Bereich der unbeschneiten Piste und der Wiese waren 35–40 % der Springschwänze in der Bodenschicht zwischen 3 und 6 cm zu finden, bei der beschneiten Piste sind es lediglich 6 %. Wie Tab. 4.12 zeigt, fallen dort vor allem edaphische, d. h. im Boden lebende Arten und in unbefahrenen Pistenböden dominante Arten aus. Ubiquitäre Arten, d. h. Arten mit geringer Spezialisierung, stellen dafür auf beschneiten Pisten die größten Populationen.

Beispiel Jenner, Berchtesgaden (D) Auch die Forschungsarbeiten von Hammelbacher und Mühlenberg (1986) lassen die Verlängerung der Schneebedeckung als Belastungsfaktor erscheinen. Die Autoren untersuchten die Aktivitätszeiträume von Laufkäfern und Weberknechten auf einer präparierten Skipiste und einer Alm-wiese ohne Wintersport im Skigebiet Jenner auf 1200 m ü. NN bei Berchtesgaden. Durch die Verlängerung der Schneebedeckung auf der präparierten Skipiste verschob sich die Aktivitätsdichte bei den Artengruppen deutlich (Abb. 4.29 und 4.30). Ähnliche, möglicherweise sogar stärkere Auswirkungen müssen bei einer Beschneigung erwartet werden.

Beispiel Obereggen (It) Die Veränderungen auf der Skipiste einerseits und die Verlängerung der Schneebedeckungszeit auf der Piste andererseits führen – nach Ergebnissen von Caravello et al. (2006) – zu einer reduzierten Anzahl von Regenwürmern. Die Artenzusammensetzung und Vielfalt unterschieden sich auf den beschneiten Pistenflächen in Obereggen jedoch nicht.

Tab. 4.12 Anteil dominanter Collembolenarten (Springschwänze) auf einer Wiese, einer Piste aus Naturschnee und einer Piste mit technischer Beschneigung. (Verändert nach Trockner & Kopszki 1994)

Arten	Wiese		Piste aus Naturschnee		Piste mit technischer Beschneigung	
	Dominanz in 0–6 cm Tiefe [%]	Anteil in 3–6 cm Tiefe [%]	Dominanz in 0–6 cm Tiefe [%]	Anteil in 3–6 cm Tiefe [%]	Dominanz in 0–6 cm Tiefe [%]	Anteil in 3–6 cm Tiefe [%]
<i>Isotomiella minor</i>	6	65	–	–	–	–
<i>Mesaphorura macrochaeta</i>	26,3	57	24	67	5,9	18
<i>Mesaphorura affinis</i>	–	–	8,1	70	–	–
<i>Mesaphorura hylophila</i>	–	–	5,4	90	–	–
<i>Willemia anophthalma</i>	–	–	5,9	0	–	–
<i>Folsomia quadrioculata</i>	6,4	0	–	–	9,7	0
<i>Isotoma violacea</i>	35,3	0	–	–	40,3	1
<i>Isotoma notabilis</i>	–	–	–	–	21,5	0

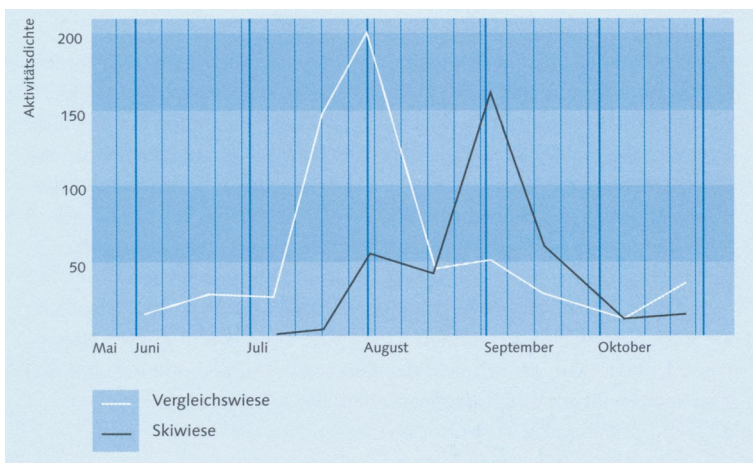


Abb. 4.29 Aktivitätsdichte der Weberknechte auf einer Wiese ohne Skibetrieb und einer Piste mit Naturschnee im Jahresverlauf. Die Aktivitätsdichte errechnet sich aus Individuenzahl x 100/ Falle x Fangtage. (Hammelbacher & Mühlenberg 1986)

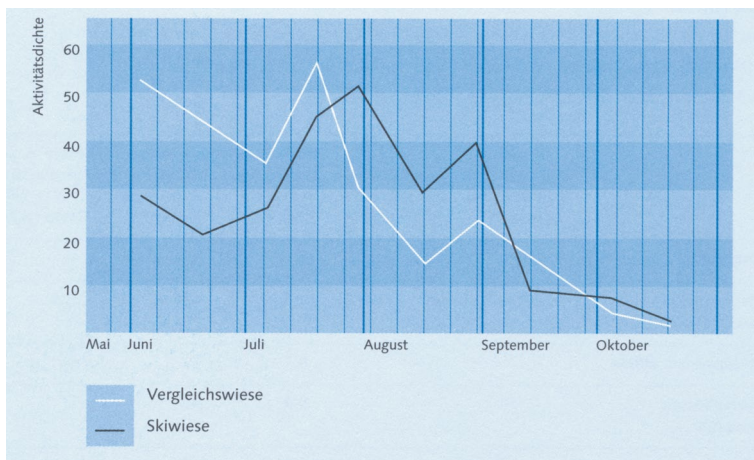


Abb. 4.30 Aktivitätsdichte der Laufkäfer auf einer Wiese ohne Skibetrieb und einer Piste mit Naturschnee im Jahresverlauf. Die Aktivitätsdichte errechnet sich aus Individuenzahl x 100/Falle x Fangtage. (Hammelbacher & Mühlenberg 1986)

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Ob zum Schutz von Bodenarthropoden, wie Spinnen und Laufkäfer, durch die erhöhte Schneedecke beigetragen werden kann, bleibt offen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Sommernutzung und Planie entscheidender sind als der mögliche Schutz vor mechanischen Schäden durch Beschneigung. Dagegen ist mit Auswirkungen durch die verlängerte Schneebedeckung auf Bodenlebewesen zu rechnen. Diese sind vor allem in großen Höhenlagen zu beachten, da sich dort der Bergsommer stark verkürzt. Auf den beschneiten Pisten dominieren vor allem die Allerweltsarten.

Entsprechende Auswirkungen sind auch im Umfeld und Einflussbereich von Schneedepots auf Skipisten zu erwarten, da hier ganzjährig kühles Wasser in die angrenzenden Bodenschichten abgegeben wird.

Auswirkungen von Lebensraumveränderungen auf Wiesenvögel und Kleinsäuger Die Ergebnisse für die Insekten können im weitesten Sinne auf die Feldvögel angewendet werden, da diese auf den Blütenreichtum bzw. den Reichtum an Insekten und Kleinlebewesen reagieren. Damit hängt die Lebensraumqualität wesentlich von einem schonenden Pistenbau, der Pflege bzw. landwirtschaftlichen Nutzung und deren Intensität und dem Schneemanagement im Rahmen der Winterpflege ab.

Da in tiefen und mittleren Lagen des Skigebiets bis 1600 m durch Beschneigung in den meisten Fällen nur Teile der Frei- bzw. Wiesenflächen durch verlängerte Schneebedeckung beeinträchtigt werden und der Entwicklungsrückstand des Frühjahrs im Sommer rasch wieder wettgemacht wird (Abschn. 4.2), kommt es allenfalls zu kurzzeitigen Frühsommerkonzentrationen im unbeschneiten Teilbereich und zu stärkerer Sommermobilität.

Allerdings stellten Rolando et al. (2007) fest, dass alpine Wiesenvögel dazu tendieren, Skipisten und zu einem geringeren Anteil auch angrenzende Offenlandflächen zu vermeiden. Dies gilt aber nur für Untersuchungsflächen in großen Höhenlagen. Hier ist davon auszugehen, dass dies den langen Regenerationszeiträumen der Vegetation in Hochlagen geschuldet ist, die 30 Jahre und mehr umfassen können (Pröbstl 1990; Körner 2003).

Betrachtet man die Feldvögel in Skigebieten, dann zeigt sich zudem, dass eine hohe Anzahl der nichtziehenden Vögel die Wintermonate im Tal verbringt.

Die Vielfalt, die zu Brutzeiten im Pistenbereich kartiert werden kann, hängt davon ab, wie vielfältig und artenreich der Waldrand gestaltet wurde. Dementsprechend wurden bei wenig struktureichen Waldrändern in Skigebieten geringe Artenzahlen festgestellt (Laiolo & Rolando 2005).

Durch verschiedene Pflegemaßnahmen (Kap. 5) können zudem mögliche negative Auswirkungen auf die Pflanzengemeinschaften minimiert werden. Aus diesem Grund sind die indirekten Auswirkungen auf die Avifauna (Vögel) und auf Insekten, die die höheren Straten der montanen Bergwiesen als Lebensraum nutzen, als gering einzustufen. Die Möglichkeit, dass sich durch beschneigungsbedingte Artenverschiebungen in den Pflanzengemeinschaften das Nahrungsangebot für bestimmte Vogelarten, wie den Zitronengirlitz, verschlechtern könnte, ist daher ebenfalls nicht zutreffend.

Bei Kleinsäufern wurde eine Artenverschiebung auf Skipisten gefunden, jedoch keine Abnahme der Diversität (Hadley & Wilson 2004). Untersuchungen im Hinblick auf die Beschneigung sind nicht vorhanden.

Im Blick auf die Bodenfauna sind auch die anlagebedingten Eingriffe zu beachten, auch wenn sie in der Regel nur kleinflächig für Kühltürme, Pumpenhäuser und Ähnliches erfolgen. Größere Eingriffe (Abschn. 4.2) können beim Bau von Speicherseen entstehen.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Auswirkungen auf Vogelarten, Insekten und Kleinsäuger, die auf Blüten- und Samenstände angewiesen sind, sind alleine durch die Beschneigung nicht zu erwarten. Hier sind die landwirtschaftliche Nutzung oder Pflege der Pistenflächen im Sommer und die bereits erfolgten Baumaßnahmen auf der Piste weit entscheidender als die technische Beschneigung.

4.4.2 Auswirkungen der Beschneigung durch Lärm, Licht und Betreuung der Anlage

4.4.2.1 Störung, Stress und Konfliktverhalten

Bevor die potenziellen Auswirkungen durch die Beschneigung auf ausgewählte Indikatorarten beschrieben werden, sind Ausführungen erforderlich, die Einblick in die komplexen Wirkungen bei Vögeln und Säugetieren geben und zum Verständnis der anschließenden Wirkprognosen und Praxisbeispiele beitragen. Dies gilt umso mehr, als die Untersuchungen zu den Auswirkungen menschlicher Störungen auf die Fauna einen Forschungsbereich betreffen, der erst Ende der 1980er-Jahre national und international verstärkt aufgegriffen wurde (Keller 1995). Weiterhin werden im Zusammenhang mit Änderungen des normalen Verhaltensablaufs die Begriffe „Störung“, „Konfliktverhalten“ und „Stress“ gebraucht (Zeitler 1994; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1994; Leicht 1993). Insbesondere im internationalen Sprachgebrauch wird der Begriff „Störung“ vielfach mit „Stress“ gleichgesetzt.

Im Hinblick auf die möglichen Auswirkungen der Beschneigung auf die Tierwelt erscheint es daher erforderlich, diese Begriffe im naturwissenschaftlichen Sinne zu präzisieren und voneinander abzugrenzen. Eine Auseinandersetzung mit diesen Begriffen ist daher allein schon deshalb notwendig, um die Problematik von Verfahrensprognosen und Reizreaktionen im Bereich der Tierwelt selbst bei relativ gut untersuchten Arten nachvollziehbar zu machen.

Im allgemeinen Sprachgebrauch, aber auch in den einschlägigen Gesetzestexten, werden unter dem Begriff „Störung“ zwei verschiedene Bedeutungen zusammengefasst (Mosler-Berger 1994; Stock et al. 1994). Zum einen werden mit „Störung“ Einzelereignisse bezeichnet, aus deren Verlauf klar hervorgeht, dass ein Tier seine momentane Verhaltensweise abbricht und auf diesen Reiz reagiert. Der Begriff wird aber auch gebraucht, wenn die Gesamtsumme aller Belastungen einer Tierart – also die Summe der Störwirkungen – gemeint ist, die auch Auswirkungen auf die Population oder die Biozönose besitzen kann. In der wissenschaftlichen Literatur erfolgt eine stärkere Differenzierung. Danach ist zunächst wertneutral von Reizen (Stock et al. 1994) – Mosler-Berger (1994) bezeichnet sie als „potenzielle Störungsquellen“ – auszugehen. Die Reize (Störreize) können Auswirkungen auf die Physiologie und das Verhalten besitzen. Sie sind jedoch erst dann als Störung zu werten, wenn sie eine nicht kompensierbare, nachteilige Wirkung erzielen. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen dabei zumeist, ausgehend vom Individuum, die möglichen Folgeeffekte für die Population oder das Ökosystem. Der Begriff „Störung“ ist also ein wertender Begriff. Es ist daher nachstehend zu prüfen und zu diskutieren, ob die von der Beschneigung ausgehenden Reize, wie z. B. Beleuchtung und Lärm, eine so gravierende Bedeutung besitzen, dass sie als Störung eingestuft werden müssen. Eine Hilfestellung ist dabei das in Abb. 4.31 dargestellte Schema zur Abfolge von Reiz, Reaktion und weitergehenden Effekten, die dann, wenn sie nicht kompensiert werden können, als Störung einzustufen sind.

► **Definition** Unter dem Begriff „Stress“ werden vonseiten der Verhaltensforschung (Manning 1979) die körperlichen Veränderungen eines Individuums zusammengefasst, die in Konfliktsituationen auftreten können. Die physiologischen Veränderungen sollen dazu dienen, das empfindliche Gleichgewicht des Körperstoffwechsels wiederherzustellen. Schon bei mittlerem Stress und kurzzeitigen Konfliktsituationen ist die Aktivität des autonomen Nervensystems erhöht. Dabei wird das Nebennierenmark über die autonomen Nervenfasern stimuliert, was zur Ausschüttung des Hormons Adrenalin in den Blutkreislauf führt. Dies bewirkt Reaktionen in zahlreichen Körperteilen und bereitet den Körper auf jede Art notwendiger Aktivität vor. Hält die Stresssituation jedoch an, so wird zusätzlich die Nebennierenrinde zur Ausschüttung ihrer Hormone angeregt. Diese tragen dazu bei, die Reservestoffe des Körpers zu mobilisieren und Angst abzubauen. Dauerstress kann zum Tod führen und ist unter anderem ein Kennzeichen im Lebenszyklus einiger kurzlebiger Tiere.

Wie in Abb. 4.31 abgebildet, können durch Reize kurzfristig Stressreaktionen unterschiedlicher Intensität ausgelöst werden. Sie reichen von einer Erhöhung der Herzschlagfrequenz bei Erregung bis zur energiezehrenden Flucht oder zu weiteren Folgewirkungen auf Kondition und Reproduktivität des Individuums. Dabei hinterlassen schwächere Reize kaum Spuren, da das Tier rasch wieder zu normalen Verhalten zurückkehrt oder dieses trotz des Erregungszustands beibehält. In diesem Fall können eventuelle Energieverluste (z. B. als Folge einer erhöhten Blutzirkulation oder einer erhöhten Transpiration) leicht durch eine verstärkte Nahrungsaufnahme, längere Ruhephasen etc. kompensiert werden. Ist dies aufgrund der Reizintensität oder anderer Faktoren nicht möglich und wird beispielsweise Flucht im Tiefschnee fortgesetzt, kann dies gravierende Folgen für die Kondition haben. Geschwächte Tiere werden nicht nur leichtere Beute für Prädatoren, sie können – wie später bei einzelnen Arten noch differenziert ausgeführt wird – bei der Reproduktion benachteiligt sein.

Anders verhält es sich bei Dauerstress als Folge von besonders starken Reizen, einer erhöhten Reizfrequenz, oder Reizen bei besonders ungünstigen Rahmenbedingungen (z. B. Reizsummation, Reize während besonders sensibler Aktivitäten, Tages- oder Jahreszeiten; Abb. 4.32). In solchen Fällen kann die Wirkung des Störreizes oft nicht mehr kompensiert werden. Verendet das Tier als Folge einer geschwächten körperlichen Fitness oder wird durch Störungen in der Balzzeit die Reproduktivität beeinträchtigt, dann reichen die Auswirkungen des Reizes über das betroffene Individuum hinaus und haben möglicherweise Auswirkungen auf die Population.

Dies kann (vgl. Abb. 4.31) weitreichende Konsequenzen nicht nur für die Population, sondern auch für die Biozönose und das jeweilige Ökosystem besitzen. In diesem Fall ist von einer nachhaltigen Störung auszugehen. Folgeeffekte auf die Biozönose sind dann gegeben, wenn die Nische der betroffenen Population nicht durch eine andere Art bzw. Artengruppen ausgefüllt werden kann. Auswirkungen auf das Ökosystem sind anzunehmen, wenn die Schlüsselfunktionen nicht mehr besetzt werden und dadurch eine Verkürzung der trophischen Kreisläufe oder ein Verlust von Puffermechanismen zu befürchten ist.

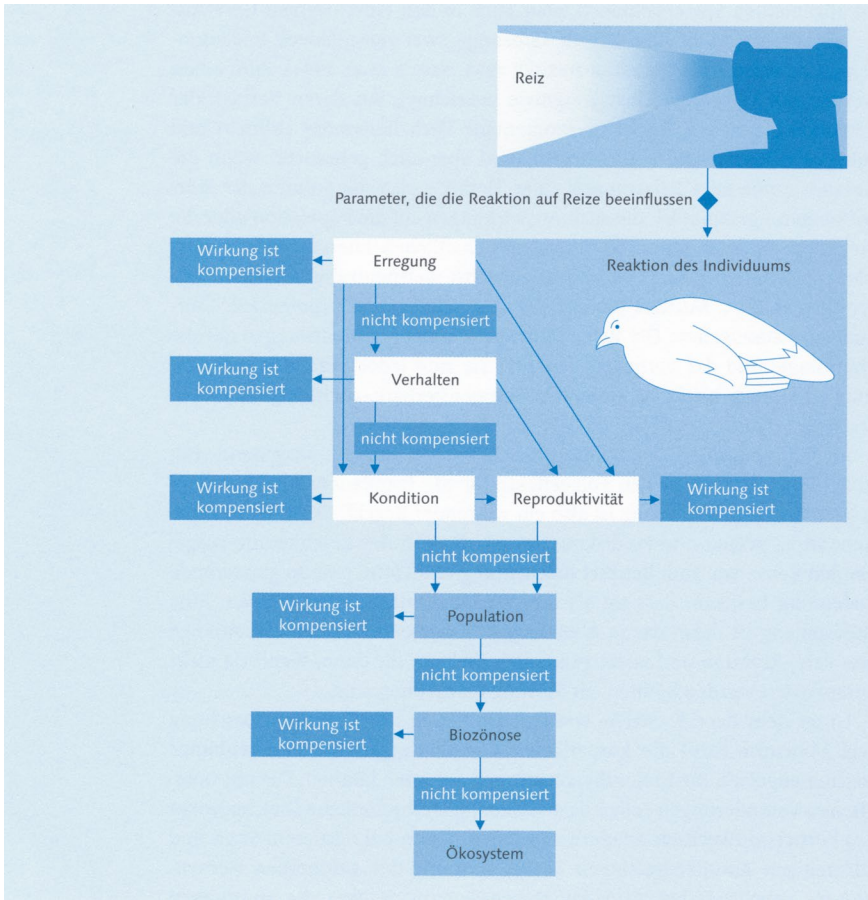


Abb. 4.31 Mögliche Auswirkungen von Störreizen auf Wildtiere. (In Anlehnung an Stock et al. 1994)

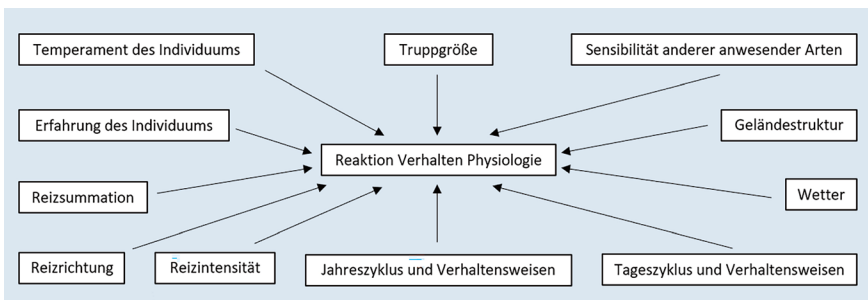


Abb. 4.32 Parameter, die die Reaktionen von Tieren auf Reize beeinflussen. (Verändert nach Kempf und Hüppop 1998)

Ob die in Abb. 4.31 dargestellte potenzielle Wirkungskette überhaupt eintritt, d. h., ob ein Reiz überhaupt eine Reaktion hervorruft, hängt wiederum von vielen Parametern ab, die in Abb. 4.32 zusammengefasst sind.

Neben der Reizintensität und der Art, wie der Reiz auf das Tier trifft, gehören Gewöhnung und Erfahrung zu den wichtigsten Einflussgrößen. Bei der Gewöhnung handelt es sich um die einfachste Art des Lernens (Manning 1979). Sie bedeutet nicht den Erwerb neuer Reaktionsweisen, sondern dass die Reaktion auf einen Reiz geringer wird. Die Gewöhnung ist ein wichtiger Prozess bei der Anpassung des Verhaltens von Tieren an ihren Lebensraum. Sie spielt auch bei der Entwicklung des Verhaltens von Jungtieren eine bedeutende Rolle und bewahrt die Tiere davor, Zeit auf „unwichtige“ Reize zu verschwenden. Hierbei gibt es auch Übergänge zum „assoziativen Lernen“ (Manning 1979).

Die Summenwirkung verschiedener Reize ist ebenfalls gesondert zu betrachten. Vielfach überlagern sich Reize und sind in ihrer Kombination anders zu bewerten als jeder einzelne Reiz für sich. Weiterhin nimmt mit der Häufigkeit der Reize die Wahrscheinlichkeit einer Störung ebenfalls zu. Doch lässt sich aus der Reizhäufigkeit allein (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1994) nicht auf die Intensität der Störung der Wildtiere schließen, denn verschiedene Reize können bei gleicher Häufigkeit unterschiedlich stark wirken.

Weitere Parameter, die in diesem Zusammenhang die Reaktion von Tieren beeinflussen, sind die Geländestruktur (Sichtfeld, Deckung etc.), das Wetter (z. B. über Nahrungsengpässe bei lang anhaltenden Schlechtwetterperioden) und in welcher tages- bzw. jahreszeitlichen Phase der Reiz erfolgt. So kann ein geringer Reiz dann zu Störung werden, wenn empfindliche Zeiträume der Nahrungsaufnahme oder der Paarbindung betroffen sind. Untersuchungen unter anderem mit Vögeln und Gämsen belegen weiterhin, dass auch die Anwesenheit weiterer Arten (z. B. durch Überlagerung von Warnrufsystemen) und das Verhalten der Gruppe (z. B. häufig „blinder Alarm“ bei hohen Jungvögelanteilen im Trupp) bzw. die Gruppengröße Einflüsse auf den Zusammenhang von Reiz und Reaktion haben können (Mosler-Berger 1994; Kempf & Hüppop 1998).

Bei der Beschreibung potenzieller Auswirkungen auf einzelne Indikatorarten wird versucht, diese Einflussfaktoren – soweit Erkenntnisse dazu vorliegen – bei der Wirkprognose, aber auch bei den Empfehlungen zur Vermeidung und Verminderung von Beeinträchtigungen miteinzubeziehen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch eine Trennung zwischen Störungen des Individuums und Auswirkungen auf die Fitness der Population (Bell & Owen 1980; Ingold et al. 1992; Stock et al. 1994).

Trotz richtungsweisender Ansätze (Zusammenstellung bei Keller 1995; Kempf & Hüppop 1998) und praxisnaher Umsetzungsmodelle (Suchant 1991; Zeitler 1995, 2000; Armbruster 1999) werden noch immer Forschungsdefizite angemahnt (Wittmann et al. 2019; Sato et al. 2013). Es fehlen vor allem Forschungsarbeiten und Versuche, die Anhaltspunkte dafür liefern, welches Maß an Störungen bzw. menschlichen Aktivitäten in einem Gebiet tolerierbar ist, und bei denen Fragen eines nachhaltigen praxisnahen Managements im Mittelpunkt stehen (Keller 1995; Kempf & Hüppop 1998). Daher sind auch in der vorliegenden Studie vielfach nur Wirkprognosen möglich, die es durch ergänzende Forschungsarbeiten zu prüfen gilt.

Abb. 4.33 zeigt die aktive Anlage bei Nacht und Abb. 4.34 das angrenzende Gebiet unmittelbar danach in den frühen Morgenstunden. Ein Birkhahn kam eingeflogen und hat dort einige Zeit gefressen. Effekte durch Lärm und Licht aufgrund der Beschneieung waren nicht erkennbar. Der Bereich wurde vor und nach der Beschneieung unverändert genutzt. Das Birkwild hat gelernt, dass von der Anlage keine Bedrohung ausgeht (Abb. 4.34).



Abb. 4.33 Schneerzeuger in Betrieb bei Nacht. Beleuchtung und Lärm können Auswirkungen auf Wildtiere haben. (A. Zeitler)



Abb. 4.34 Beibehalten der Raumnutzung am Morgen durch Birkwild. (A. Zeitler)

4.4.2.2 Störreize und Störwirkungen durch die Beschneigung

Beim Betrieb der Beschneigungsanlage können Reize bzw. Störquellen durch die Ausleuchtung bei nächtlicher Beschneigung, durch den Lärm der Schneeerzeuger, aber auch – in Abhängigkeit vom gewählten System und der vorliegenden Automatisierung – durch die Betreuung und Kontrolle der Anlage entstehen. Insbesondere für Wildtiere und Vögel werden, wie in Tab.4.10 dargestellt, direkte und indirekte Folgen erwartet. Dazu zählen als potenzielle direkte Folgen:

- Flucht und dadurch verursachte Energieverluste mit möglichen weiteren Folgeeffekten
- Verstärkte Bedrohung durch Fressfeinde, insbesondere bei Vögeln
- Verdrängung in suboptimale Lebensräume

Ausgehend von diesen möglichen direkten Folgen kann es im Einzelfall zu einer räumlichen oder zeitlichen Verdrängung verschiedener Arten aus einem Skigebiet bzw. zu einem Rückgang seltener Tierarten kommen. Darüber hinaus werden bei Störungen des Schalenwildes Folgeschäden am Wald (Verbiss, Schältschäden etc.) befürchtet, wie sie von anderen Störreizen her bereits bekannt sind.

Art und Umfang der Lärmbelastung

Bevor die Auswirkungen des Reizes „Lärm“ auf verschiedene Arten und Artengruppen diskutiert werden können, müssen zunächst, in Ergänzung zu Kap. 3, die Rahmenbedingungen beschrieben werden. In der Natur ist – selbst wenn der Mensch subjektiv Ruhe empfindet – immer ein Grundlärmpegel gegeben. Dieser liegt in Wäldern nach Messungen von Roth (1997a) im Bereich von 38–45 dB(A), nach Angaben von Armbruster (1999) zwischen 35 und 38 dB(A).

Auf den Skipisten entsteht, in Abhängigkeit von ihrer Besucherfrequenz und Einrichtung, wie Lifтанlagen oder Infrastrukturelementen, eine Lärmbelastung für Wildtierlebensräume. Nach Angaben von Armbruster (1999), der den Schalldruck von Skilangläuferinnen und -langläufern in 1 m Entfernung von der Schallquelle gemessen hat, muss bei Pulverschnee von rund 55 dB(A) und bei eisigen Verhältnissen von mindestens 75 dB(A) ausgegangen werden (Abb. 4.35). Meist in den Abend- oder frühen Morgenstunden entstehen bei der Präparierung durch Pistenraupen auf der Skipiste Lärmbelastungen in der Größenordnung von 90 dB(A) (in Anlehnung an Probst 1994).

Zu diesem bestehenden Lärmpegel aus der touristischen Nutzung kommen die Lärmbelastungen durch die Beschneigungsanlage hinzu, deren Pegel im Abstand von 1 m je nach Anlagentyp, -modell und -auslastungsgrad (Kap. 3) bei durchschnittlich 80–100 dB(A) liegt. Die Lärmausbreitung in die angrenzenden Wildtierlebensräume erfolgt in Abhängigkeit von der Umgebung sehr unterschiedlich. Dabei spielen nicht nur die Topografie und die Vegetationsstruktur, sondern – wie Armbruster (1999) zeigen konnte – auch die Jahreszeit eine Rolle. Danach erfolgt die geringste Abschwächung unabhängig von der Jahreszeit auf der Freifläche und in Althölzern ohne Naturverjüngung. Ein wirkungsvoller Lärmschutz wird insbesondere im Winter durch jüngere Waldbestände (Nadelholz, Stangenholz und Dickungen) erreicht.

Wie in Abb. 4.35 erkennbar, wird bei einem Schalldruck von 95 dB(A) selbst bei lärmdämmenden Waldtypen erst in über 100 m Entfernung wieder der natürliche Lärmpegel erreicht. Roth und Türk (1996) gehen daher bei einer HKD-Anlage im Skigebiet Göttschen im Durchschnitt von maximalen Verlärmungsradien von 160 m um die einzelnen Lanzen aus. Bei Niederdruck-Schneeezeugern kann von geringeren Werten ausgegangen werden. Hier können bei bewaldeten Pistenrandbereichen Radien von 120 m (Pröbstl 1998) als Richtgröße angesetzt werden. Aus diesem Grund sind, wie Roth und Türk (1996) am Beispiel des Skigebiets Göttschen anschaulich beschrieben, bei nur 10 ha beschneiter Fläche rund 60 ha durch die Verlärmung betroffen. Dies bedeutet, dass vor allem die flächige Verlärmung und ihre möglichen Folgen für den Lebensraum diskutiert werden müssen. Dies gilt insbesondere dann, wenn statt einzelner Abfahrten weite Teile des gesamten Skigebiets beschneit werden sollen.

Neben dem Lärmpegel sind für die Wildtiere aber auch die Zeiträume entscheidend, an denen die Geräusche auftreten. Wie bereits dargestellt, sind die Einsatzzeiten der Schneeezeuger an bestimmte Witterungsverhältnisse gebunden. Weiterhin ist der Einsatz auch davon abhängig, wie viel natürlicher Schnee fällt. Daher ergeben sich in jeder Wintersaison, wie differenzierte Auswertungen des Betriebstagebuches der Beschneieungsanlage der Kandahar-Abfahrt in Garmisch-Partenkirchen zeigen (Abb. 4.36), unterschiedliche Verteilungsmuster. Allerdings

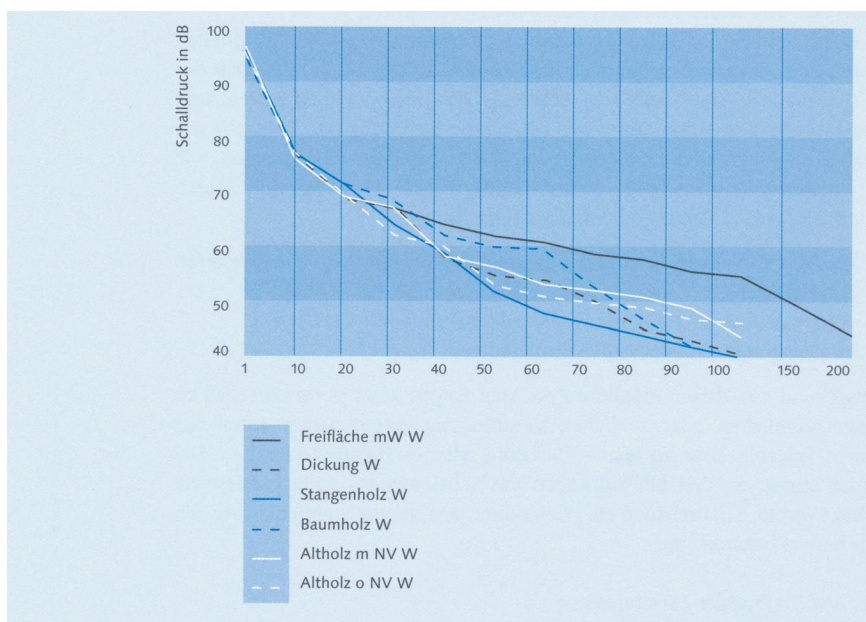


Abb. 4.35 Abschwächung des Schalldrucks in Abhängigkeit von der Entfernung und verschiedenen Waldtypen im Schwarzwald (W bedeutet Wald, mW mit Weg, mNV bedeutet mit Naturverjüngung im Unterwuchs, oNV bedeutet ohne Naturverjüngung). (Nach Armbruster 1999)



Abb. 4.36 Verteilung der Beschneigungsstunden im Gebiet der Kandahar-Abfahrt, Garmisch-Partenkirchen, über drei Jahre von 1993 - 1996. (Auswertung des Betriebstagebuches; U. Pröbstl-Haider)

haben sich diese Verteilungsmuster in den letzten 20 Jahren erheblich geändert. Um die Grundbeschneigung aus touristischer Sicht, aber auch aufgrund der begrenzten Zeiträume aufgrund der Klimaerwärmung, in kurzer Zeit zu ermöglichen (vgl. Kap.2), wird durch Verstärkung der Anlagen ein Zeitraum von 72 Stunden, d.h. meist 3 Tagen und Nächten angetreibt. Vor ca. 20 Jahren summierten sich die Tage mit Beschneigung auf mehrere Wochen (vgl. Abb. 4.36 mit Zeiträumen von 17 bis 34 Tage auf: 1993/94 über 27 Tage, 1994/95 nur über 17 Tage und im Winter 1995/96 über 34 Tage im Skigebiet Classic in Garmisch-Partenkirchen). Die Betriebsstunden lagen entsprechend hoch (im Skigebiet Classic in garmisch-Partenkirchen damals zwischen 314 und 434 Beschneigungsstunden). Wie in vielen bayerischen Skigebieten besaßen damals die Nachtstunden eine besondere Bedeutung für die Beschneigung. Nachts herrschen über einen länge-

ren Zeitraum ideale Temperaturverhältnisse. Bei einer geringen Höhenlage von 780–1180 m ü. NN der beschneiten Flächen gilt dies in besonderem Maße. Damit dehnt sich jedoch die Lärmbelastung in einen Zeitraum aus, der – auch bei intensivem Skibetrieb und Präparierarbeiten – bisher beruhigt war. Aus wildökologischer und faunistischer Sicht (Roth und Türk 1996; Zeitler 2000) ist dabei vor allem die Ausdehnung der Belastung in die Dämmerungsperioden problematisch, die im vorliegenden Fallbeispiel Skigebiet Classic in Garmisch-Partenkirchen damals rund 10 % der gesamten Beschneieungszeit umfassten.

Der Umfang der Beschneieungsstunden hat sich jedoch inzwischen erheblich reduziert. Die Auswertung des Betriebstagebuches der Kandahar-Abfahrt zeigt weiterhin, dass die Anlage damals nicht nur für mehrere Stunden, sondern oft mehrere Tage und Nächte hintereinander in Betrieb war.

Auch aus Kostengründen wird aktuell der Beschneieungszeitraum so kurz wie möglich gehalten. Die meisten Skigebiete geben auf Nachfrage durchschnittlich 72 h an, das entspricht 3 Tagen und 3 Nächten (Wessel 2017). Auch wenn zusätzliche Ausbesserungsbeschneieungen hinzukommen, haben sich die Zeiträume mit Belastungen auf 3 bis 7 Tage für die gesamte Saison reduziert. Die Betroffenheit von Dämmerungszeiten mit hoher Bedeutung für Wildtiere hat dementsprechend ebenfalls stark abgenommen (Wessel 2017).

Damit ergibt sich unter Beachtung der veränderten Rahmenbedingungen folgendes Bild.

Potenzielle Auswirkungen der Lärmbelastung auf Wildtiere – allgemeine Betrachtungen

Die dargestellten Geräuschpegel (Abschn. 3.1), die durch den Betrieb einer Beschneieungsanlage bzw. einzelner Schneeerzeuger verursacht werden, und die angegebenen Messwerte orientieren sich an der frequenzabhängigen Lautstärkenwahrnehmung des menschlichen Ohres. Die Gewichtung der verschiedenen Frequenzen erfolgt also entsprechend dem menschlichen Hörvermögen. Bei Lärmbewertungen (Pflumm 1989; Bowles 1995) werden ergänzend Korrekturen vorgenommen, die in den jeweiligen Bedingungen, wie z. B. Hintergrundgeräuschen, Lästigkeit von impulsartigem Lärm oder dominant auftretenden Einzeltönen, Rechnung tragen und die jeweiligen Bedingungen im Gelände berücksichtigen.

Weder eine Orientierung am menschlichen Hörempfinden noch übliche Lärmbewertungen werden jedoch (Kempf et al. 1996) der Geräuschwahrnehmung und dem Hörempfinden von Tieren gerecht. Im Blick auf die Beschneieung kommt erschwerend hinzu, dass das Hörempfinden von Tiergruppe zu Tiergruppe verschieden und jeweils an die Lebensweise und die charakteristische Umwelt angepasst ist. Unterschiede zwischen den Arten und gegenüber dem Menschen bestehen vor allem in der Hörkurve, d. h. im Bereich und Verlauf der Hörschwelle. Die unteren Hörgrenzen von höheren Tieren liegen etwa bei 50 Hz.

Der Hörbereich umfasst bei Vögeln im Allgemeinen einen engeren Frequenzbereich, und die absolute Empfindlichkeit ist ebenfalls geringer als bei Säugern und Menschen. Die Wahrnehmung von Ultraschall bei Vögeln ist nicht nachgewiesen. Diese können aber teilweise bis weit in den Infraschallbereich hören

(Dooling 1978; Meyer 1986; Bezzel & Prinzinger 1990). Die obere Hörgrenze liegt bei Vögeln um 12.999–30.000 Hz. Säugetiere sind aufgrund des speziellen Baues ihres Mittelohres teilweise in der Lage, Ultraschall wahrzunehmen. Weitere Unterschiede in der Gehörmempfindlichkeit, zu der auch die Schmerzschwelle bei verschiedenen Frequenzen gehört, sind war wahrscheinlich, aber weitgehend ungeklärt (Pflumm 1989; Penzlin 1977; Algers et al. 1978; Meyer 1986; Luz & Lipscomb 1973; Kempf & Hüppop 1996, 1998). Säugetiere können beschädigte oder zerstörte Gehörzellen kaum wieder regenerieren (Rubel et al. 1985).

Lärmwirkung auf die Avifauna (Vögel)

Die Lärmausbreitung durch die Schneerzeuger wird als erheblicher Eingriff in die Lebensräume der Avifauna angesehen. In der Diskussion dabei wird vielfach fälschlicherweise die Empfindlichkeit dem eigenen Störungserlebnis gleichgesetzt. Hier ist jedoch von grundsätzlichen Unterschieden auszugehen. Im Gegensatz zum Menschen treten dauerhafte Lärmschädigungen des Gehörs bei Vögeln offensichtlich kaum auf. Das Innenohr der Vögel ist weniger empfindlich gegen Schädigung durch überlauten Schall als das der Säuger. Nach Bezzel und Prinzinger (1990) scheint hierfür ein Reflex des *Musculus columellaris* verantwortlich zu sein, der die Spannung des Trommelfells reguliert und bei Vögeln die Wirkung von sehr starken Schallimpulsen effizienter dämpfen kann als ein entsprechender Mechanismus bei Säugern. Daneben können Vögel und vermutlich auch Reptilien und Amphibien in hohem Maße beschädigte oder zerstörte Rezeptorzellen regenerieren (Corwin & Cotanche 1988; Ryals & Rubel 1988; Corwin & Warchol 1991; Ali Khan et al. 1994; Bowles 1995).

Wissenschaftliche Studien, die differenzierte Auswirkungen einer Beschneidung auf Vögel (z. B. durch Herzschlagratten, Telemetry) untersucht haben, gibt es nach unserer Kenntnis bislang nicht. Eine auf Langzeitbeobachtungen basierende Studie von Zeitler (2000) gibt erste richtungsweisende Ergebnisse. Daher müssen auch vergleichbare Studien Anhaltspunkte für allgemeine Wirkung und Lautstärke mit bestimmten Formen des Fluglärms verglichen werden. Hierzu liegen verschiedene Erkenntnisse vor (Kempf & Hüppop 1996, 1998).

So zeigte sich bei der Auswertung der Literatur übereinstimmend, dass sichtbare Reize, wie z. B. Flugbewegungen, stärkere Reize bzw. Störwirkungen verursachen als akustische. Auch lautlose Gleitschirmflieger können eine panische Flucht auslösen (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1994; Mosler-Berger 1994). Weiterhin ergaben sich bei den Versuchen auch Lerneffekte. So reagierten (vgl. Beck, zit. nach Hüppop 1995; Flore und Hüppop, zit. nach Kempf & Hüppop 1996; Moosbach & Glader 1991 u. a.) unterschiedliche Vogelarten bereits auf das Geräusch von Flugzeugen, bevor diese zu sehen waren. Dabei war die Reaktion deutlich stärker als beispielsweise bei indifferenten Geräuschen gleicher Lautstärke. Umgekehrt kann deshalb davon ausgegangen werden, dass das „Rauschen“ der Schneerzeuger allenfalls anfänglich als Bedrohung empfunden wird bzw. durch Lernen das Geräusch als nicht bedrohlich bewertet werden kann. In diese Richtung weisen auch die Feldaufnahmen von Schober (1994), der das Arteninventar an Wintervögeln in den Hochlagenwäldern des Bayerischen Wal-

des untersuchte und dabei keine Unterschiede zwischen unbelasteten Urwäldern des Nationalparks und Randbereichen des Skigebiets am Großen Arber fand. Schober vermutet aus diesem Grund eine Gewöhnung an den lärmintensiven Skibetrieb und Belästigungen wie z. B. Pistenpräparationen. Im Rahmen einer artenschutzrechtlichen Prüfung am Unternberg in Ruhpolding wurden die Kartierungen der Avifauna im Skigebiet aus dem Jahr 1998 mit Aufnahmen von 2019 verglichen. Die Wiederholungsaufnahmen 20 Jahre später ergaben dieselbe Artenzusammensetzung trotz Beschneieung und Flutlichtbetrieb (Reiser 2023). Auch Beobachtungen im Skigebiet Fellhorn bei Oberstdorf (Zeitler 2000) ergab Annäherungen von Birkhühnern bei der Nahrungsaufnahme bis rund 200 m an laufende Schneerzeuger.

Dies alles lässt darauf schließen, dass in physiologischer Hinsicht und im Hinblick auf Schreckreaktionen kaum Beeinträchtigungen der Vögel durch den Lärm von Beschneieungsanlagen zu erwarten sind. Wenn dieser trotzdem nachhaltige negative Auswirkungen haben kann, so liegt dies eher am Einfluss auf die Nahrungssuche und an lokalen Jagdmethoden (Abb. 4.37).

Andauernde Umweltgeräusche – wie Straßenlärm – können die Balzstrophen des Auerhahnes überdecken (Hjorth 1977) bzw. Singvogelgesang beeinträchtigen und damit den Verpaarungserfolg von Singvogelmännchen verringern (Reijnen & Foppen 1991), Territorialstrukturen destabilisieren und Jungvögel zu gesanglichen „Stümpfern“ mit nur noch geringer Reproduktionswahrscheinlichkeit machen. Aufgrund der Reduktion der Tage mit Beschneieung auf durchschnittlich 72 h ist von entsprechenden Effekten nicht auszugehen.

Eine gesonderte Betrachtung innerhalb der Vögel erfordern die Eulen und Käuze, die durch ihre dämmerungs- und nachtaktive Lebensweise und ihr be-



Abb. 4.37 Skipisten werden als Lebensraum genutzt. Das Bild zeigt ein Birkhuhn und einen Birkhahn unmittelbar neben der Mittelstation am Fellhorn. Daher wirkt es sich positiv aus, wenn die Beschneieungszeiträume kurz sind. (A. Zeitler)

sonders empfindliches Gehör durch eine Beschneidung erheblich gestört werden können.

Eulen und Käuze zeichnen sich durch ein großes Außenohr mit rundherum ohrmuschelartig angeordneten Federn aus. Auch das Innenohr ist gut entwickelt. Durch die erhöhte Anzahl von akustischen Empfangszellen im Gehirn (Neuronen) können hohe Frequenzen, wie z. B. Rufe von Kleinsäugetern, besser vernommen werden. Die asymmetrisch angeordneten Ohröffnungen ermöglichen ein präzises Lokalisieren der Beute. Wird eine Schallwelle von einem Ohr früher empfangen als vom anderen, kann das Tier die Richtung, aus der das Geräusch kam, extrem genau berechnen.

Vor diesem Hintergrund werden Konflikte durch die Beschneidung besonders bei störepfindlichen, gefährdeten Arten der naturnahen Bergwälder erwartet. Hierzu zählen vor allem Raufußhühner (d.h. Schneehuhn, Auerwild und Birkwild), die Kleineulen und Bergspechte. Aus diesem Grund werden in Abschn. 4.4.3 mögliche Auswirkungen für einzelne potenziell betroffene Arten besprochen. Weiterhin sind Summeneffekte der Beschneidungsanlage mit Gefahren durch Kollision mit Liftleitungen (Drahtseilen) zu diskutieren (Holden 1999).

Lärmwirkung auf Säugetiere

Das Hörempfinden der verschiedenen Arten ist – entsprechend ihrer Anpassung an den jeweiligen Lebensraum – sehr unterschiedlich ausgeprägt. Anders als Vögel können Säugetiere aufgrund des anderen Baues ihres Mittelohres teilweise Ultraschall wahrnehmen.

Die Reaktionsbewertung ist bei Wildtieren sehr schwierig und kann nur anhand von Verhaltensänderungen und einigen physiologischen Reaktionen erforscht werden. Der Untersuchungsaufwand ist hoch, und im Freiland sind kaum standardisierte Bedingungen (die z. B. in ausreichendem Maße andere Reize ausschließen) herzustellen. Wie Wildtiere auf Reize reagieren, ist zudem in starkem Maße von der augenblicklichen Aktivität, Tages- und Jahreszeit, von der sozialen Struktur (Gruppe, Herde), dem Führen von Jungtieren, anderen gegebenen Reizen oder Belästigungen (z. B. Insekten), von der Witterung, der Geländestruktur, ganz wesentlich auch von der individuellen Erfahrung des einzelnen Tieres und viele anderer Faktoren abhängig.

Dies erschwert auch die Vergleichbarkeit der dazu vorliegenden Untersuchungen. Vielfach wurden zudem Störungen nicht nach optischen und akustischen Reizen getrennt betrachtet, sondern als „Störung“ durch die jeweilige Freizeitaktivität oder Nutzung zusammengefasst. Hinzu kommt, dass sich akustischer und optischer Reizanteil oft schwer voneinander trennen lassen. Auch die Klassifikation der Reaktion, d. h., ab wann eine Reaktion als solche erfasst wird, zählt zu den methodischen Schwierigkeiten: Wird bereits Nervosität gewertet, oder muss eine auffällige Flucht gegeben sein?

Dies sind mögliche Erklärungen für die zum Teil widersprüchlichen Ergebnisse in störungsbezogenen Veröffentlichungen. Dennoch lassen sich aus der Literatur einige generelle Tendenzen herausarbeiten (Mosler-Berger 1994; Kempf & Hüppop 1996; Zeitler 1995; Ingold 1993; Ingold et al. 1992; Curio 1993; Zeitler

2000). In den Tierexperimenten im Labor konnten bei lang anhaltenden Lärmbelastungen physiologische Schäden beobachtet werden. Hierfür sind Dauer und Schallpegel von mehr als 85 dB(A) entscheidend. Die Auswirkungen auf die Vitalität reichen von Veränderungen des Hormonspiegels, des Kreislaufs, der Verdauung, des Immunsystems und des Fortpflanzungsverhaltens bis zu weiteren Verhaltensmerkmalen (Algers et al. 1978, zit. nach Kempf & Hüppop 1996), die vielfach auf Stress hinweisen.

Bei Feldversuchen zeigt sich, dass Lernprozesse und Gewöhnung eine große Rolle spielen. So sind auf unerwartetes Knallen Schreckreflexe zu beobachten, die bei Wiederholung immer seltener werden. Mit der Regelmäßigkeit und Häufigkeit kann dessen Ungefährlichkeit erlernt werden. Der Lernprozess zeigt sich auch daran, dass Säugetiere sich dann als relativ unempfindlich gegen Lärm erweisen, wenn sich dieser nicht als „Gefahrenindikator“ für sie darstellt und z. B. die Annäherung von Menschen ankündigt. Diverse Studien weisen auch darauf hin, dass optische Störreize eine stärkere Bedeutung besitzen als Lärm. So werden etwa Truppenübungsplätze auf Dauer in hohen Dichten wiederbesiedelt.

Eine starke Belastung kann durch Kumulation von Störreizen gegeben sein: Werden bereits Störreize, z. B. ein Heißluftballon, wahrgenommen, kann ein Geräusch – oft geringer Lautstärke – zu starken Reaktionen (z. B. Flucht) führen. Jeder Störreiz für sich würde vielfach keine Reaktion auslösen.

Potenzielle Auswirkungen der Beleuchtung auf Wildtiere

Obwohl technisch in der Regel nicht mehr notwendig, kann man bei Beschneigung bei Nacht oder in der Dämmerung eine flächige Ausleuchtung der Pistenfläche bzw. der zu beschneidenden Bereiche beobachten. Dies kann durch bestehende Flutlichtanlagen für den Skibetrieb oder Strahler, die in Verbindung mit dem Schneerzeuger eingesetzt werden bzw. mit dieser verbunden sind (Abb. 4.38), erfolgen.

Die Scheinwerfer waren vor allem in der Vergangenheit (in den 1980er- und 1990er-Jahren) von großer Bedeutung, da bei nur geringen Möglichkeiten zur Automatisierung ein hoher Kontrollaufwand betrieben und Maschinen versetzt oder manuell neu ausgerichtet werden mussten. Aber auch heute werden – trotz einer verbesserten Technik bei Steuerung und Automatisierung – die zu beschneidenden Flächen vielfach noch ausgeleuchtet, obwohl dies nicht unbedingt notwendig wäre. Da unterschiedliche Produkte verwendet werden, sind allgemeine Angaben zu den ausgeleuchteten Flächen schwierig. Nach den Erfahrungen im Gelände und nach Rücksprache mit diversen Betreibern liegt die Reichweite der ausgeleuchteten Bereiche in offenem Gelände bei rund 100 m, in bewaldeten Bereichen je nach Ausformung der Waldränder deutlich darunter.

Die Folgen der Ausleuchtung sind für die einzelnen Tiergruppen und -arten sehr unterschiedlich. Sie können folgende Effekte umfassen:

- Blendwirkungen
- Störung der Wildwanderung (Zerschneidung von Lebensräumen)
- Energieverluste bei der Flucht



Abb. 4.38 Niederdruck-Schneeerzeuger mit Scheinwerfer. (U. Pröbstl-Haider)

- Störung bei der nächtlichen Beutejagd
- Leichtere Auffindbarkeit für Prädatoren
- Vertreibung aus optimalem Einstand bzw. Ruhegebieten mit möglichen Folgewirkungen auf den physiologischen Zustand und den Schutz vor Feinden
- Physiologische Beeinträchtigung durch Stress bzw. Unterbrechung nächtlicher Ruhephasen oder der Nahrungsaufnahme. Hier spielt – wie bereits eingangs dargestellt – der Zeitpunkt der Pistenausleuchtung bezogen auf den Tagesablauf eine wichtige Rolle, d. h., ob die Störung durch die Ausleuchtung die Dämmerung einschließt, in der viele Arten aktiv sind, oder sich ausschließlich auf die Nachtstunden beschränkt. Aus wildökologischer Sicht (Roth und Türk 1998) wird eine Beschneigung mit Ausleuchtung in Zeiten der Dämmerung als besonders nachteilig eingestuft. Auf die artspezifischen Unterschiede wird in Abschn. 4.4.3 eingegangen.

Bei der Beurteilung von möglichen zusätzlichen Belastungen ist, wie beim Lärm, auch bei der Beleuchtung zu beachten, dass Vorbelastungen, wie die Präparierung mit beleuchteten Pistenraupen sowie Scheinwerferlicht durch Verkehr, mitberücksichtigt werden müssen. Zudem ist bei neuen Anlagen keine Notwendigkeit der Ausleuchtung gegeben, da sie digital gesteuert werden. Es genügen kleine rote Positionslichter an dem Schneeerzeuger, um diese sichtbar zu machen. Nachdem sich die Zeiträume mit Beschneigung durch effiziente und eine höhere Anzahl von Schneeerzeugern nunmehr auf wenige Tage beschränken, haben die Belastungen durch Ausleuchtung stark abgenommen.

Potenzielle Auswirkungen durch Betreuung der Anlage und veränderte Nutzungszeiträume

Früher erforderte der Betrieb einer Beschneigungsanlage vielfach eine Betreuung, die den Aufenthalt von Personen im Skigebiet zu unterschiedlichen Tageszeiten notwendig machte und damit zu Störungen führen konnte. Bei modernen digital gesteuerten Anlagen ist dies in der Regel nicht mehr der Fall bzw. die große Ausnahme bei Störungen oder technischem Versagen. Dies gilt umso mehr, als auch ein Versetzen der Schneeerzeuger bei der Beschneigung der Vergangenheit angehört und nurmehr bei kleinen Anlagen praktiziert wird.

Veränderte räumliche Nutzungsmöglichkeiten und Habitatfragmentierung

In den vielen beschneiten Skigebieten kommt ein wesentlicher, bislang in der Fachliteratur wenig betrachteter Belastungsfaktor hinzu, der am Beispiel des Angebots in Garmisch-Partenkirchen erläutert werden soll.

Wie die Skigebietsuntersuchungen in Garmisch-Partenkirchen (Ammer & Pröbstl 1996) zeigen, gab es, bevor die technische Beschneigung entwickelt und eingesetzt wurde, in jedem Winter Zeiträume, in denen aufgrund von Schneemangel wegen fehlender Niederschläge oder milder Witterung der Skibetrieb nicht stattfinden konnte. Das bedeutet, dass ohne Beschneigung die Raumnutzung durch den Winterbetrieb unterbrochen ist. Dass einzelne Arten auf solche Unterbrechungen auch kurzfristig reagieren, belegen unter anderem Untersuchungen während der Revision der Hausbergbahn (Pröbstl et al. 1996), wo Raufußhühner auf den Pistenflächen beobachtet werden konnten. Durch die Beschneigung entfallen diese Zeiträume weitgehend. Damit kann die Zerschneidung von Gebieten verstärkt und unter Umständen die benötigte Arealgröße, in der suboptimale Lebensräume wie das Skigebiet eingeschlossen waren, unterschritten oder die Konzentration in verbleibenden Einstandsgebieten zu stark erhöht werden. Hier-von sind störepfindliche Arten mit großen Arealen, wie z. B. das Auerwild, möglicherweise betroffen.

Eine Aussage über eine solche mögliche Betroffenheit ist nur auf der Grundlage einer differenzierten Habitatstrukturanalyse im Sommer und Winter möglich (Abb. 4.39) (Suchant 1992, Zeitler 2000). Zu den potenziellen Folgen einer Habitatfragmentierung zählen:

- Verkleinerung des ursprünglichen Lebensraums
- Begrenzung der Ausbreitungsfähigkeit der Tiere
- Reduktion der Möglichkeiten zur Nahrungssuche
- Einfluss auf das Territorialverhalten und die Reproduktion
- Im Extremfall sogar Isolationseffekte mit genetischen Veränderungen (Inzuchtdepression, genetische Drift).

Mit der Langzeitstudie von Zeitler (2000) wurden solche Effekte durch großflächige Raumanalysen, im Hinblick auf ein Skigebiet mit mehreren beschneiten Abfahrten, behandelt. Das nachstehende Fazit fasst die Erfahrungen zusammen.



Abb. 4.39 Wildtiere nutzen das Skigebiet als Teillebensraum, auch wenn das die Erholungssuchenden meist nicht wahrnehmen, wie hier Birkwild am Pistenrand. (A. Zeitler)

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Lärm, Licht und die Betreuung der Anlage bei Störfällen können zu Beeinträchtigungen des Lebensraums für die Wildtiere im Berggebiet führen. Ob es allerdings zu wirksamen Störungen mit Folgen für das Individuum oder die Population kommt, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu zählen nicht nur die äußeren Bedingungen, wie etwa Tageszeit und Wetter oder die Qualität des Lebensraums, sondern z. B. auch die Erfahrungen und das Temperament des einzelnen Individuums. Darüber hinaus sind die Reaktionen einzelner Arten auf verschiedene Störreize wie Lärm oder Licht verschieden. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass eine Ausleuchtung in der Regel nicht mehr notwendig ist und daher darauf verzichtet werden sollte.

Werden die Pisten während der Beschneidung dennoch ausgeleuchtet oder wird die Anlage kontrolliert, können zu den Folgen für die Tierwelt Blendwirkungen, eine Störung der Wildwanderung, Energieverluste bei der Flucht und eine Störung bei der nächtlichen Beutejagd, eine leichtere Auffindbarkeit für Feinde (Prädatoren), eine Vertreibung aus geeigneten Einständen und eine Unterbrechung nächtlicher Ruhephasen gehören. Ist dies auf wenige Tage beschränkt, ist nicht von erheblichen Auswirkungen auszugehen.

Zusätzliche Störeffekte entstehen durch die Präparation und können durch nächtlichen Skibetrieb, auch Skitourengehen am Rande der Piste, auftreten. Die Summe der Störwirkungen kann insgesamt zu einer veränderten

Raumnutzung führen. Zu den möglichen Folgen können hier eine Verkleinerung des möglichen Lebensraums, eine Begrenzung der Ausbreitungsfähigkeit, ein verändertes Territorialverhalten und im Extremfall Isolationseffekte gehören.

Allerdings ergeben sich erhebliche Unterschiede bei verschiedenen Arten und Artengruppen (Abschn. 4.4.3). Bei vielen Arten sind, insbesondere im Hinblick auf den Lärm, Gewöhnungseffekte feststellbar.

4.4.3 Verhaltensprognosen und potenzielle Betroffenheit bei ausgewählten Arten

4.4.3.1 Verhaltensprognosen und potenzielle Betroffenheit bei ausgewählten Arten

Nachstehend werden für ausgewählte, durch die Beschneigung potenziell betroffene Arten, ausgehend von den potenziell möglichen Störreizen Lärm, Licht und Betreuung der Anlage, denkbare Störwirkungen diskutiert und Wirkprognosen – soweit möglich – auch mithilfe von Fallbeispielen abgeleitet.

Bei der Analyse einer potenziellen Betroffenheit werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die drei möglichen Störwirkungen (Licht, Lärm, Betreuung) zusammenfassend behandelt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Lärmbelastung. Darüber hinaus ist ohnehin eine Reizkombination zu prüfen, die oft gravierendere Folgen hat als ein einzelner Störreiz.

Beobachtungen von Zeitler (2000) im Skigebiet Fellhorn in Oberstdorf ergaben bei Steinmarder, Baummarder und Hermelin eine Präsenz im Skigebiet, die der den Jahren ohne Beschneigung entspricht. Auch bei den Alpen-Murmeltieren bzw. ihren Bauen wurden keine unmittelbaren negativen Effekte festgestellt. Die Baue waren rechtzeitig schneefrei. Störungen durch den Baubetrieb sind möglich. Rotfüchse passierten laufende Anlagen im Abstand von wenigen Metern.

Daher werden nur die Tierarten betrachtet, die im Winter im Skigebiet sind und nicht durch Wanderbewegungen ins Tal oder durch Vogelzug nach Süden im Winter ohnehin fehlen. Ausgeklammert werden weiterhin Arten wie das Murmeltier oder andere Säugetiere, deren Betroffenheit durch den Winterschlaf unwahrscheinlich ist oder die im Hinblick auf den Betrieb der Anlage mit einer geringen Störsensibilität reagieren.

Die nachstehend näher charakterisierten Arten wurden aufgrund ihrer Eignung als Indikatoren ausgewählt und um die Arten ergänzt, deren potenzielle Betroffenheit aufgrund ihres Schutzstatus besonders zu beachten ist (Mosler-Berger 1994; Zeitler 1994, 1995; Ingold 1993).

Reduzierte Betroffenheit im Winter

Der Umfang, in dem Bergvögel in Abhängigkeit vom Jahresrhythmus unterschiedliche Zonen des Höhengradienten nutzen und dabei massive Ortsveränderungen vornehmen, wird vielfach unterschätzt. Dies ist im Hinblick auf die Eingriffsbewertung von Bedeutung, da sich dadurch die Zahl der potenziell betroffenen

Arten deutlich reduziert. Darüber hinaus sind von den im Winter verbliebenen Arten auch nicht alle relevant. So wurde im Skigebiet Göttschen im Rahmen einer landschaftspflegerischen Begleitplanung eine avifaunistische Aufnahme zu diesem Aspekt durchgeführt (Roth und Türk 1996). Das Untersuchungsgebiet liegt in der montanen und hochmontanen Stufe und ist nordexponiert, wodurch in den höheren Lagen bereits subalpine Umweltbedingungen erreicht werden. Insgesamt wurden 37 Vogelarten nachgewiesen. Bei einer differenzierten Betrachtung im Hinblick auf die im Gebiet verbleibenden „Wintervögel“, die hier durch Liftausbau und Beschneigung potenziell betroffen sein können, reduzierte sich die Zahl auf 19 Arten.

Untersuchungen von Schober (1994) belegen, dass auf die Betrachtung der Kleinvögel im Hinblick auf die Beschneigung verzichtet werden kann. In durch den Skibetrieb stark belasteten Räumen des Bayerischen Waldes wurden die gleichen Arten nachgewiesen wie im unbelasteten Urwaldgebiet des Bayerischen Nationalparks zur selben Jahreszeit (z. B. Wintergoldhähnchen, Tannenmeise, Waldbaumläufer, Haubenmeise, Kohlmeise, Kleiber oder Erlenzeisig). Auch Zeitler (2000) betont, dass die für das Skigebiet charakteristischen Wintervögel wie Alpendohle, Alpenbraunelle, Elstern, Erlenzeisige, Fichtenkreuzschnäbel, Gimpel, Haubenmeisen, Kolkraben, Rabenkrähen, Schneefinken und Tannenmeisen keine nachhaltigen Auswirkungen durch den Betrieb von Beschneigungsanlagen erfahren. Auch in anderen störoökologischen Studien zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Zunahme der Besucherinnen und Besucher auf den Wanderwegen und der Anzahl der Brutvögel. Es wird davon ausgegangen, dass ein ausreichendes und artspezifisch angepasstes Angebot an Nahrung und Brutplätzen wichtiger ist (Gohlke et al. 2019).

Abb. 4.40 zeigt ausgewählte Arten und die Zonen bzw. charakteristische Lebensräume, in denen sie in den Sommer und Wintermonaten vorkommen.

Betrachtung einzelner Arten

Bei der nachstehenden Analyse steht zunächst eine Beschreibung der Lebensraumansprüche und Habitate im Mittelpunkt. Darauf aufbauend lassen sich potenzielle Auswirkungen der für die Beschneigung charakteristischen Störreize ableiten und Folgeeffekte diskutieren.

Die jeweiligen Angaben im Hinblick auf die Rote Liste (RL) und den Gefährdungsgrad beziehen sich auf den deutschen Alpenraum (2023). Eine andere Einstufung z. B. in anderen Alpenländern oder den Mittelgebirgen ist daher möglich. Weiterhin ist ein Schutz durch die Europäische Vogelschutzrichtlinie und die FFH-Richtlinie zu beachten. Dies erfordert bei Bauvorhaben regelmäßig eine differenzierte spezielle artenschutzrechtliche Prüfung für Vögel und ausgewählte Arten nach Anhang 4 der FFH-Richtlinie.

Raufußhühner

Auerhuhn (Tetrao urogallus)

Das Auerhuhn (Abb. 4.41) ist sowohl in Deutschland "vom Aussterben bedroht" (Kat. 1 der Roten Liste) und wird auch in Österreich als "stark gefährdet" eingestuft. Nach Untersuchungen von Storch (1993) nutzen Hähne in den Baye-

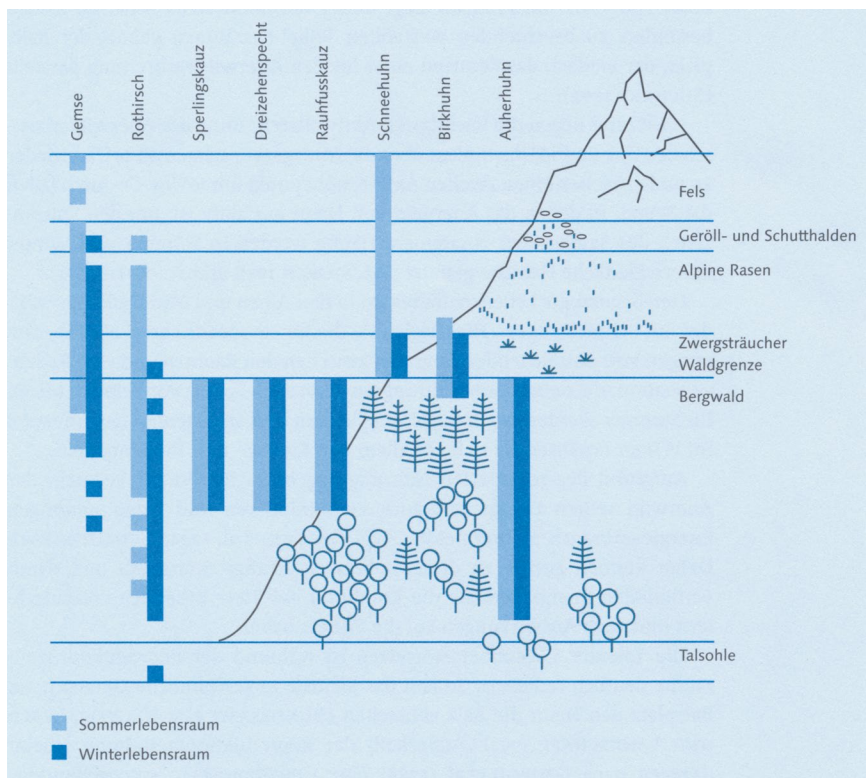


Abb. 4.40 Aufenthaltsschwerpunkte der für die Beschneigung besonders relevanten Tierarten in alpinen Landschaften

rischen Alpen ganzjährig etwa eine Fläche von 645 ha, im Winter von 254 ha. Bei Hennen kann von einem Streifgebiet von durchschnittlich 519 ha, im Winter von 159 ha ausgegangen werden. Als Mindestgröße für Auerhennen im Winter nennt Storch (1993) einen Aktionsraum von 10 ha, im Frühjahr liegt dieser bei mindestens 17 ha. Zu seinen besonders zu beachtenden wertvollen Teillebensräumen gehört der Balzplatz, der vielfach das Zentrum einer lokalen Auerwildverbreitung darstellt (Suchant 1992). Im Winter liegen die wichtigsten Aktivitätszeiträume des Auerwildes zwischen 8 und 10 Uhr, sinken über die Mittagszeit, steigen ab 14 Uhr wieder an und erreichen einen zweiten Aktionshöhepunkt um 16 Uhr. Dadurch fallen die Zeiten, in denen das Auerwild von Natur aus aktiv ist, mit den Spitzenzeiten des Skibetriebs zusammen. Häufig werden im Sommer und Winter unterschiedliche Habitate genutzt (Storch 1995; Schroth 1991).

Den bevorzugten Lebensraum bilden in den Alpen und Mittelgebirgen Wälder mit lichter Struktur. Hier finden die Tiere die für sie spezifischen Lebensbedingungen vor: ausreichenden Flugraum zwischen den Bäumen und eine Bodenvegetation, die neben dem Nahrungsangebot auch Schutz vor Feinden bietet. Im Sommer werden bevorzugt Heidelbeeren und Insektenlarven gefressen. Im Winter ernähren sie sich vor allem von Kiefern- und Tannennadeln.



Abb. 4.41 Der Auerhahn (*Tetrao urogallus*) gehört zu den störsensiblen Vogelarten. (M. Bosch/Shotshop/picture alliance)

Aufgrund des reduzierten Nahrungsangebots im Winter versucht das Auerwild, seinen Energieverbrauch zu minimieren und jeden unnötigen Energieverbrauch zu vermeiden (Georgii et al. 1984; Schroth 1994). Daher können gerade zu dieser Jahreszeit häufig Störungen und damit verbundene Energieverluste die Kondition der Tiere erheblich verschlechtern und auch Auswirkungen auf die Fitness haben.

Die Toleranz gegenüber Störreizen ist während der Reproduktionszeiträume deutlich reduziert. So lässt das kleinste ungewöhnliche Geräusch am Balzplatz den Hahn die Balz abbrechen (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1993). Außerhalb der Reproduktionszeiträume scheint dagegen nach Georgii et al. (1984) eine Gewöhnung an weggebundene Störreize möglich. Schroth (1994) ermittelte jedoch eine geringere Fundwahrscheinlichkeit indirekter Auerwildnachweise, wie Losungen, Federn und Huderstellen, im Bereich von Wanderwegen.

Diese scheinbar widersprüchlichen Ergebnisse lassen sich damit erklären, dass das Auerwild vielfach gezwungen ist, einen Kompromiss zwischen Habitatqualität und Störungstoleranz zu finden. So stellte Eiberle (1976) bei Untersuchungen in den Schweizer Voralpen fest, dass selbst die unmittelbare Umgebung von Fußwegen bevorzugt wurde, falls dort günstige Habitatstrukturen vorhanden waren. Je höher die Habitatqualität war, desto größer war dort auch die Toleranz für Störreize. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei Studien im Schwarzwald, wo ebenfalls eine Überlagerung und ein enges Nebeneinander von Loipen und Habitaten gegeben sind (Roth 1995; Suchant 1995). Dies gelingt unter anderem durch die Anpassung der Aktivitätszeiträume, z. B. eine verstärkte Nutzung der frühen Morgen- und Abendstunden bei der Nahrungsaufnahme, sowie durch Wechsel in unterschiedliche Lebensräume zu verschiedenen Jahreszeiten.

Allerdings zeigten Untersuchungen aus dem Schwarzwald (Suchant 1992) auch, dass bei zunehmender Zersplitterung der Lebensräume die Bedeutung der Störung und deren Folgeeffekte, wie verstärkte Prädation, immer mehr durchschlagen. Wenn man berücksichtigt, dass der Arealbedarf einer funktionsfähigen Metapopulation bei 5000–10.000 ha liegt, die verschiedenen Subareale (Utschick 1991) nicht mehr als 30 km auseinanderliegen dürfen und ein regelmäßiger Austausch wohl nur über 10–15 km Entfernung erfolgt, dann kann dies in größeren Ski- oder Loipengebieten schnell zum limitierenden Faktor werden.

Im Hinblick auf die Beschneigung gibt es nur wenige wissenschaftliche Studien, die deren Einfluss auf die Raufußhühner dokumentieren und analysieren. Im Rahmen der ökologischen Begleituntersuchungen zur Beschneigungsanlage an der FIS-Abfahrt am Feldberg (Schwarzwald) zeigten Beobachtungen im ersten Beschneigungsjahr, dass die Tiere die Lebensräume um die beschneite Abfahrt nach wie vor nutzen (Roth 1997b, 1998a). Dies wird auch durch Beobachtungen in Allgäuer Skigebieten belegt (Zeitler 2000).

Dies spricht – auch wenn sich solche singulären Beobachtungen nur bedingt übertragen lassen – dafür, dass sich die Tiere unter gewissen Voraussetzungen an diese Veränderung in ihrem Lebensraum gewöhnen können oder, wie dargestellt, nicht abwandern, sofern die Habitatqualität hoch ist. Hervorzuheben ist, dass in den Untersuchungsräumen im Allgäu und im Schwarzwald bereits vor der Beschneigung eine hohe Belastung gegeben war und sich damit für die Tiere die Reizintensität nur graduell änderte.

Trotz dieser anzunehmenden Gewöhnung an einen durchschnittlichen Betrieb in bereits vorbelasteten Räumen sind verschiedene Vermeidungsmaßnahmen zu beachten, um erhebliche Auswirkungen zu vermeiden. Hierzu zählen:

- Begrenzung der Beschneigung im Frühjahr (z. B. 15. März), um die beginnenden Balzaktivitäten nicht zu beeinträchtigen
- Erhaltung und Schutz der großen Kernareale und Reproduktionszentren dieser Art
- Kein Unterschreiten des Mindestaktionsraumes von etwa 10 ha durch Fragmentierung
- Erhalt des Wechsels zwischen wichtigen Balz-, Ruhe- und Nahrungshabitaten
- Verbesserung der Lebensraumqualität in den Kernarealen, insbesondere im Hinblick auf die Nahrung, z. B. durch Auflichtungen geschlossener Fichtenbestände

Somit ist eine ungünstige beschneigungsbedingte Veränderung von Reizzeiten und Reizräumen weit gefährlicher als die durch die Beschneigung erhöhte Reizintensität, selbst bei ungünstigem Zusammenwirken von Schall- und Lichteffekten. Besonders kritisch dabei ist, dass die Folgen für die Auerhuhnpopulationen erst sehr spät wirklich erkennbar werden, denn selbst wenn die einzelnen Hühner auf konfliktreichere Zeiten und Räume kaum zu reagieren scheinen, so entscheidet letztendlich erst die Entwicklung der populationsspezifischen Fortpflanzungsrate, ob eine Anpassung und Gewöhnung möglich war (Ingold et al. 1992).

Schneehuhn (*Lagopus muta*)

Anders als Auerhuhn, Birkhuhn und Haselhuhn besiedelt das Schneehuhn (Abb. 4.42) Bereiche oberhalb der Waldgrenze. Dazu gehören bevorzugt von Felsen durchsetzte Hänge, Kare, Höhenrücken und Grate. Da den Tieren in den steinigen Berghängen und kurzrasigen Matten wenig Deckung zum Schutz vor Feinden zur Verfügung steht, schützen sie sich durch eine Gefiederumfärbung in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Sie sind deshalb von ihrer Umgebung oft kaum zu unterscheiden.

Um die harten Winter zu überstehen, bewegen sich die Tiere nur wenig und nehmen kaum Nahrung auf. Wie alle Raufußhühner sind sie – wenn sie nicht gestört werden – nur wenige Stunden am Tag aktiv (Abb. 4.43). Sie schützen sich vor Kälte, indem sie die Nacht und einen großen Teil des Tages in Höhlen aus lockerem Schnee zubringen. Bei einer Außentemperatur von -30 °C ist es in einer Schneetiefe von 40 cm nur noch etwa -18 °C kalt. Das in der Schneehöhle ruhende Huhn kann die Luft sogar auf knapp 0 °C erwärmen. Aus diesem Grund bevorzugen Schneehühner auch Lebensräume im Gratbereich auf in Ost-West-Richtung verlaufenden Höhenrücken. Auf den Nordseiten mit lockerem Pulverschnee vergraben sich die Tiere in den Morgen- und Abendstunden im Schnee und verlassen diese Höhlen nur für kurze Zeit, um Nahrung aufzunehmen. Diese finden sie entlang des nahen, vom Wind freigefegten Bergkammes oder auf der Südseite, wo durch Sonneneinstrahlung in der Regel schon früh im Jahr Knospen, Nadeln und Gräser zu finden sind. Im Gratbereich liegen geschützte Schlafplätze und Nahrungsbiotope in idealer Weise nebeneinander. Bei Störungen suchen die Tiere panikartig das Weite und können oft erst nach Stunden in ihre optimalen



Abb. 4.42 Das Schneehuhn (*Lagopus muta*) gehört zu den Arten, die bei Verlängerung der Skisaison betroffen sein könnten. Dies gilt z. B. auch dann, wenn beschneite Flächen nach Ende des Skibetriebs im Frühjahr für das Skitourengehen genutzt werden. (G. Ferrari/imageBROKER | FLPA/picture alliance)

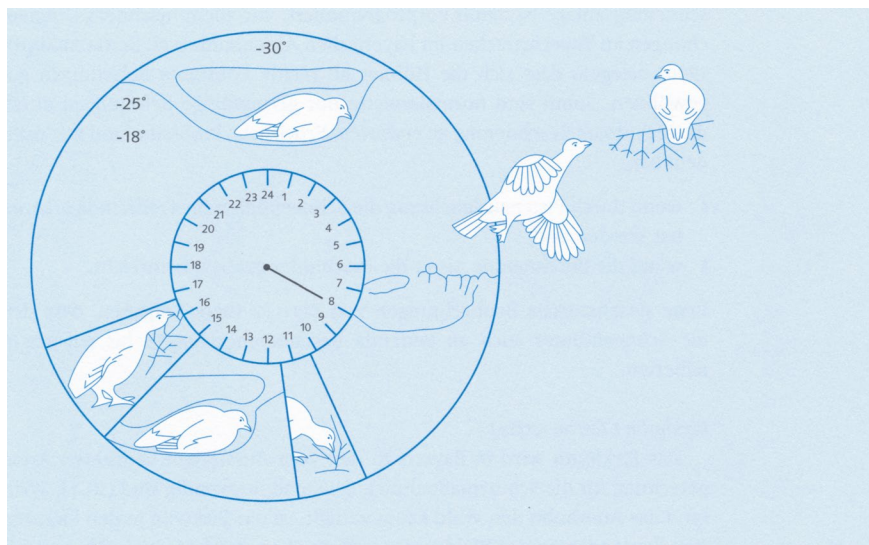


Abb. 4.43 Im Winter ist das Verhalten der Raufußhühner durch viel Ruhe und wenig Bewegung gekennzeichnet. Die Tiere sind in der Regel nur wenige Stunden am Tag aktiv

Lebensräume zurückkehren. Bei der Flucht wird sehr viel Energie verbraucht, die im Winter durch das spärliche Nahrungsangebot nur begrenzt ersetzt werden kann. Außerdem kann das Schneehuhn kein Fettpolster zur Überdauerung der Wintermonate anlegen, weil sonst die Flugfähigkeit beeinträchtigt würde. Deshalb können häufige Störungen im Winter zur Schwächung der Tiere bis zum Tod durch Verhungern führen.

Untersuchungen von Ingold et al. (1992) zeigten, dass Alpenschneehühner sowohl auf Schall als auch auf optische Störungen reagieren. Bei unsichtbaren Schallquellen ist dabei eine Veränderung der Herzschlagfrequenz feststellbar. Erst wenn die Schallquelle auch wieder optisch wahrgenommen wird, normalisiert sich der Herzschlag wieder. Das bedeutet, auf potenzielle Störquellen erfolgt nicht sofort ein Auffliegen, sondern das Huhn vertraut zunächst auf seine gute Deckung.

Der Reiz wird in diesem Fall – wie in Abb. 4.31 dargestellt – ohne Verhaltensänderung kompensiert. Erst starke Reize verursachen die für das Tier im Winter energieaufwendige, gefährliche Flucht. Im Bereich des Tourengehens können negative Effekte dadurch umgangen werden, dass die Zeiträume, in denen die Tiere ungestört ihre Aktivitäten aufnehmen können, erhalten bleiben. Dazu genügt es, dass Gipfel und Gratbereiche am Morgen bis etwa 10 Uhr und am späten Nachmittag ab etwa 16 Uhr störungsfrei bleiben.

Im Hinblick auf die Auswirkungen der Beschneigung gibt es nur wenige systematische Beobachtungen. Diese Art dürfte aber aufgrund ihrer in den Hochlagen konzentrierten Lebensräume bislang nur selten oder am Rande betroffen sein. Auch im Blick auf andere Belastungen und die Summenwirkung ganzjähriger Belastungen besitzt das Schneehuhn gegenüber Birk- und Auerhuhn Vorteile, wie

Studien im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (Mosler-Berger 1993) zeigten. Befragungen in 17 Schweizer Kantonen ergaben, dass das Schneehuhn ganzjährig zu den geringer belasteten Arten, Auerwild und Birkwild dagegen zu den stark gestörten Arten gezählt werden.

Anders als Birk- und Auerhuhn, die bei Gefahren auf Bäumen Schutz suchen können, muss sich das Schneehuhn stärker auf seine Tarnung verlassen und Gefahren „aussitzen“. Eine rasche Gewöhnung an das Rauschen einer Beschneigungsanlage ist damit vorprogrammiert, vor allem, nachdem Untersuchungen an Tourenstrecken im bayerischen Alpenraum (Scheuermann 1990) belegt haben, dass sich die Hühner an relativ konstante Belastungen gut gewöhnen. Somit sind normalerweise nur geringfügige Belastungen durch die technische Beschneigung zu erwarten. Erhebliche Probleme sind nur dann denkbar,

- wenn durch die Pistenausleuchtung die Schneehöhlen für Fressfeinde erkennbar werden und
- wenn die Beschneigung bis in die Paarbindungszeit hineinreicht.

Systematische Beobachtungen von Zeitler (2000) ergaben, dass sich die Schneehühner auch an laufende Beschneigungsanlagen bis auf 300 m näherten.

Birkhuhn (*Lyrurus tetrix*)

Das Birkhuhn (Abb. 4.44) wird ist europaweit gefährdet und wird in Bayern zu den vom Aussterben bedrohten Arten gerechnet, für die Schutzmaßnahmen dringend notwendig sind (RL 1). Während das Auerhuhn den Wald kaum verlässt, ist das Birkwild in den lockeren Waldbeständen an der Waldgrenze und den Latschenfeldern darüber zu finden. Nach Klaus et al. (1990) besitzt das Birkwild ebenfalls eine „home range“ von mehreren Quadratkilometern. Nach Utschick (1991) können beim Birkwild für eine Metapopulation bei geeignetem Gelände Arealgrößen von 2500 ha ausreichen. Subpopulationen können dabei 10–20 km voneinander entfernt sein.

Artspezifische Vorzugshabitate des Birkwildes liegen dort, wo auf engem Raum ein Schutz gegen ungünstige Witterungsbedingungen, ein ausreichendes Nahrungsangebot und viel Deckung gegeben sind. Als Beispiel für einen solchen Lebensraum nennt Zeitler (1994) Rücken, Grate oder Gräben im Bereich der Waldgrenze. Wichtig sind Nahrungsquellen an rasch ausapernden Bereichen, Sicherheit vor Prädatoren durch ein ausreichendes Sichtfeld, bei Gefahr Deckung durch die Vegetation und Lockerschneebereiche, die das Graben von Schneehöhlen (Abb. 4.43) erleichtern und einen Kälteschutz bieten. Hier findet ab März auf kleinen ebenen, gut einsehbaren Flächen im Randbereich des Bergwaldes die Balz statt. Wenn es die zeitliche und räumliche Einnischung zulässt, dann werden auch Skipisten als Balzplätze genutzt (Meile 1982). Wie beim Auerwild können Störungen bei der Balz beim Birkhuhn zu einem vorzeitigen Abbruch oder zu unbefruchteten Gelegen führen.

Untersuchungen im Aletschgebiet in den Zentralalpen ergaben, dass sich die Aufenthaltsgebiete und Nahrungshabitate von Hahn und Henne nicht unter-



Abb. 4.44 Das Birkhuhn (*Lyrurus tetrix*) kann durch eine Beschneigung im Spätwinter bei der Balz gestört werden. (M. Bosch/Shotshop/picture alliance)

schieden (Marti 1985). Die Studie hebt weiterhin die erhebliche Reduktion des Energiebedarfs im Hochwinter hervor, die das Birkwild durch eine Begrenzung der Aktivität auf das Minimum erreicht. Diese Reduktion ist – wie die Studie weiter zeigt – für das weibliche Tier noch wichtiger als für das männliche Tier. Neben den räumlichen Habitatkomponenten Nahrung, Sicherheit und Klimaschutz muss – damit die Tiere den winterlichen Überlebensengpass überstehen – auch ausreichend Zeit für die Nahrungsaufnahme zur Verfügung stehen. Diese Zeit kann durch natürliche Feinde, z. B. Steinadler oder Fuchs, eingeschränkt, aber auch durch touristische Nutzungen begrenzt werden.

Bei Störungen in der Dämmerung, beim Überwintern in Schneehöhlen und bei der Balz ist die Gefahr durch Prädatoren, wie den Fuchs, besonders hoch (Schuster & D’Oleire-Oltmanns 1994). Beschränkungen bei der Nahrungsaufnahme einerseits, energieaufwendiges Flüchten andererseits sowie eine Einschränkung der Ruhezeiten in den schützenden Schneehöhlen können über defizitäre Energiebilanzen einzelne Individuen bedrohen, aber auch Folgewirkungen auf die Population besitzen.

Nach Zeitler (1994) kann die Wintersterblichkeit der Raufußhuhnarten erhöht sein, wenn bei Raum- und Zeitkonkurrenz wegen vieler Ausweich- und Fluchtbewegungen der Energieaufwand gesteigert werden muss. Zusätzliche Effekte durch Räuber sind für diese Wintersterblichkeit nur sekundär mitverantwortlich. Auch beim Birkwild sind deshalb – wie bei den anderen Raufußhuhnarten – erhebliche Auswirkungen der Beschneigung zu erwarten, wenn die winterliche Raumwahl und der verfügbare Zeitvorrat durch Störungen eingeschränkt werden (Zeitler 1994). Als Folge davon können der Energiehaushalt defizitär werden und das Prädatorenrisiko ansteigen. Zeitler (2000) legt daher die Erarbeitung eines be-

schneigungsbezogenen Raum-Zeit-Managements nahe, das den Zusammenhang von Arealen und deren Habitatqualität im Winter mitberücksichtigt.

Bei dieser Art werden ebenfalls bei Störungen der Balz Auswirkungen erwartet, die die Reproduktion infrage stellen können. Dies wäre dann gegeben, wenn die Beschneigung bis in den März hinein erfolgt. Nachdem auch die Pistenflächen für die Balz benutzt werden, kann es indirekte Effekte geben, nämlich dann, wenn durch die Beschneigung die Pisten länger genutzt werden können als bisher. Hier können bereits Verlängerungen der Sportmöglichkeit von zwei bis drei Wochen – auch ohne dass in diesem Zeitraum die Schneeerzeuger eingesetzt werden – erhebliche Auswirkungen besitzen, denn in Bezug auf die Balzplätze ist eine hohe Standorttreue bekannt (Abb. 4.45).

Haselhuhn (*Tetrastes bonasia*)

Das Haselhuhn wird in der Roten Liste gefährdeter Tiere in Bayern als stark gefährdete Art geführt (RL 2). Das Haselhuhn gilt wie das Auerhuhn als Indikatorart für eine vielfältige Lebensgemeinschaft. Der etwa taubengroße Vogel kann wegen seiner Lebensweise, seiner guten Tarnung und seiner Seltenheit in der Natur nur sehr schwer beobachtet werden. Zu den Ansprüchen dieser Art an den Lebensraum gehören ein enges Miteinander von Nahrung und Deckung. Deshalb sind vor allem Zusammensetzung und Struktur von jüngeren Wäldern entscheidend. Eine wichtige Nahrungsgrundlage bilden neben einer reichhaltigen Bodenvegetation die Knospen von Laubbaumarten und die Beeren verschiedener Baum- und Straucharten. Tiefbeastete Nadelbäume und unterholzreiche Bestände bieten den Tieren die benötigte Deckung.



Abb. 4.45 Ausapernde Pisten mit Schneehügeln werden gerne für die Balz (Birkhahn) genutzt. Daher sind die Schnezeiten und Freizeitnutzungen im Frühjahr zu begrenzen. (A. Zeitler)

Das Haselhuhn hat deutlich geringere Ansprüche an die Arealgröße als die anderen Raufußhühner. Es kann bereits geeignete Waldanteile von 1–2 ha Größe besiedeln. In der Regel umfasst der Flächenanspruch eines Paares aber durchschnittlich 40 ha, in optimalen Habitaten kann er auch bei bis zu 25 ha liegen. Die maximale Distanz zwischen den Arealen liegt aufgrund der geringen Vagilität bei nur rund 10 km, wobei der Austausch meist nur im Herbst durch Jungvögel erfolgt. Bei Abdrängung in suboptimale Lebensräume oder bei Störungen ist diese Art unmitttelbar von Beutegreifern, wie Habicht, Sperber oder Fuchs, bedroht.

Die Lebensweise des Haselhuhnes ist weiterhin durch einen jahreszeitlichen Wechsel zwischen verschiedenen Waldbereichen geprägt. Daher ist bei dieser Art die Beachtung räumlicher Zusammenhänge besonders wichtig. Im Winter werden im Gebirge tiefere Lagen mit schutzbietenden Beständen bevorzugt aufgesucht. Was die mögliche Belastung durch die Beschneigung angeht, so gelten für das Haselhuhn tendenziell die Ausführungen wie beim Auerwild. Allerdings muss herausgestellt werden, dass der Aktionsradius des Haselwildes deutlich geringer ist.

Spechte

Dreizehenspecht (Picoides tridactylus)

Der Dreizehenspecht ist eher selten geworden, aber nicht gefährdet. Er ist ein ausgesprochene Nadelwaldbewohner und in Europa weitgehend an das Vorkommen der Fichte gebunden. Das Jahresstreifgebiet schwankt zwischen 1 und 2 km², wobei gern nordexponierte Flächen genutzt werden. Dreizehenspechte sind winterharte Standvögel, die auch im Winter nicht in tiefere Lagen abwandern.

Trotz seiner Seltenheit und der potenziellen Betroffenheit durch die breiten Verlärmungsbänder, die bis weit in den Wald hineinreichen können, ist davon auszugehen, dass der Dreizehenspecht nicht durch die Beschneigungsanlage betroffen ist. Es sind keine Veränderungen an den Nahrungshabitaten zu erwarten, und auch die Vernetzung der – gemessen an denen der Raufußhühner – deutlich kleineren Streifgebiete verringert die Gefahr einer Habitatzerschneidung. Zudem sind Vorkommen dieser Spechtart – und auch daraus ist auf eine geringe Störungsempfindlichkeit zu schließen – aus verschiedenen Skigebieten selbst im unmittelbaren Umfeld von Pisten bekannt.

Auch andere Arten der Gilde der Spechte können als Winterstandvögel durch den Ausbau und die Entwicklung von Skigebieten mit Beschneigung betroffen sein. Alle Höhlenbrüter sind an das Vorkommen von ausreichenden Altholzbäumen gebunden, die sowohl als Bruthöhlen als auch für die Nahrungssuche (Insekten) genutzt werden. Nachfolgend werden die bevorzugten Lebensraumstrukturen der einzelnen Arten kurz charakterisiert.

Schwarzspecht (Dryocopus martius)

Der Schwarzspecht ist aktuell nicht gefährdet. Er brütet im geschlossenen Wald, bevorzugt in Altbeständen. Mischwälder in der optimalen Kombination bieten alte Rotbuchen als Höhlenbäume und kränkelnde Fichten oder Kiefern als Nahrungsbäume. Die im unteren Stammteil von Fichten und in Baumstümpfen lebenden Rossameisen sind ein wesentlicher Nahrungsbestandteil. Baumbestände in Sied-

lungsnähe oder in Parks sowie größere Gehölze in weithin offenem Land enthalten in der Regel keine Brutplätze. Offene Flächen können aber in den großen Schwarzspechtrevieren enthalten sein.

Grünspecht (*Picus viridis*)

Der Grünspecht ist aktuell nicht gefährdet. Er ist ebenfalls ein ortstreuer Standvogel und bleibt im Winter in seinem Revier. Er legt seine Höhle in dicken hochstämmigen Bäumen an, bei denen der unterste Ast in mindestens 160 cm Höhe liegt. Der Grünspecht besiedelt lichte Wälder und die Übergangsbereiche von Wald zu Offenland, also abwechslungsreiche Landschaften mit einerseits hohem Gehölzanteil, andererseits mit mageren Wiesen, Säumen, Halbtrocken-rasen oder Weiden. In und um Ortschaften werden Parkanlagen, locker bebaute Wohngegenden mit altem Baumbestand und Streuobstbestände regelmäßig besiedelt. Entscheidend ist ein Mindestanteil kurzrasiger, magerer Flächen als Nahrungsgebiete, die reich an Ameisenvorkommen sind.

Weißrückenspecht (*Dendrocopos leucotos*)

In der Roten Liste der Brutvögel Deutschlands von 2020 wird der Weißrückenspecht (Abb. 4.46) in der Kategorie 2 als stark gefährdet geführt (RL 2). Als wesentliche Ursache für die Gefährdung gelten Veränderungen in der Forstwirtschaft und weniger störungsökologische Gründe. Naturnahe Mischwälder mit überwiegendem Laubholzanteil (vor allem Buche und Bergahorn) und einem sehr



Abb. 4.46 Der Weißrückenspecht (*Dendrocopos leucotos*) gehört zu den charakteristischen Vögeln des Bergwaldes. (D. Forsman/AGAMI/blickwinkel/picture alliance)

hohen Anteil an Alt- und Totholz sind für den Weißrückenspecht unentbehrlich. Alte Mischwälder (bevorzugt südliche Hangexposition) mit durch Windwurf, absterbende Bäume oder Schneebruch entstandenen Lücken werden besiedelt, gelegentlich auch relativ kleine Baumgruppen und Waldstücke mit Totholzangebot. Bruthöhlen finden sich oft an Schneisen, in Einzelstämmen auf oder an Windwurf-flächen, Almböden, Bergsiedlungen oder anderen exponierten Stellen, mitunter auch unmittelbar an Wanderwegen oder Forststraßen. Wichtig sind Habitate mit Totholz: Studien zeigen, dass die wichtige Käferabundanz nicht in erster Linie von der Totholzqualität abhängt, sondern die Quantität entscheidend ist. So wirken sich große Mengen an Totholz positiv auf die Anzahl der Käferarten aus. Die Totholzqualität hängt stark von der Bestandsstruktur ab. Gleichförmig aufgebaute Waldbestände weisen in der Regel eine geringe Vielfalt an holzbewohnenden Käferarten auf (Müller & Glauser 2017). Bestände, in denen jedoch verschiedene Entwicklungsstufen nebeneinander vorkommen, sind um einiges strukturreicher und stellen so mehr Lebensraummöglichkeiten für Totholzkäferlarven zur Verfügung. Bei der Nahrungssuche spielen Laubbäume die überragende Rolle: Während für den sommerlichen Nahrungserwerb überwiegend verrottendes Fallholz wichtig ist, erweist sich vor allem in schneereichen Regionen stehendes totes Holz in fortgeschrittenen Zerfallsstadien als relevant. Die Untersuchungen von Bühler (2009) zeigen, dass 85 % der nahrungssuchenden Weißrückenspechte in mittleren oder starken Bäumen, die einen Bruthöhendurchmesser (BHD) von mehr als 35 cm vorweisen, anzutreffen waren. Ettwein (2016) kam zu dem Schluss, dass die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Weißrückenspechts in jungen Waldbeständen bis zu einem durchschnittlichen BHD von 25 cm fast null war. Starke Bäume wurden auch in anderen Weißrückenspechtgebieten Europas nachweislich bevorzugt (Frank 2002; Scherzinger 1982; Hasler 2018; Ruge & Weber 1974).

Das Vorkommen von Schwarz-, Grün- und Weißrückenspecht hängt von der Erhaltung und Förderung eines strukturreichen Bergmischwaldes mit Totholz im Skigebiet ab, in dem die heimischen Spechtarten gute Nahrungs-, Fortpflanzungs- und Ruhehabitate finden. In diesem Fall ist nicht von einer erheblichen Beeinträchtigung auszugehen. Insbesondere bei Leitungstrassenbau gilt es, Rücksicht zu nehmen, und sollten Bäume betroffen sein, sollten diese als stehendes oder liegendes Totholz im Bestand verbleiben (bei Fichte entrindet, wegen potenziellem Borkenkäferbefall).

Käuze

Sperlingskauz (Glaucidium passerinum)

Der Sperlingskauz gilt in Bayern bei leichtem Rückgang als potenziell gefährdet (RL 4). Er ist die kleinste europäische Eulenart. Sperlingskäuse leben bevorzugt in grenzlinienreichen Gebirgswäldern der hochmontanen und subalpinen Stufe, wenn ein Mosaik aus Althölzern mit Höhlen, deckungsbietenden Stangenhölzern und nahrungsreichen Jungwaldflächen auf engen Raum zusammen vorkommt. Sie sind jedoch auch in den Mittelgebirgen und großen Waldkomplexen des Voralpenlandes anzutreffen. Die Reviergröße des sich überwiegend von Kleinvögeln ernährenden Sperlingskauzes beträgt zwischen 1 und 4 km². Wenn es das



Abb. 4.47 Der Sperlingskauz (*Glaucidium passerinum*) ist in der Dämmerung aktiv. (J. & C. Sohns/imageBROKER/picture alliance)

Nahrungsangebot erlaubt, bleibt die Art ganzjährig im Brutgebiet. Diese Eulenart ist hauptsächlich in der Dämmerung aktiv, nicht selten aber auch am Tage. Von allen Eulen ist diese Art am wenigsten an das Leben bei Nacht angepasst, was sich unter anderem an Gefieder und Augen erkennen lässt.

Beim Sperlingskauz ist mit einer Hauptfrühjahrsbalz und Revierabgrenzung ab Anfang März bis Mitte April zu rechnen. Bei einem Betrieb der Beschneiungsanlage bis in den März würde sich eine Überlagerung der Lärmbelastung durch die Schneeerzeuger und der akustischen Revierabgrenzung/Balz von zwei Wochen ergeben. In diesen Zeiträumen wäre eine Störung der rufenden Altvögel denkbar. Negative Auswirkungen auf diese Art können sich dann ergeben, wenn für den Bau der Beschneiungsanlage in den Wald eingegriffen wird (z. B. für Speicherteiche, Neuanlage oder Ausbau von Pisten bzw. Pistenteilen). Ermöglichen diese Eingriffe die Ausbreitung des Waldkauzes, der in bislang für ihn unzugänglichen Hang- und Hochlagenwälder vordringen kann, dann steigt das Prädationsrisiko für den Sperlingskauz.

Raufußkauz (*Aegolius funereus*)

Der Raufußkauz zählt zu den Eulen, die tendenziell, etwas zurückgehen aber noch nicht gefährdet sind. Der Raufußkauz ist im gesamten Alpenbogen verbreitet und besiedelt dort vor allem Nadelwälder über 1000 m bis zur Waldgrenze. Das Reviergebiet liegt zwischen 50 und 100 ha je nach Angebot an Bruthöhlen und Nahrungsbiotopen. Die Jagd wird ausschließlich nachts durchgeführt. Als Brut-

vogel der Taiga ist er in Bayern als Eiszeitrelikt bevorzugt in den Bergwäldern der Alpen und Mittelgebirge zu finden.

Anders als der Sperlingskauz beginnt der Raufußkauz bereits im Spätwinter mit der Balz, meist bei völliger Dunkelheit. Er ist dabei sehr ausdauernd und über mehrere Kilometer weit zu hören (Brunn et al. 1993). Die größte Rufaktivität liegt bereits im Februar und März.

Die ausschließliche Jagd bei Nacht sowie der frühe Beginn der Balz können bei dieser Art in stärkerem Maß als beim Sperlingskauz zu Beeinträchtigungen der Lebensräume durch die Beschneigung führen. Dies gilt vor allem dann, wenn die Beschneigung konstant über einen längeren Zeitraum erfolgt. In diesem Fall ging man davon aus, dass die Beschneigung negative Auswirkungen auf die Reproduktion, die Habitatwahl, die Aktivität und das Energiebudget besitzen. Die Beobachtungen von Zeitler (2000) in Oberstdorf legten negative Auswirkungen (Verlassen der Reviere über 1500 m ü. NN) als Folge der Beschneigung nahe. Allerdings wurde durch die erhebliche Verkürzung der Schneizeiten diese Beeinträchtigung erheblich verringert. Bei Vermeidungsmaßnahmen, wie einer Begrenzung der Beschneigungsmöglichkeit auf den 15. Februar eines jeden Jahres können potenzielle Beeinträchtigungen weitgehend vermieden werden.

Schalenwild

Zum Schalenwild werden die wildlebenden Huftiere des Waldes gezählt. Neben den Wiederkäuern Rot-, Reh- und Gamswild gehören auch noch das Stein- und Schwarzwild zu dieser Gruppierung. Im Zusammenhang mit dem Lebensraum Bergwelt sind jedoch vor allem Hirsch (Rotwild), Reh (Rehwild), Gämse und Steinbock potenziell betroffen.

Nachstehend werden jedoch nur Rotwild und Gams detailliert betrachtet. Dies liegt daran, dass das Rotwild bereits in seinen ursprünglichen Lebensräumen und Wanderbewegungen durch den Menschen beschränkt wurde und dadurch Auswirkungen auf diese Tiere und ihre Areale einen anderen Stellenwert besitzen als die Einflüsse auf das Rehwild, das eine weite, meist ungehinderte Verbreitung genießt. Dies gilt auch für das Steinwild dort, wo es in Hochlagen vorkommt.

Rotwild (Cervus elaphus)

Der Rothirsch – eines der größten Wildtiere Mitteleuropas – war ursprünglich über ganz Eurasien verbreitet. Sein Bestand war zwar nie ernsthaft gefährdet, aber seine Zahl war im Verhältnis zu heute relativ gering. Dazu trugen das Vorhandensein von Raubtieren (vor allem Wölfen), später die Nahrungsarmut in großen geschlossenen Wäldern, die teilweise intensive Waldweide und die Bejagung bei. Das Rotwild beanspruchte gerade in den Alpen einen besonders großen Lebensraum, um den dort im Winter schlechten Bedingungen mit geringem Nahrungsangebot ausweichen zu können. Es zog rudelweise im Herbst in die Täler und Flussniederungen mit reichem Nahrungsangebot und verließ, den Alpenflüssen folgend, nicht selten den Alpenraum bis zum Frühjahr ganz.

Die Zerstörung vieler Flusslandschaften, z. B. durch Begradigungen, und die Unterbrechung der Flussauen durch Siedlungen und Straßenbau machten diese

natürlichen Wanderungen unmöglich. Die heute noch vom Rotwild besiedelten Flächen liegen unter 10 % der ursprünglichen Verbreitung (Mergner 1980; Schröder 1982). In vielen Gebieten, wie etwa im Alpenraum und im Bayerischen Wald, wird überwiegend durch die Einrichtung von Wintergattern und Winterfütterung das Fehlen der ursprünglichen Überwinterungsgebiete ersetzt (Schröder 1982). Daher ist das Rotwild heute ganzjährig in der Bergwaldzone anzutreffen, wo es jedoch aufgrund seiner großen Zahl und seiner Äsungsgewohnheiten zum Problem für die natürliche Waldregeneration geworden ist. Bei der Nahrungsauswahl profitiert es nämlich von einem besonders leistungsfähigen Verdauungssystem. Als Raufutterfresser kann der Rothirsch selbst Nahrung mit mäßiger Qualität verwerten. Dafür sind allerdings erhebliche Mengen an Gras, Baumknospen, Zweigen und gelegentlich auch Rinde nötig. Am Tag kann ein ausgewachsenes Tier dabei bis zu 12 kg Futter zu sich nehmen. Deshalb sind Schäden durch Verbiss und Schälen am Bergwald möglich, die es zu Zeiten der Winterwanderungen kaum gab. Wie alle Tiere im alpinen Lebensraum hat auch der Rothirsch eine besondere Form der Anpassung an rauere Umweltbedingungen entwickelt. So reduziert er seinen Energieverbrauch in der kalten Jahreszeit erheblich. Er ruht die meiste Zeit am Tage und bewegt sich nur in den frühen Morgenstunden und in der Abenddämmerung langsam fort. Diese „Sparstrategie“ wird begleitet von Veränderungen im physiologischen Bereich, wie z. B. der Anpassung der Magenwand an raueres Futter in den Wintermonaten.

Werden ruhende Wildtiere im Winter aufgeschreckt, wie dies etwa durch Variantenskifahrer oder Tourengerher geschehen kann, und zur Flucht im tiefen Schnee gezwungen, erfordern diese Bewegungen einen erheblichen zusätzlichen Energieaufwand. Wenn etwa ein rund 100 kg schwerer Hirsch im Schnee aufgeschreckt wird und flieht, erhöht sich sein Energiebedarf um das Zehnfache. Dieser Mehrverbrauch wird durch zusätzliche Futteraufnahme auf Kosten des Waldes gedeckt. Störungen wirken sich gerade zum Ende der Wintermonate besonders stark aus. Dafür sind verschiedene Faktoren verantwortlich (Mosler-Berger 1993):

- Gegen Winterende sind die Nahrungsgrundlagen in den Wintereinständen reduziert.
- Die Umstellung von Winteräsung auf erstes Grün ist für alle Wiederkäuer eine verdauungsphysiologische Belastung, da sie Veränderungen im Verdauungssystem der Tiere mit sich bringt.
- Die weiblichen Tiere sind im letzten Drittel der Tragzeit, in dem die Frucht stark wächst.

Im Hinblick auf mögliche Folgewirkungen interessiert die Frage, ob die Beschneidung mit der damit zusammenhängenden Lärmentwicklung und möglichen Ausleuchtung vom Rotwild als Störung empfunden wird und dies Flucht bzw. Verhaltensänderungen nach sich zieht. Wegen des großen und langjährigen Jagddrucks, gepaart mit einer hohen Besucherbelastung der Reviere, wurde der lernfähige Rothirsch außerordentlich scheu und empfindlich. Er flieht vor den Menschen bei kleinstem Anlass und ist aus Furcht nicht in der Lage, deckungsarme

Teile seines Lebensraums zu nutzen. Hierbei ist für dieses Verhalten auch die aktuelle Form der Bejagung mitverantwortlich (Schröder 1982; Kennel 1982).

Studien, die sich mit der Reaktion auf Freizeitaktivitäten befassen, beschreiben die Lernfähigkeit der Tiere und eine differenzierte Reaktion in Abhängigkeit von den Reizen (Georgii 1985; Gossow & Reimoser 1985; Zeitler 1994; Mosler-Berger 1993). Plötzliche, ungewohnte Reize, wie z. B. ein Helikopterflug oder erstmaliger Überflug mit Drachen oder Gleitschirmen, lösen (Mosler-Berger 1993; Engst 1995; Zeitler 1995) nach übereinstimmenden Beobachtungen eine Flucht aus. Dabei ist bei fehlender oder geringer Deckung die Reaktion stärker als bei mittlerer oder guter Deckung. Rotwild reagierte zudem stärker als Gämse.

Bei Störungen durch Gleitschirmflieger in selten überflogenen Gebieten flüchteten die Rothirsche fast ausnahmslos über größere Distanzen, traten erst Stunden später wieder aus der Deckung hervor und zeigten auch nach 12 h noch ein verändertes Verhalten bzw. eine andere Raumnutzung (Engst 1995). Dabei ergaben sich bei Rotwild auch deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern: Große Rudel von mehr als 15 männlichen Tieren flüchteten beim Anflug von Drachen- oder Gleitschirmfliegern nicht, sondern wichen eher langsam bis zügig in gedeckte Bereiche aus (lichten Wald, Baumzeilen) und kehrten bald wieder auf die Freifläche zurück. Von gemischten Rudeln oder Rudeln mit einem Überhang an weiblichen Tieren und Kälbern dagegen flüchtete der größte Teil der Tiere, und zwar nicht nur, wenn Gleitschirmflieger über offene Freiflächen auftauchten, sondern auch, wenn dies über deckungsreichen Krummholzarten geschah (Zeitler 1995).

Diese Studien und vergleichbare Arbeiten zeigten aber auch, dass in begrenztem Umfang Eingewöhnung möglich ist. Nach Zeitler (1995) kann in regelmäßig von Gleitschirmfliegern der Drachen überflogenen Bereichen deren Ungefährlichkeit erlernt werden. Selbst wenn Hängegleiter oder Drachenflieger überraschend in Distanzen unter 50 m auftauchen, liegen die Schreckfluchten der Tiere nach seinen Angaben bei nicht mehr als 10–30 m. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Beobachtungen entlang von Loipen (Georgii et al. 1984). Diese Ergebnisse basierend auf anderen Freizeitaktivitäten dürfen auch auf die Beschneigung übertragen werden. Zeitler (2000) beobachtete Rothirsche im Skigebiet Fellhorn/Oberstdorf. Dabei zogen die Tiere vor Beginn des Skibetriebs im Abstand von 150 m an laufenden Beschneigungsanlagen vorbei.

Aus diesen Beobachtungen und bisherigen Erfahrungen ist daher davon auszugehen, dass die Beschneigung und die Geräusentwicklung als Störreize gelten müssen, wenn die Schneerzeuger in unmittelbarer Umgebung von Einstandsgebieten betrieben werden. Allerdings ist durch die Art des Lärmes als gleichmäßiges Rauschen und der über viele Stunden gleichmäßigen Intensität für die Tiere rasch erkennbar, dass keine unmittelbare Gefahr von der Anlage ausgeht. Dies gilt, nach den bisherigen Erkenntnissen, dann umso mehr, wenn die Tiere sich in geschlossenen Einständen befinden.

Insgesamt bestehen durch die starke „Bewirtschaftung“ des Rotwildes in Wintergattern gute Möglichkeiten zur Entflechtung und Vermeidung von Belastungen.

Gamswild (*Rupicapra rupicapra*)

Bei der Gams (Abb. 4.48) handelt es sich um einen typischen Bewohner des Hochgebirges. Ihr natürlicher Lebensraum liegt oberhalb der Baumgrenze in der subalpinen Zone. Mithilfe ihrer sehr kräftigen Hufe bewegt sie sich auch in steilem, felsigem Gelände geschickt und sicher. Neben der Hauptnahrung, die aus Blättern, Gräsern und jungen Nadelbaumtrieben besteht, nehmen Gämsen im Winter vor allem auch Moose und Flechten zu sich. Im Winter sinkt die Qualität der Hauptnahrungspflanzen, der Gräser, und ihr Anteil an der Nahrung wird geringer. Die schwerverdaulichen, energiearmen Pflanzenteile von Nadelbäumen dienen dann vermehrt als Nahrung. Daher ist die im Winter aufgenommene Nahrung so rohfaserreich, dass sie nicht mehr den Energiebedarf deckt und körpereigene Reserven zum Überleben abgebaut werden (Elsner-Schack 1983; Kuen & Bubenik 1978). Dennoch ist das Gamswild an das Leben im Gebirge gut angepasst. Anders als beim Rotwild ist eine Fütterung nicht erforderlich. Die Gämsen überwintern häufig in waldfreien Räumen, weil sie für die Nahrungsaufnahme auf schnee-armes, in der Regel steiles Gelände angewiesen sind. Wenn diese offenen Lebensräume gestört werden, dann verlegen die Tiere ihre Wintereinstände vermehrt in den Wald. Damit steigt die Gefahr des Wildverbisses. Zudem kann es zu einer Nahrungskonkurrenz mit Rotwild im Hinblick auf junge Waldbäume kommen.



Abb. 4.48 Der Energieverbrauch bei Flucht im Tiefschnee ist beim Gamswild (*Rupicapra rupicapra*) besonders hoch. (M. Woike/blickwinkel/picture alliance)

Als Waldgämse werden deshalb jene Gämsen bezeichnet, die sich ganzjährig im Wald aufhalten und diesen nicht nur temporär nutzen. Neben tourismusbedingten Störungen können dafür sowohl der Populationsdruck als auch die Konkurrenz durch andere Wildtiere (z. B. Steinbock) oder Weidetiere (z. B. Schafe) die Ursache sein. Belastungen und Störungen im Winter können auch die Populationsdynamik von Gämsen negativ beeinflussen. Dazu muss man wissen, dass die Brunftzeit (Paarungszeit) relativ spät, im November, beginnt. Da sich die Böcke zu Beginn des Winters in aufreibenden Kämpfen und Hetzjagden verausgaben, ist es schon ohne menschliche Beeinträchtigungen für viele männliche Tiere schwer, sich rechtzeitig zu erholen und den Winter zu überstehen. Kommt dann noch eine energiezehrende Beunruhigung dazu, so sinken die Überlebenschancen der geschwächten Tiere erheblich.

Der Energieverbrauch durch unvorhersehbare Störungen ist dabei sehr hoch: Flüchtet eine Gams in 50 cm hohem Schnee hangaufwärts, so braucht sie etwa 60-mal mehr Energie als beim Gehen auf ebenem Gelände.

Zu den Auswirkungen der Beschneigung auf das Gamswild gibt es keine Studien. Auch hier sind nur Analogieschlüsse aus anderen störungsbezogenen Arbeiten möglich. Studien mit Gleitschirm- und Drachenfliegern zeigen auch hier – unter bestimmten Voraussetzungen – die Möglichkeit einer Gewöhnung und Toleranz gegenüber Störungen.

In regelmäßig beflogenen Gebieten änderten die Gämse bei Wahrnehmung von Drachen- oder Gleitschirmfliegern ihr Verhalten kaum (Roeckl 1993), in gelegentlich beflogenen Gebieten reagierten sie empfindlicher. Wiederholten sich die Flüge jedoch innerhalb weniger Tage, wurde die Reaktion der Gämse von Mal zu Mal schwächer. Die Folgen der Störung nahmen ebenfalls ab.

Zeitler (1995) geht davon aus, dass aus diesen Ergebnissen ähnlich wie beim Rotwild ein Lernprozess abgeleitet werden kann. Allerdings scheinen zudem – vergleichbar mit dem Rotwild – die Rahmenbedingungen eine große Rolle zu spielen. In deckungsarmen Räumen (Ingold et al. 1993; Schnidrig-Petrig 1994) ist die Toleranz gegenüber Störungen geringer. Bei erheblichen, z. B. optischen und akustischen Störungen (Mosler-Berger 1993), wie dem Helikopter, scheint keine Gewöhnung einzutreten.

Überträgt man diese Ergebnisse auf die Beschneigung, dann hängt die Beeinflussung des Verhaltens davon ab, wo sich die beschneiten Flächen befinden. Liegen sie oberhalb der Waldgrenze und wird die beschneite Fläche umfassend ausgeleuchtet, dann sind negative Wechselwirkungen möglich. Ist beispielsweise durch den Einsatz von kleinen Positionsleuchten nur von einem akustischen Reiz auszugehen und sind die Störungen durch die Bedienung der Anlage gering, dann erscheint auch bei Flächen im Bereich der Waldgrenze eine Gewöhnung möglich.

Es besteht jedoch die Gefahr, dass der Einstand frühzeitig (z. B. mit Beginn der Beschneigung im November) in den schützenden Wald verlagert wird und damit Verbißschäden begünstigt werden. Liegen die beschneiten Flächen deutlich unterhalb der Waldgrenze, dann dürften nach den bisherigen Kenntnissen keine negativen Auswirkungen eintreten. In diesem Fall ist – selbst wenn die Verlärmung bis in die Einstände hineinreicht – von einer Gewöhnung an das „Rauschen“ der An-

lage auszugehen. Diese Einschätzung wurde durch Beobachtungen im Skigebiet Fellhorn in Oberstdorf (Zeitler 2000) auch bestätigt.

4.4.4 Indirekte Auswirkungen auf die Fauna durch Veränderungen und Beeinträchtigungen von Feuchtlebensräumen

Im Zusammenhang mit betriebsbedingten Auswirkungen müssen auch indirekte Folgeeffekte in Feuchtlebensräumen überprüft und diskutiert werden. Allerdings kann dies hier ebenfalls nur beispielhaft an ausgewählten charakteristischen Arten bzw. Artengruppen dargestellt werden. Im Mittelpunkt stehen dabei insbesondere Arten mit erhöhtem Gefährdungsgrad.

Bei Amphibien und Reptilien, aber auch diversen Libellenarten, ist von einem hohen Gefährdungsgrad auszugehen und einem Schutz durch die europäischen Richtlinien und des damit verbundenen nationalen Schutzes. Bei Bauvorhaben oder Projekten, bei denen Arten des Anhangs 4 der FFH-Richtlinie und nach der Vogelschutzrichtlinie betroffen sein könnten, sind entsprechende artenschutzrechtliche Prüfungen zum Vorhaben erforderlich. Die nachstehenden Ausführungen geben Hinweise auf zu beachtende Wirkungen und mögliche Wechselwirkungen.

Je nach Ausgestaltung der für die Beschneigung neu angelegten Speicherteiche können diese als Lebensraum von Amphibien und Libellenarten angenommen werden. Wird das Wasser dann für die Beschneigung im Winter verwendet, können diese Arten betroffen sein. Ähnlich wie bei der Nutzung von Teichanlagen für die Fischerei können beim Ablassen der Gewässer durch die Frosteinwirkung an den Ufern und am Gewässerboden die Arten geschädigt werden, die dort z. B. im Bodenschlamm in Kältestarre überwintern. Davon können nicht nur Amphibien, sondern auch Wasserschnecken und Larven verschiedener Insekten betroffen sein.

Mit sinkenden Temperaturen nimmt die Aktivität der Tiere ab. Entsprechend der verringerten Stoffwechselintensität sinkt dann auch der Sauerstoffbedarf. Bei einer Temperatur von 4 °C, wie sie im Tiefwasser herrscht, genügt beispielsweise Fröschen die Sauerstoffaufnahme über die Haut (Hautatmung), um ihren Bedarf zu decken. Die Lungenatmung ist eingestellt. Ein geringer Vorrat an Fett versorgt die Tiere während der Winterstarre. Auf im Prinzip vergleichbare Weise überwintern viele Arten von Wassertieren (Reichholf 1988). Daher stellen auch kalte Winter grundsätzlich keine Gefahr für die Tiere dar. Anders verhält es sich bei abgelassenen Teichen und bei den Speicherteichen, deren Wasser für die Beschneigung im Winter benötigt wird. Im abgelassenen Teich kann – bei nicht ausreichend dotierter Restwassermenge – der Frost tiefer eindringen und die am Teichgrund überwinternden Arten schädigen.

Ob und welche Arten betroffen sein könnten, hängt von den Lebensraumansprüchen der einzelnen Arten, der Höhenlage, der Umgebung des geplanten Gewässers und der Gestaltung des Teiches ab (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen 1997a). In diesem Zusammenhang ist es positiv, dass die Speicherseen möglichst in großer Höhe angelegt werden,

um kühlere Wassertemperaturen zu erhalten sowie um die Erwärmung bei langen Pumpstrecken und den erhöhten Energieaufwand für den Transport ins Gebiet zu vermeiden. Mit der Höhenlage reduziert sich in der Regel die Zahl potenziell betroffener Arten. Bei Amphibien im bayerischen Alpenraum kommen über 1000 m meist nur noch Bergmolch, Erdkröte, Grasfrosch und Gelbbauchunke vor (Günther 1996). Arten wie der Laubfrosch (*Hyla arborea*) oder Teichmolch (*Triturus vulgaris*) können zwar vereinzelt bis in Höhen von 2100 m auftreten (Riesinger 1960), diese meist durch Enten über den Laich begründeten Kleinvorkommen bilden sich aber nur bei Zusammentreffen von optimalen Gewässerbedingungen und einem sehr günstigen Witterungsverlauf. Der Bergmolch (*Ichthyosaura*) (Abb. 4.49) besiedelt regelmäßig Laichgewässer bis 1800 m ü. NN. Eine Höhenverbreitung bis 3000 m wird vermutet. Nach Mildner und Hafner (1990) sind in Kärnten Vorkommen bis 2400 m bekannt. In Bezug auf den Laichgewässertyp ist er recht anspruchslos und nimmt selbst in kühlen, schattigen Lagen bzw. im bewaldeten Bereich fast jedes Gewässer an. Dabei werden jedoch kleine vegetationsreiche Flachgewässer gegenüber vegetationsarmen Seen und größeren Teichen deutlich bevorzugt. Insgesamt ist die potenzielle Gefährdung durch Speicherteiche gering, weil die Hauptlaichzeit des Bergmolches von Mitte April bis Ende Mai reicht und zu diesem Zeitpunkt die Beschneigung abgeschlossen ist. Die Molchlarven haben daher vor der nächsten Beschneigung die Speicherteiche schon verlassen. Überdies überwintert der Bergmolch überwiegend in terrestrischen Habitaten.

Die Erdkröte (*Bufo bufo*) besitzt im deutschen Alpenraum nachgewiesene Laichgebiete bis rund 1000 m ü. NN. Im gesamten Alpenraum werden Gewässer bis rund 2400 m besiedelt. Erfolgreiche Reproduktionen sind in den österreichischen Hochalpen bis 2190 m ü. NN nachgewiesen (Malkmus 1997). Über 1400 m laicht die Erdkröte meist nur noch in Kleingewässern wie Moor- und



Abb. 4.49 Der Bergmolch (*Ichthyosaura alpestris*) besiedelt Gewässer bis 1800 m ü. NN. (A. Sarti/imageBROKER/picture alliance)

Weidetümpeln ab, die sich bei intensiver Sonneneinstrahlung rasch erwärmen. In tieferen Lagen kommt sie vor allem im Uferbereich von Bergseen vor.

Ähnlich verhält es sich bei der Gelbbauch- oder Bergunke (*Bombina variegata*). Die Gelbbauchunken besiedeln im Alpenraum überwiegend temporäre Berggewässer und können bis 1800 m ü. NN angetroffen werden. Da die Gelbbauchunke terrestrisch in Erdhöhlen oder lockerem Erdreich überwintert, ist sie von der Nutzung der Speicherteiche oder natürlichen Stillgewässer für die Beschneidung nicht betroffen.

Auch der Grasfrosch (*Rana temporaria*) besiedelt, wie Nachweise von Mildner und Hafner (1990) belegen, terrestrische Lebensräume bis 2400 m ü. NN. In optimalen Laichgewässern sind Reproduktionserfolge in Höhen von 2270 und 2350 m nachgewiesen (Malkmus 1992). Die potenziellen Laichgewässer umfassen die verschiedensten Stillgewässer bis hin zum großen Bergsee. Der Grasfrosch kann zudem seinen Reproduktionszeitraum den entsprechenden Höhenlagen anpassen. Adulte Grasfrösche überwintern in der Regel gruppenweise am Grund oder im Bodenschlamm tiefer Gewässer und können daher bei wechselnden Wasserständen und Durchfrieren des Teichbodens und Austrocknung irreversibel geschädigt werden. Eine weitere Beeinträchtigung kann auch dann entstehen, wenn die Überwinterung mit reduziertem Stoffwechsel und abgesenkten Körpertemperaturen gestört wird. Veränderungen der Wassertemperatur und zusätzliche Aktivitäten zu dieser Jahreszeit können ebenfalls dazu führen, dass für die am Grund oder am Bodenschlamm überwinternden Arten der Speicherteich zur Falle wird.

Insgesamt steigt die Zahl potenziell beeinträchtigter Arten dann erheblich an, wenn der geplante Speicherteich in tieferen Lagen angelegt wird. Dann zählt z. B. auch der Teichfrosch (*Pelophylax esculentus*) zu den potenziell betroffenen Arten, denn auch er überwintert am Gewässergrund. Hier muss jeder Einzelfall gesondert artenschutzrechtlich geprüft werden.

Ob und inwieweit der Klimawandel und damit zusammenhängend länger anhaltende Wärmeperioden die bislang bekannten bevorzugten Lebensräume verändern können, wurde noch nicht untersucht. Es ist möglich, dass bei einer stärkeren Erwärmung die Lebensraumeignung der Speicherseen für Amphibien steigt.

Weiterhin sind indirekte Auswirkungen denkbar, wenn das neu entstandene Gewässer als Laichgewässer stark angenommen werden würde und Wanderungen dorthin ausgelöst werden. Mögliche Verluste aufgrund von Wanderungen zu einem geplanten Speicherteich durch Querung stark befahrener Straßen waren z. B. im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie für eine Beschneidungsanlage im Schwarzwald zu erfassen und zu prüfen (Roth 1998b).

Zu den Artengruppen, die ebenfalls im Zusammenhang mit Veränderungen an Feuchtbiotopen nachhaltig gestört werden können, zählen die Libellen. Sie eignen sich auch als Indikatorarten für andere gewässergebundene Artengruppen. In Bayern ist von den 74 heimischen Arten rund die Hälfte aktuell gefährdet. Auch hier entscheidet die Höhenlage des Teiches wesentlich über die potenzielle Vielfalt. In Höhenlagen über 1200 m sind 26 Arten nachgewiesen, in Höhenlagen um 1000 m

steigt der potenzielle Artenreichtum auf 46 Arten an (Kuhn & Burbach 1998; Malkmus 1997). Gefährdet sind vor allem Arten, die an saubere Fließgewässer, Hochmoore, nährstoffarme Gewässer sowie sommertrockene Flachmoore und Großseggenriede gebunden sind. Hierzu zählen unter anderem die Hochmoor-Mosaikjungfer (*Aeshna subarctica*), die Gestreifte Quelljungfer (*Cordulegaster bidentata*), die Zweigestreifte Quelljungfer (*Cordulegaster boltonii*), der Kleine Blaupfeil (*Orthetrum coerulescens*) oder die Arktische Smaragdlibelle (*Soma-tochlora arctica*). Die Libellenarten, die an stehende Gewässer angepasst sind, sind dagegen weniger gefährdet. Damit stellt der Teich für die Beschneigungsan-



Abb. 4.50 Gesondert angelegte Biotopfläche mit dauerhaftem Wasserstand beim Speichersee Riedwald/Oberstdorf. (C. Weiler)



Abb. 4.51 Parallel zum Speichersee angelegte Biotopfläche, getrennt durch einen Spazierweg. (C. Weiler)

lage in erster Linie ein Habitat für ubiquitäre Libellenarten dar. Bei vollständiger Nutzung des Wassers in den Wintermonaten werden voraussichtlich deren Larven geschädigt, wenn sie gewässerbodennah überwintern. Dies kann durch die Festlegung einer Restwassermenge vermieden werden.

Wird für die Wasserentnahme und die Auffüllung des Teiches in den Sommermonaten ein natürliches, nährstoffarmes Fließgewässer stark beansprucht (z. B. temporär trockenfällt), dann sind Auswirkungen auf die gefährdeten Libellenarten denkbar und im Einzelfall zu prüfen.

Auch einzelne Vogelarten und Fische können indirekt durch die Beschneidung betroffen sein. Bei den Vögeln handelt es sich dabei um Arten, die an potenziell betroffene Feuchtlebensräume besonders angepasst sind. In den Bergen gehören hierzu vor allem Wasseramsel und Bergstelze.

Die Wasseramsel (*Cinclus cinclus*) gilt in Bayern als potenziell gefährdete Art (RL 4) und ist durch eine deutlich rückläufige Bestandsentwicklung gekennzeichnet. Als Vogelart, die an klare Bäche mit starker Strömung angepasst ist, zählt sie zu den Arten, die bei Wasserentnahme für die Beschneidung aus einem Fließgewässer betroffen sein können. Sie benötigt als Lebensraum Gewässerprofile, die Kies, Sand, Geröll und Steinbrocken aufweisen und durch einen naturnahen Bewuchs mit Gehölzen geprägt sind. Ein Revier umfasst durchschnittlich Gewässerabschnitte von 500–600 m. Die Siedlungsdichte beträgt etwa ein Brutpaar pro Kilometer. Die Wasseramsel gilt als relativ ortstreue Art, die auch im Winter in ihrem Lebensraum im Berggebiet ausharrt, solange die Gewässer nicht zugefroren sind. Sie ernährt sich von Kleintieren in und am Wasser.

Wird aufgrund der Wasserentnahme für die Beschneidung die Wassermenge deutlich reduziert, verschlechtern sich die Jagdbedingungen. Die Gefahr von gefrorenen

Teilflächen erhöht sich und kann das zur Verfügung stehende Nahrungsangebot weiter einschränken. Vergleichbare Effekte sind auch bei Eisvogel (nur in Tieflagen) und Bergstelze möglich. Tischendorf (2003) weist in ähnlichem Zusammenhang auch auf die mögliche Betroffenheit von Fischen hin. Wasserentnahme im Oberlauf eines Fließgewässers zur Wiederbefüllung entleerter Speicher haben nach seiner Erfahrung häufig Folgewirkungen auf die Laichgerinne, etwa der Bachforelle. Die Laichgerinne könnten durch die Wasserentnahme trockenfallen oder aufgefrieren, und der Laich wird zerstört. Hierzu sind eindeutige Regelungen in Bezug auf zulässige Restwassermenge und Entnahmezeitpunkte erforderlich (Kap. 5).

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Wenn die Speicherseen für die Beschneidung als Feuchtlebensräume entwickelt werden und dann im Winter das Wasser entnommen wird, stellt der Speichersee eine mögliche „Falle“ für die Amphibien, Wasserschnecken und Insektenlarven dar, die am Teichgrund überwintern. Durch die Wasserentnahme kann der Frost in diese Bereiche eindringen und die Lebewesen schädigen. Die Zahl potenziell beeinträchtigter Arten steigt dann erheblich an, wenn der Speichersee in tieferen Lagen angelegt wird.

Bei Bewirtschaftung des Speichersees als technisches Gewässer ohne Grüngürtel und Verschlammung am Teichgrund können diese Effekte weitgehend vermieden werden. Empfohlen wird auch, einen eigenen separaten Lebensraum zu schaffen, dessen Wasserregime unabhängig vom Speichersee ist und „gefahrlos“ von Amphibien, Insekten und anderen Lebewesen besiedelt bzw. genutzt wird (Abb. 4.50 und 4.51).

Eine indirekte Betroffenheit kann auch bei Vogelarten eintreten, die am Gewässerrand leben und sich von Kleintieren in und am Wasser ernähren. Bei einer Wasserentnahme steigt die Gefahr zugefrorener Teilflächen. Damit verschlechtern sich die Jagdbedingungen und das Nahrungsangebot. Mögliche betroffene Arten sind Wasseramsel, Eisvogel und Bergstelze. Bei geringem Wasserstand können auch die Laichgerinne der Bachforelle ausfrieren. In diesem Zusammenhang kommt der festgelegten Restwassermenge eine große Bedeutung zu, um mögliche Auswirkungen zu vermeiden.

4.4.5 Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Fauna

Als Bioindikator im Rahmen von Landschaftsplanungen eignet sich für die Untersuchung möglicher Wechselwirkungen die Avifauna (Vögel) hervorragend. Eine besondere Beachtung sollte dabei den Raufußhühnern, nachtaktiven und störungsempfindlichen Arten geschenkt werden. Um bei großflächigen Veränderungen ergänzende Aussagen zu erhalten, ist das Schalenwild (z. B. Rotwild) ein geeigneter Indikator. Amphibien und Libellen zeigen Lebensraumveränderungen an Gewässerlebensräumen an. Aufnahmen zur Bodenfauna erscheinen aufgrund der mechanischen Beeinflussung der Piste und der vielfach gegebenen Vorbelastung durch Planien jedoch aus landschaftsökologischer Sicht nicht als notwendige

Tab. 4.13 Wirkprognose und Risikoabschätzung betriebs- und anlagebedingter Folgen für das Schutzgut Tierwelt abgeleitet aus Eintrittswahrscheinlichkeit (A=hohe Wahrscheinlichkeit, B=mittlere Wahrscheinlichkeit, C=geringe Wahrscheinlichkeit) und Schadensintensität (I=hohe Intensität, II=mittlere Intensität, III=geringe Intensität; zur Ableitung des Risikos vgl. Tab. 4.1)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Tiere Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Erhöhte Schneeeauflage	Auswirkungen auf Bodenlebewesen			
	Bei hoher Schneeeauflage Schutzwirkung und geringe Frosteinwirkung	C	III	Gering
	Bei geringer Schneeeauflage starke und wechselnde Frosteinwirkung	A	III	Mittel
Ausbringen zusätzlicher Wassermengen	Auswirkungen auf furagierende Vogelarten (Pistenflächen) als Nahrungshabitat	C	III	Gering
	Auswirkungen von Artenverschiebungen in Pflanzengemeinschaften auf Boden- und Aufwuchsarthropoden	C	II	Gering
Auswirkungen durch Stoffeintrag aus dem Wasser	Artenverschiebungen bei Boden- und Aufwuchsarthropoden als Folge von Vegetationsänderungen durch Auftrag von nährstoffreichem Wasser oder Abtauhilfen	B	II	Mittel
Auswirkungen durch partielle mechanische Belastungen und Verdichtung des Bodens	Auswirkungen auf Boden- und Aufwuchsarthropoden	B	III	Gering
	Auswirkungen auf Collembolenfauna	B	III	Gering
Verlängerung der Schneebedeckung	Auswirkungen auf Boden- und Aufwuchsarthropoden	B	I	Hoch
Lärmbelastung, Beleuchtung und Betreuung der Anlage	Störung und Beeinträchtigungen von Kleinvögeln der Hochlagenwälder im Winter	C	III	Gering

(Fortsetzung)

Tab. 4.13 (Fortsetzung)

Wirkfaktoren der Beschneidung	Schutzgut Tiere Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Lärmbelastung, Beleuchtung und Betreuung der Anlage	Störung und Beeinträchtigungen von winteraktiven Großvögeln, Auerhuhn, Birkhuhn, Haselhuhn			
	Bei Beschneidung begrenzt bis 1. März, Vermeidung von Habitatfragmentierung und ohne flächige Beleuchtung	B	II	Mittel
	Bei Beschneidung im März, Einfluss auf Habitatstrukturen und flächiger Ausleuchtung	A	I	Hoch
	Störung seltener tagaktiver Vogelarten, z. B. Dreizehenspecht	C	II	Gering
	Störung und Beeinträchtigungen bei seltenen nachtaktiven Vogelarten, z. B. Sperlingskauz			
	Bei Begrenzung der nächtlichen Beschneidung unter 10 Tage, Verzicht auf eine flächige Ausleuchtung bis maximal 1. März	B	II	Mittel
	Bei flächiger Ausleuchtung oder Beschneidung im März oder häufiger Beschneidung bei Nacht	A	I	Hoch
	Störung von Rotwild und Gamswild	B	II	Mittel
Herstellen eines Speichersees und Wasserentnahme für die Beschneidung	Auswirkungen auf Amphibien und Reptilien, Libellen u. a. Arten durch Speichersee			
	In höheren Lagen (über 1000 m ü. NN)	B	II	Mittel
	In höheren Lagen (über 1000 m ü. NN) mit zusätzlichem wasserstands-unabhängigen Biotopteich	C	II	Gering
	In tieferen Lagen (unter 1000 m ü. NN) mit lebensfeindlicher Ausgestaltung und Reinigung	B	II	Mittel
	In tieferen Lagen (unter 1000 m ü. NN) mit zusätzlichem wasserstands-unabhängigen Biotopteich	C	I	Gering

(Fortsetzung)

Tab. 4.13 (Fortsetzung)

Wirkfaktoren der Beschneidung	Schutzgut Tiere Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Wasserentnahme	Beeinträchtigung von Vögeln wie Wasseramsel, Bergstelze oder Eisvogel durch vermehrte Vereisung, geringere Gewässertiefen etc., an ihren Nahrungsgewässern bei reduzierten Wasserführungen der Fließgewässer	B	II	Mittel
Beeinträchtigung der Gewässerfauna in Fließgewässern				
	Bei Veränderung der Sohlgeschwindigkeit	A	I	Hoch
	Bei unveränderter Sohlgeschwindigkeit	B	II	Mittel
	Bei Entnahme von mehr als 10 % des mittleren Niedrigwasserabflusses	A	II	Hoch
	Bei Entnahme von weniger als 10 % des mittleren Niedrigwasserabflusses	B	II	Mittel

Voraussetzung für sachgerechte Planungen. Dies lässt sich auch aus den dargestellten Risiken ableiten (Tab. 4.13). Mögliche Auswirkungen der globalen Erwärmung auf Gewässer und Auswirkungen auf deren Qualität als Lebensraum sind zukünftig mit zu beachten.

4.4.6 Potenzielle baubedingte Auswirkungen

Zu den Auswirkungen durch die Baumaßnahmen zählen temporäre Beeinträchtigungen aufgrund von Lärm, Sichtwirkung, Erschütterung und direkte Eingriffe in Lebensräume (Boden, Vegetation, Gehölze, Wald usw.). Durch Lärm, Sichteinwirkung und Geländeänderungen ist bei Schalenwild und anderen Wildtieren im Nahbereich der Piste von einer zeitweiligen Änderung der Raum-Zeit-Nutzung während der Baumaßnahmen auszugehen.

Kleinsäuger, aber auch Amphibien und Reptilien reagieren bereits empfindlich auf Erschütterungen, wie sie durch die Baumaschinen und den Materialtransport ausgelöst werden.

Gravierende nachhaltige Auswirkungen auf die Avifauna, aber auch auf Kleinsäuger und andere Wildtiere ergeben sich dann, wenn in den Gehölzsaum bzw. reichstrukturierte Waldränder entlang der Piste bei den Baumaßnahmen eingegriffen wird. Auch wenn diese Bereiche wiederhergestellt werden, entfallen doch über mehrere Jahre Brutplätze für die Avifauna, aber auch ein wirksamer Sichtschutz und Lebensraum für andere Arten. Da die Baumaßnahmen Eingriffe in die Vegetation und Boden bedeuten, entstehen zudem Folgewirkungen auf die gesamte Bodenfauna. Hierbei sind auch Auswirkungen durch Verdichtung in den Randbereichen der baulich veränderten Teilflächen zu beachten. Auswirkungen dazu sind auch in Abschn. 4.1 genannt.

Die Höhenangaben beziehen sich auf die derzeit bekannten Verbreitungen und könnten sich durch den Klimawandel einerseits und neue künstliche Angebote andererseits verändern.

4.5 Auswirkungen auf das Kleinklima

4.5.1 Mögliche anlage- und betriebsbedingte Auswirkungen

Die kleinklimatischen Verhältnisse im alpinen Raum weisen eine Reihe von Besonderheiten auf und wechseln oft kleinräumig. Hier spielen die Höhenlage, die Exposition, der Besonnungszeitraum der Pistenfläche, das Relief und die örtlichen Windverhältnisse (z. B. auch die Häufigkeit von Föhnstürmen) und andere Faktoren eine wichtige Rolle. Im Zusammenhang mit der Beschneigung sind diese kleinklimatischen Verhältnisse und vor allem die Kaltluftbildung von Bedeutung (Tab. 4.14).

Die Kaltluft, die sich bei der abendlichen Abkühlung auf Freiflächen bildet, fließt in geneigtem Gelände, sei es an einem Hang oder längs eines Talbodens, abwärts, sobald sie mächtig genug ist. Geschwindigkeit und Menge der fließenden Kaltluft wachsen dabei mit der Größe des Einzugsgebiets und dem Gefälle, wie sie für die Wiesen und Weiden der Skiabfahrten charakteristisch sind. Bei stärkerem Gefälle kann sich dieses Abfließen zu einem Wind von 2–3 m/s verstärken. Dieser Kaltluftabfluss kann sich im Gebirge zu einem Hangabwind, in den Tälern zu einem frischen Bergwind entwickeln. Am Boden weiter Täler mit geringem Gefälle sowie in Mulden bildet sich ein Kaltluftsee aus, aus dem Erhebungen als warme Inseln herausragen (Eimern & Häckel 1979). An den Bergen ist 100–300 m oberhalb des Talbodens oft eine warme Hangzone vorhanden, in der die Obergrenze der Bodeninversion der das Tal ausfüllenden kalten Luft liegt.

Tab. 4.14 Mögliche negative betriebs- und anlagenbedingte Auswirkungen der technischen Beschneigung auf das Kleinklima

Schutzgut Kleinklima		
Wirkfaktoren der Beschneigung	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
Erhöhte Schneeeauflage	Geringere Erwärmung bodennaher Luftschichten	Entstehung von Kaltluft, Kaltluftbildung
Verlängerung der Schneedecke	Geringe Erwärmung der bodennahen Luftschichten	Entstehung von Kaltluft, Kaltabfluss
Anlagen für Pumpstationen, technische Einrichtungen (Bauwerke)	Punktuelle Beeinträchtigung des Kaltluftabflusses möglich	Lokale Verschärfung von Spätfrostschäden

Die warme Hangzone ist an Nordhängen genauso vorhanden wie an Südhängen. Da Hindernisse wie Hecken, Mauern und Straßendämme die Kaltluft stauen, bildet sich vor ihnen ein kleiner Kaltluftsee, wobei der Staubereich mit der Höhe der Hindernisse, die senkrecht zum Geländegefälle verlaufen, sich für das oberhalb liegende Gelände oft frostverschärfend, für das unterhalb liegende frostmildernd auswirkt. Früher bestand daher bei der Beschneigung das Problem, dass an einem Hang unterschiedliche Temperaturverhältnisse herrschen, die in einem Fall die Beschneigung bereits erlauben, im anderen Fall, z. B. in einer höherliegenden warmen Hangzone, aber noch unzureichende Rahmenbedingungen bestehen. Nur wenn mehrere über die Talabfahrt verteilte Temperaturmessungen vorlagen, konnte qualitativ hochwertiger Schnee garantiert werden. Die modernen Beschneigungsanlagen sind auf solche unterschiedlichen Temperaturverläufe eingestellt. Jeder Schneeerzeuger besitzt eine eigene Messstation. Somit können sie jeweils zum klimatisch geeigneten Augenblick für die Beschneigung eingesetzt werden. Insgesamt treten die möglichen bzw. erwarteten kleinklimatischen Auswirkungen durch Anlage und Betrieb, gemessen an anderen Schutzgütern, eher in den Hintergrund (Tab. 4.14).

Zu anlagebedingten Auswirkungen kann es beispielsweise kommen, wenn größere Wasserflächen für Speicherbecken angelegt werden, von denen in der direkten Umgebung Veränderungen des Kleinklimas aufgrund der ausgleichenden Wirkung des Wassers bewirkt werden können. Durch die für die Beschneigung erforderlichen Betriebsgebäude (z. B. für die Steuerung, Pumpen oder Lagerung der Schneeerzeuger) kann der Kaltluftabfluss beeinträchtigt und damit das Kleinklima verändert werden.

Auch beim Betrieb der Beschneigungsanlage können kleinklimatische Wechselwirkungen verursacht werden. Dazu gehören die Windverfrachtung feinsten Wassertröpfchen, die sich in der Umgebungsluft bemerkbar machen und sich als

Raureif oder Eis – je nach Temperatur der Umgebungsluft – an Bäumen oder auch auf Verkehrswegen niederschlagen können.

Zu den indirekten betriebsbedingten Auswirkungen gehören Folgeeffekte der verlängerten Schneebedeckung. Hier muss – verglichen mit dem Umfeld – mit einer verstärkten Kaltluftbildung gerechnet werden, die entsprechend der Schneebedeckung über einen längeren Zeitraum festzustellen ist.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Die Auswirkungen auf das Kleinklima sind insgesamt als geringfügig einzustufen. Die moderne Beschneigungstechnik erlaubt eine optimale Anpassung auch an kleinräumige Unterschiede.

Zu beachten sind Windverfrachtungen mit unerwünschten Auswirkungen im Wald (Schneebruchgefahr) oder Nebelbildung und Verfrachtung mit Gefahr der Vereisung von Wegen und Straßen.

4.5.2 Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Kleinklima

Auswirkungen auf das Kleinklima spielen eine eher untergeordnete Rolle (Tab. 4.15). Im Rahmen der Planung sind vor allem in folgenden Fällen Auswirkungen auf das Kleinklima zu prüfen:

- Bei großen Speicherteichen
- Bei Gebäuden quer zum Kaltluftabfluss
- Bei windexponierten Lagen der Beschneigung
- Bei deutlich verlängerter Schneebedeckung
- Bei großflächigen Terrainveränderungen

4.5.3 Baubedingte Auswirkungen

Die potenziellen baubedingten Auswirkungen richten sich nach dem Umfang der geplanten Maßnahme. Die potenziellen Belastungen, wie Luftbelastung durch Staub und die eingesetzten Baufahrzeuge, sind bei kleineren Anlagen so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Anders verhält es sich, wenn z. B. für die Anlage eines Speicherteiches große Massen bewegt werden müssen, zur Aufschüttung und Sicherung des Dammes verdichtungsfähiges Material angefahren werden muss und die Baustelle sich über mehrere Monate hinzieht. Hier ergeben sich baubedingte Belastungen für das Kleinklima im unmittelbaren Um-

Tab. 4.15 Wirkprognose und Risikoabschätzung betriebs- und anlagebedingter Folgen für das Schutzgut Klima abgeleitet aus Eintrittswahrscheinlichkeit (A=hohe Wahrscheinlichkeit, B=mittlere Wahrscheinlichkeit, C=geringe Wahrscheinlichkeit) und Schadensintensität (I=hohe Intensität, II=mittlere Intensität, III=geringe Intensität; zur Ableitung des Risikos vgl. Tab. 4.1)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Klima Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Erhöhung der Schneeauflage	Geringere Erwärmung bodennaher Luftschichten	C	II	Gering
Verlängerung der Schneebedeckung	Geringere bzw. spätere Erwärmung der bodennahen Luftschichten	C	II	Gering
	Bei deutlich verlängerter Schneebedeckung (Saisonalverlängerung)	B	II	Mittel
Verfrachtung der Schneebedeckung	In windgeschützter Lage	C	III	Gering
	In windexponierter Lage	B	II	Mittel
Anlagen und technische Bauwerke	Bei Lage im Tal oder am Waldrand	C	II	Gering
	Bei Lage quer zum Kaltluftfluss mit Stauwirkung, punktuelle Erhöhung der Spätfrostgefahr	B	II	Mittel
	Bei großen Speichersseen durch Dämme und Veränderung der Topografie	B	III	Mittel

feld. Wegen der besonderen Rahmenbedingungen im Einzelfall sind diesbezüglich keine allgemein gültigen Aussagen möglich.

4.6 Auswirkungen auf das Landschaftsbild

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Auswirkungen der Beschneigung auf das Landschaftsbild erfolgt vielfach eingebunden in eine Diskussion zum Klimawandel und zu seinen Folgen (Steiger et al. 2019), als Teil einer Befragung, bei der auch weitere Aspekte wie die Bedeutung der Schneesicherheit und die Kosten mit abgefragt wurden (Landauer et al. 2012), eingebunden in öko-

logische Langzeitstudien (Roux-Fouillet et al. 2011) oder integriert in die Betrachtung der gesamttouristischen Entwicklung (Pröbstl-Haider et al. 2021).

Untersuchungen, die sich ausschließlich mit dem Einfluss der technischen Beschneigung auf das Landschaftsbild und dem dadurch veränderten Landschaftserlebnis befassen, gibt es nicht (Reinboth 2019). So beziehen sich die hier vorgestellten möglichen Auswirkungen auf Prognosen verschiedener Autoren und Studien, die sich unabhängig von der Beschneigung mit landschaftsästhetischen Belangen in Ski-gebieten auseinandersetzen (Nohl & Neumann 1987; Güsewell et al. 1994).

4.6.1 Mögliche Auswirkungen bei Anlage und Betrieb

In diesem Abschnitt sind die möglichen direkten und indirekten Auswirkungen bei Anlage und Betrieb der Schneerzeuger dargestellt. Nachstehend wird versucht, diese Effekte am Beispiel nachvollziehbar zu beschreiben. Darüber hinaus sollen in die Diskussion möglicher Auswirkungen auch die Art der Wahrnehmung und die Rahmenbedingungen für das Landschaftserlebnis miteinbezogen werden.

4.6.1.1 Verfremdung des Landschaftsbildes

Im Zusammenhang mit den Auswirkungen auf das Landschaftsbild wird meist das als störend empfundene „weiße Band“ in einer schneefreien Landschaft genannt. Damit dieser Effekt eintritt, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein.

1. Es liegt kein natürlicher Schnee bzw. es sind keine Schneereste mehr vorhanden. Bereits geringfügige natürliche Schneefälle können genügen, um den künstlichen Eindruck zu überspielen (Landauer et al. 2013).
2. Die beschneite Piste wird nicht durch Gehölze oder Wälder optisch abgedeckt. Wie anhand von Abb. 4.52 und 4.53 gezeigt werden kann, ist der Störeffekt geringer, wenn die beschneite Piste im Wald liegt oder die Fernwirkung der weißen Flächen immer wieder durch Gehölzgruppen abgemildert wird.
3. Die Beschneigung erfolgt überwiegend in tiefen Lagen (z. B. Talabfahrt). Insbesondere bei Betrachtung aus größerer Entfernung spielt die Höhenlage eine wichtige Rolle. Beschneite Flächen in größerer Höhe werden vielfach nicht direkt der Beschneigung zugeordnet, sondern teilweise auch als natürlich eingestuft. Dagegen fallen beschneite Bereiche in Tallagen, neben denen sich die Beschneigung aufgrund der Vegetationsentwicklung z. B. durch das Grün der Wiesen deutlich als Fremdkörper abhebt, eher störend auf (Abb. 4.54).

Im Winter 2022/23 wurde aufgrund der hohen Energiepreise und der ungünstigen kleinklimatischen Bedingungen für die Beschneigung vielerorts nur ein schmales Band auf den Abfahrten zur Verfügung gestellt. Wegen des Fehlens von Schnee in der Umgebung im Dezember und Anfang Januar wurde das Landschaftsbild stärker kritisiert als in sonstigen Jahren. Dies bestätigt die Bildbefragung von Landauer et al. (2012), die zeigte, dass es nicht die großen Schneemengen sein müssen, sondern es besonders auf die Winterlandschaft ankommt, für die auch wenig Um-

Abb. 4.52 Schneeseste mildern den Effekt der beschneiten Piste auf das Landschaftsbild. Im unteren Teil dominiert ein negativ empfundenen Landschaftsbild. (U. Pröbstl-Haider)



Abb. 4.53 Beschneite Pisten sind länger in der Landschaft ablesbar. (U. Pröbstl-Haider)



Abb. 4.54 Reste der beschneiten Piste werden als störend empfunden. (U. Pröbstl-Haider)

Tab. 4.16 Mögliche negative betriebs- und anlagebedingte Auswirkungen der technischen Beschneigung auf das Landschaftsbild

Schutzgut Landschaftsbild		
Wirkfaktoren der Beschneigung	Direkte Auswirkungen	Indirekte Auswirkungen
Zusätzliche Wassermenge	Bei Rutschungen, Erosionserscheinungen Beeinträchtigung des Landschaftsbildes	Langfristige Veränderung, Verarmung und/oder Nivellierung des Landschaftsbildes durch Verlust an floristischen Kleinstrukturen und Blühaspekten
Verlängerung der Schneedecke	Verfremdung des Landschaftsbildes, künstlicher Landschaftscharakter	–
Anlagen für Pumpstationen, technische Einrichtungen (Bauwerke)	Verändertes Landschaftsbild bei oberirdischen Bauwerken	–
Lichteffekte bei nächtlicher Beschneigung	Verändertes Landschaftsbild bei großräumigen Ausleuchtungen	–
Betreuung und Präparieren bei Nacht und in der Dämmerung im Gelände	Verändertes Landschaftsbild bei großräumigen Ausleuchtungen	–
Wasserentnahme aus Fließ- oder Stillgewässern	Verfremdung des Landschaftsbildes z. B. bei Anlagen von künstlichen Staubecken	Langfristige Veränderung der Gewässerökosysteme mit Auswirkungen auf das Landschaftsbild

gebungsschnee ausreicht. Siehe hierzu auch die Befragungsergebnisse von Roth et al. (2018) und Bausch et al. (2024) (Tab. 4.16).

Zudem wurden im schneearmen Winter 2022/23 neben ästhetischen Defiziten auch Sicherheitsaspekte verbunden mit dem schmalen „weißen Band“ kritisch genannt.

4.6.1.2 Einfluss von baulichen Einrichtungen

Neben dem „weißen Band“ kann das Landschaftsbild auch durch die für die Beschneigung erforderlichen baulichen Einrichtungen (Kühltürme, Anschlussstellen, Aufbewahrungsräume bzw. Hütten für Schneeerzeuger, Schläuche usw.) oder auch einen großen Speicherteich beeinträchtigt oder nachhaltig verändert werden.

Untersuchungen zum Landschaftsbild im Alpenraum und in einem Skigebiet (Nohl & Neumann 1987) zeigten, dass technische Einrichtungen sowohl von Sommertouristen als auch Wintertouristen (Skifahrer) als belastend für das Landschaftserlebnis empfunden werden. Grundlage für diese Untersuchung bildete ein umfangreiches Fotoordnungsverfahren, das jeweils in der Landschaft durchgeführt wurde. Die Aufnahmen zeigten alle den Zustand im Sommer. Die Autoren konnten anhand der Daten nachweisen, dass trotz der unterschiedlichen Interessen zwischen Sommer- und Winterbesuchern beide Touristengruppen zu keinen nennenswerten Abweichungen in ihrem ästhetischen Urteil gelangten. Flächen- und Nutzungstypen (alpine Rasen, Quellflur, Baumgruppen, landwirtschaftlich genutzte Einzelgelände usw.), die die Sommertouristen besonders schön finden, werden auch von den Wintertouristen hoch bewertet. Bei der Auswertung der für den Tourismus, insbesondere den Wintersport erforderlichen Einrichtungen werden diese Anlagen ebenfalls von beiden Gruppen in ihrer landschaftsästhetischen Wirkung negativ belegt. Auch für den Wintertouristen zählen die Aufstiegshilfen zu jenen Strukturen, die ihnen im Sommer am wenigsten gefallen.

Die Untersuchung verdeutlicht, dass grundsätzlich davon auszugehen ist, dass auch von den Einrichtungen für die Beschneigung Belastungen des Landschaftsbildes ausgehen können. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass das im Sommer ermittelte Landschaftserlebnis nicht dem im Winter gleichzusetzen ist. So ermittelte Güsewell (1993) bei landschaftsästhetischen Bewertungen in der Schweiz unterschiedliche Eindrücke und Meinungsbilder im Sommer und Winter: Danach fallen landschaftliche Belastungen im Winter weniger auf (Abb. 4.55).

Negative Auswirkungen auf das Landschaftsbild ergeben sich, wenn die Unterschiede zur Umgebung den künstlichen Charakter unterstreichen.

Vielfach werden bei der Bewertung des Landschaftsbildes Aspekte miteingebracht (Güsewell et al. 1994), die weniger mit dem tatsächlich vorgefundenen Bild als vielmehr mit weitergehenden Überlegungen z. B. zur Wirtschaftlichkeit, zum Erholungsbedürfnis oder zur Funktionalität zu tun haben.

Auch Nohl und Neumann (1987) haben festgestellt, dass bei den Skifahrern unter den Wintertouristen „die grundsätzliche Einstellung zur touristischen Überformung



Abb. 4.55 Geringe Auswirkungen der verlängerten Schneedecke sind zu erwarten, wenn Gehölze die Piste abschirmen oder die Beschneigung in großer Höhenlage erfolgt. (U. Pröbstl-Haider)

der Landschaft in signifikanter Weise bejahender ist“. Das skisportorientierte Interesse der Wintertouristen schlägt etwas auf das ästhetische Erlebnis durch.

Auch wenn spezifische Untersuchungen zur Beschneigung nicht vorliegen, ist es möglich, dass diese Effekte vom Wintertouristen und dem vom Fremdenverkehr abhängigen Einheimischen aus ähnlichem Grund als weniger belastend empfunden werden als von externen Gutachtern. Trotz dieser im Einzelfall schwer fassbaren Einflussfaktoren auf das subjektive Landschaftserlebnis auf der Skipiste lassen sich dennoch, bezogen auf die Beschneigung, einige Aspekte verallgemeinert darstellen.

Der Umfang der Belastung hängt von der optischen Vorbelastung, der Art der Gestaltung der Bauwerke, der gewählten Beschneigungstechnik und den jeweiligen landschaftlichen Rahmenbedingungen (Relief, Gehölze) ab. Bei der Vorbelastung sind die bestehenden „Verdrahtungen“ der Landschaft durch die Aufstiegshilfen ebenso zu berücksichtigen wie mögliche Sicherungsmaßnahmen (Fangzäune, Absperrungen, Sicherungspolsterungen etc.) der Gebäude für den Liftbetrieb, gastronomische Einrichtungen und vieles andere (Abb. 4.56, 4.57 und 4.58).

Einen großen Einfluss hat auch die Gestaltung der Bauwerke, die in der Praxis vom landschaftlich gut integrierten Gebäude mit Holzverkleidung oder einer weitgehend unterirdischen Anordnung bis zu futuristischen Bauten reichen. Jiricka-Pürer et al. (2019) zeigen, dass vor allem große technische Gebäude negativ von den Gästen im Sommer und Winter bewertet werden.

Abb. 4.56 Im Sommer und Winter ist die bestehende Infrastruktur im Blick auf das Landschaftsbild miteinzubeziehen. (U. Pröbstl-Haide)



Auch das gewählte System für die Beschneigung (z. B. Lanzen oder aufgeständerte Anlagen bzw. Türme) kann einen Einfluss auf das Landschaftserlebnis besitzen (vgl. Abschn. 3.1). Zudem sind die Positionierung und der Verlauf der Piste von Bedeutung: So fallen die 13 m hohen Schneilanzen weniger auf, wenn sie vor einem Waldrand und nicht mitten in der Freifläche angeordnet sind.

Wie die Übersicht zu den möglichen Auswirkungen der Beschneigung erkennen lässt, kann eine Reihe von Wirkfaktoren der Beschneigung zur Veränderung des Landschaftsbildes, z. B. durch Erosion oder Verlust an floristischen Kleinstrukturen und Blütenaspekten, führen. Obschon, wie in den vorhergehenden Abschnitten dargestellt, diese Folgewirkungen nicht generell zu erwarten sind, soll an dieser Stelle auf den möglichen Zusammenhang mit dem Landschaftsbild und dem Landschaftserlebnis näher eingegangen werden.

Bei Belastungen bzw. Veränderungen des Landschaftsbildes ist nach den Erfahrungen mit den Waldschäden (Pröbstl 1989) zwischen den tatsächlichen Veränderungen des Landschaftsbildes und dem, was von Erholungssuchenden wahr-

Abb. 4.57 Bei der Bewertung des Landschaftsbildes ist die Vorbelastung zu beachten. (U. Pröbstl-Haider)



genommen wird, zu differenzieren. Veränderungen an der Vegetation, wie etwa die bei Lichtenegger (1995) beschriebene Zunahme des Scharfen Hahnenfußes in bestimmten Teilen der Piste oder eine langsame Erhöhung des Gräseranteils, werden in der Regel von Laien kaum wahrgenommen.

Solche Veränderungen sind umso schwieriger nachzuvollziehen, wenn die Skipiste auf beiden Seiten von Wald begrenzt ist und der Betrachter keine Vergleichsmöglichkeiten in der Entwicklung der Pflanzengemeinschaft oder aber des Blütenreichtums besitzt.

Speicherseen werden in vielen Skigebieten mit Wandermöglichkeiten in den Sommermonaten als Landschaftsbereicherung und Aufwertung der Sommerausflugziele etwa für Wanderinnen und Wanderer und Mountainbikerinnen und Mountainbiker vermarktet. Es zeigt sich, dass viele davon in den Sommermonaten als Wander- und Ausflugziele intensiv genutzt und vom Gast positiv hervorgehoben werden (Mayer et al. 2011). Arbeiten aus Frankreich bestätigen, dass Speicherseen so naturnah und attraktiv angelegt werden können, dass sie



Abb. 4.58 Bei der Bewertung der landschaftsästhetischen Belastung durch Bestandteile der Beschneiungsanlage ist die sonstige technische Infrastruktur zu berücksichtigen. (U. Pröbstl-Haider)



Abb. 4.59 Speichersee Hochalpsee-Warth (A) ein Jahr nach Baufertigstellung. (C. Weiler)



Abb. 4.60 Der Speichersee Zirbensee-Glungezer (A) besitzt bereits ein Jahr nach der Fertigstellung eine Bedeutung für die Naherholung. (C. Weiler)



Abb. 4.61 Speichersee Söllereck (A) ein Jahr nach Baufertigstellung. (C. Weiler)

keine Belastung für das Landschaftsbild darstellen (Peyras & Mériaux 2009). Beispiele für Anlagen mit hohem Freizeit- bzw. Erholungswert zeigen Abb. 4.59, 4.60, 4.61, 4.62, 4.63 und 4.64.

Für landschaftlich sensible Lagen, in denen die wintersportliche Nutzung optisch zurücktreten soll, werden inzwischen versenkbare Schneerzeuger angeboten, die nur während der Beschneigung sichtbar sind. Ansonsten sind weiter-



Abb. 4.62 Mit Erholungseinrichtungen und Fußweg kann der Speichersee eine Sommerattraktion darstellen. (C. Weiler)



Abb. 4.63 Wassererlebniswelt beim Speichersee Wurmberg-Niedersachsen (D). (C. Weiler)



Abb. 4.64 Wassererlebniswelt am Speichersee Resterhöhe (A). (C. Weiler)



Abb. 4.65 Große Niederdruck-Schneeerzeuger, vor allem aber hohe bzw. aufgeständerte Anlagen in freiem Stand, stellen Eingriffe in das Landschaftsbild dar. (U. Pröbstl-Haider)

hin sichtbare aufgeständerte Schneerzeuger oftmals schon eine Belastung für das Landschaftsbild (Abb. 4.65).

4.6.1.3 Einfluss von Rutschungen, Erosionserscheinungen sowie langfristigen Veränderungen, Verarmung oder Nivellierungen des Landschaftsbildes

In höheren Lagen werden von vielen Erholungssuchenden Schäden und Beeinträchtigungen an Natur und Landschaft nicht als Störung der alpinen Verhältnisse durch den Menschen, sondern als typische Erscheinungen der rauen alpinen Verhältnisse mit besonderen Klimabedingungen und Erosionserscheinungen durch Schnee oder andere Niederschläge usw. eingestuft. So musste bei Wiederbegrünungsmaßnahmen am Nebelhorn im Gespräch mit Wanderern immer wieder die Erfahrung gemacht werden, dass die Sommertouristen in den steinigten, durch die Planie veränderten Bereichen der Skipiste keine Pflanzen mehr erwarteten, mit der Begründung, in den Hochlagen könne sich aufgrund des Klimas keine Vegetation mehr halten. In ähnlicher Weise wurde im Rahmen einer psychologisch strukturierten Gruppendiskussion zum Waldsterben festgestellt, dass neuartige Waldschäden im alpinen Raum (Waldsterben) vielfach den rauen klimatischen Bedingungen zugeordnet wurden (Keppler 1988).

Urlauber und Besucher, die wenig Bergerfahrung besitzen, tendieren zu einer generell positiven Beurteilung ihrer „Urlandschaft“ und nehmen daher als Verursacher eher „alpine Gefahren“ als negative menschliche Eingriffe an (Hartmann 1982). Daraus kann man, bezogen auf die Beschneigung, Folgendes ableiten: Beeinträchtigungen werden dann negativ beurteilt und als störend empfunden, wenn der Erholungssuchende sie eindeutig der Beschneigung zuordnen kann (und muss). Die Unerfahrenheit mit alpinen Gegebenheiten und den speziellen Landschaftsbildern trägt bei vielen Erholungssuchenden dazu bei, dass die Beeinträchtigungen in den Mikrostrukturen von der Allgemeinheit weit weniger wahrgenommen werden als vom Fachmann. Hinzu kommt, dass sich viele Erholungssuchende in ihrem Urteil eher unsicher sind oder sich ein solches kaum zutrauen (Güsewell et al. 1994).

Einfluss der Beleuchtung

Um eine möglichst hohe Qualität des technischen Schnees zu erhalten, richtet sich der Zeitpunkt der Beschneigung nach den geeigneten Bedingungen, insbesondere im Hinblick auf eine möglichst niedrige Temperatur. Daher erfolgt vielfach wegen der niedrigen Temperaturen, teilweise zudem aber auch wegen der geringen Stromkosten die Beschneigung in der Nacht. In der Vergangenheit war es, um den Betrieb und Funktionsfähigkeit der Schneerzeuger überwachen zu können, erforderlich, die zu beschneidenden Flächen mithilfe von Scheinwerfern großräumig auszuleuchten. Heute bei überwiegend automatisierten Anlagen erfolgt dies vielfach immer noch, obschon es technisch nicht mehr erforderlich wäre. Je nach Lage des zu beschneidenden Gebiets zu Siedlungen oder Erholungswegen bzw. -einrichtungen wird dies als mögliche Belastung des Erholungs- und Erlebniswertes eingestuft. Ob und in welchem Umfang dies zutrifft, ist von den jeweiligen räumlichen Verhältnissen und der Vorbelastung abhängig. Entscheidend ist die Lage zu Siedlungs- und Erholungseinrichtungen. In den letzten Jahren ist ein Rückgang

der Ausleuchtungen festzustellen. Die (zunehmende) Abhängigkeit von der Beschneigung möchten viele Gebiete nicht durch die Beleuchtung auch noch weithin sichtbar machen

Eine beschneite Piste, die deutlich abgesetzt vom Ort in höheren Lagen verläuft, ist dabei weniger eine Belastung, als ortsnahe Anlagen. Hier können sich flächige Ausleuchtungen sich negativ auf das abendliche Landschaftserlebnis und -bild auswirken. Blend- und Spiegelreflexe sind in Siedlungsnähe ebenfalls nicht auszuschließen und werden im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen durchaus als mögliche optische Belastung untersucht.

Ob und inwieweit die Beschneigung einer Talabfahrt als optische Belastung einzustufen ist, hängt von der Vorbelastung des Bereichs ab, d. h. von der bereits bestehenden Ausleuchtung für Verkehr bzw. Verkehrsanlagen, Leuchtreklame oder Ausleuchtungen für Nachtskilauf, Eislauf oder Eisstockschießen im Umfeld.

4.6.2 Mögliche positive Auswirkungen auf das Landschaftsbild

Zu den wichtigsten, die Attraktivität einer Landschaft bestimmenden Faktoren gehört neben der Reliefenergie, der Nutzungsvielfalt und dem Reichtum an Kleinstrukturen in besonderer Weise auch das Wasser (Ammer & Pröbstl 1991). In dieser Hinsicht kann im Rahmen einer technischen Beschneigung gerade im Hinblick auf die „attraktiven“ Bausteine einer Landschaft eine positive wie negative Veränderung stattfinden.

So ist durchaus vorstellbar, dass harmonisch in die Landschaft eingefügte Speicherbecken von den Erholungssuchenden positiv bewertet werden. Mögliche Veränderungen lassen sich auch mithilfe einer Fotomontage im Vorfeld analysieren und Alternativstandorte vergleichend darstellen (z. B. Pröbstl & Dorsch 2011). Dass Staubecken nicht grundsätzlich positiv wirken, zeigen Beispiele großer künstlicher Staubecken, insbesondere wenn Auszäunungen und Dämme den künstlichen Charakter unterstreichen. Aber nicht nur die Größe des Teiches, sondern auch die Integration in die Landschaft entscheidet über die landschafts-ästhetische Wirkung. Negative Effekte entstehen bei unnatürlicher Anordnung im Gelände (etwa künstlich geformte Dämme). Der differenzierten Standortwahl kommt daher eine große Bedeutung zu.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Die Beschneigung wird vor allem dann als störend wahrgenommen, wenn die Unterschiede zur Umgebung groß sind und dies den künstlichen Charakter unterstreicht. Dies gilt besonders zu Beginn und gegen Ende der Saison. Die erforderlichen technischen Einrichtungen stören den Wintersportler in deutlich geringerem Maße als den Sommertouristen oder den Urlauber, der nicht am Wintersport interessiert ist. In vielen Fällen ist jedoch die Vorbelastung

mit Liften und anderen Infrastruktureinrichtungen so groß, dass die Einrichtungen speziell für die Beschneigung dahinter zurücktreten.

Die Auswirkungen auf Vegetation und Boden werden – mit Ausnahme größerer Murenabgänge – vom Laien nicht erkannt. Hierzu trägt die Un- erfahrenheit vieler Erholungssuchender im Berggebiet bei. Störungen kön- nen auch durch ortsnahe Beschneigung mit großflächigen Ausleuchtungen entstehen. Speicherseen können als bereicherndes Landschaftselement wahr- genommen werden, wenn sie entsprechend gestaltet werden.

Tab. 4.17 Wirkprognose und Risikoabschätzung betriebs- und anlagebedingter Folgen für das Schutzgut Landschaftsbild abgeleitet aus Eintrittswahrscheinlichkeit (A=hohe Wahrscheinlichkeit, B=mittlere Wahrscheinlichkeit, C=geringe Wahrscheinlichkeit) und Schadensintensität (I=hohe Intensität, II=mittlere Intensität, III=geringe Intensität; zur Ableitung des Risikos vgl. Tab. 4.1)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Land- schaftsbild Ausprägung und Rahmen- bedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Zusätzliche Wasser- menge, Stoffein- träge durch das Be- schneigungswasser	Veränderung und Nivellierung des Landschaftsbildes als Folge der Be- lastung anderer Schutzgüter (insbesondere Vegetation und Boden)			
	Zunahme bzw. Ab- nahme einzelner Arten (z. B. Schar- fer Hahnfuß)	C	III	Gering
	Einzelne Schader- eignisse	B	II	Gering
Verlängerung der Schneebedeckung	Verfremdung des Landschaftsbildes und künstlicher Landschafts- charakter			
	Bei eingeschränkter Einsehbarkeit (z. B. im bewaldeten Be- reich)	B	II	Mittel
	Bei Beschneigung nach dem 1. März	A	II	Hoch
	Bei Beschneigung oberhalb der Wald- grenze	C	II	Gering

(Fortsetzung)

Tab. 4.17 (Fortsetzung)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Landschaftsbild Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Einfluss baulicher Veränderungen für technische Einrichtungen und Veränderungen der Gewässerökosysteme	Veränderung des Landschaftsbildes			
	Bei großer Vorbelastung	C	II	Gering
	Bei großen Anlagen über 10 ha	A	I	Hoch
	Bei Anlagen bis 10 ha	B	II	Mittel
	Bei Anlagen im Landschaftsschutzgebiet durch den Bau von großen Speicheranlagen	B	II	Mittel
	Bei Lage überflur oberhalb der Waldgrenze	A	II	Hoch
	Bei Lage überflur unterhalb der Waldgrenze und grünordnerischer Einbindung	B	II	Mittel
	Bei unterirdischen Speicheranlagen	C	II	Gering
Lichteffekte bei flächiger Ausleuchtung der beschneiten Flächen	Veränderung des Landschaftserlebnisses bei großflächiger Ausleuchtung			
	In ortsnahen Bereichen ohne Vorbelastung	B	II	Mittel
	Ohne Vorbelastung in naturnahen, erlebniswirksamen und einsehbaren Bereichen	B	II	Mittel
	Ohne Vorbelastung in naturnahen, erlebniswirksam jedoch nur eingeschränkt einsehbaren Bereichen	C	II	Gering
	Mit Vorbelastung durch Straßen, Siedlungen und Ausleuchten für andere Einrichtungen	C	II	Gering

4.6.3 Ableitung des ökologischen Risikos für das Schutzgut Landschaftsbild

Tab. 4.17 fasst das ökologische Risiko der dargestellten möglichen Wirkungen zusammen.

4.6.4 Mögliche Auswirkungen beim Bau

Durch die Baumaßnahmen, bei denen Schädigungen an Pflanzen und dem Oberboden vorkommen können, entstehen auch bei Wiederbegrünung sichtbare Spuren in der Landschaft. Ob und wie lange die Eingriffe sichtbar bleiben, hängt von verschiedenen Faktoren ab.

Bei flächiger Wiederbegrünung durch Saatgut ist dies vielfach an einer anderen Färbung und einem veränderten Arteninventar zu erkennen. Auch für den Laien können diese baubedingten Auswirkungen etwa drei bis fünf Jahre in tiefen Lagen und in höheren Lagen (über 1400 m) selbst bei optimaler Begrünung bis zu 20 Jahre und mehr erkennbar sein.

Bei naturnahen Ausgangsgesellschaften wird bei extensiver Pflege ein mit den umliegenden Flächen vergleichbarer Zustand in rund 15 Jahren in tiefen Lagen (etwa bis 1400 m) erreicht. Für Hochlagen darüber muss je nach Pflanzengemeinschaft und Lage von größeren Zeiträumen ausgegangen werden (Pröbstl 1994). Der Laie erkennt vielfach bei guten Rekultivierungserfolgen die Eingriffe nach wenigen Jahren nicht mehr. Dies gilt umso mehr, wenn die zuvor vorhandenen Grassoden wieder für die Begrünung verwendet und auch Steine und Zwergsträucher „transplantiert“ werden.

4.7 Auswirkungen auf das Schutzgut Mensch

4.7.1 Auswirkungen durch Lärm

Zu den Auswirkungen auf den Menschen, die z. B. im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie zu prüfen sind, gehören zunächst die Folgen, die die physische und psychische Gesundheit und das Wohlbefinden betreffen. In diesem Zusammenhang ist neben den bereits dargestellten Auswirkungen auf die Erholungswirksamkeit des Landschaftsbildes vor allem die Lärmentwicklung zu beachten. Dazu ist zunächst zu ermitteln, ob die Lärmimmissionen durch die Beschneigungsanlage das ortsübliche Ausmaß überschreiten und die Benutzung von Grundstücken wesentlich beeinträchtigen. Für die Beurteilung der Ortsüblichkeit und Zumutbarkeit sind vor allem die Lautstärke, die Dauer, die Eigenart der Geräusche und die Tageszeit von Bedeutung (Trost 2021).

Trotz fortschreitender Technik der Beschneigungsanlagen ist die Lärmbelastung noch immer relativ hoch (Kap. 3), sodass sie, z. B. nach österreichischem oder deutschem Recht, nicht ausgeschlossen ist.

In Österreich kann die Höhe der Lärmbelastung und wenn sie ortsunüblich ist, z. B. nach § 364 Abs. 2 des Allgemeinen bürgerlichen Gesetzbuches (ABGB), zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Nutzung des Grundstückes führen. In diesem Fall steht ein Unterlassungsanspruch nach § 364 Abs. 2 ABGB zu. Trost (2021) weist jedoch darauf hin, dass hier im Einzelfall eine Interessensabwägung zwischen der gewünschten Nachtruhe der Nachbarinnen und Nachbarn und dem Skigebietsbetreiber, der z. B. den günstigeren Nachtstrom zur Herstellung von technischem Schnee nutzen will, vorzunehmen ist (Vogl 2019).

Im Hinblick auf den Lärmschutz sind in Deutschland für die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Sportanlagen die Bestimmungen der 18. Verordnung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchV; Bundesrepublik Deutschland 1991) vom 18. Juli 1991 zu beachten. Seit der Vollzugsbekanntmachung zum BImSchV vom 5. Februar 1998 (Nummer 149 b) sind die Geräuschemissionen der Beschneigungsanlagen, wie die von Sportanlagen, entsprechend der Sportanlagenschutzverordnung zu beurteilen. Die Zumutbarkeitschwelle der Lärmbelastung wird für die benachbarten Bereiche überschritten, wenn der Lärm im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes als schädliche Umwelteinwirkung gewertet wird. Dies ist der Fall, wenn die Immissionen nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. In diesem Zusammenhang sind jeweils die festgelegten Immissionsrichtwerte nach § 2, 18. BImSchV, insbesondere für die Nachtzeiten zu prüfen (Tab. 4.18). In der Regel werden dabei 60 dB(A) am Tag und 45 dB(A) in der Nacht für benachbarte Wohngebäude im Außenbereich als zumutbar erachtet, wie einem Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofes (VGH) von 1992 (BayVGH, Beschl. vom 09.11.1992, UPR, 78) und einer Reihe von Genehmigungsbeispielen zu entnehmen ist. Der VGH berücksichtigte bei diesen

Tab. 4.18 Immissionsrichtwerte außerhalb von Gebäuden entsprechend der städtebaulichen Gebietsabstufung. (Die Immissionsrichtwerte für Deutschland beziehen sich auf folgende Zeiten: tagsüber 8–20 Uhr, Ruhezeiten 6–8 Uhr und 20–22 Uhr, nachts 22–6 Uhr an Werktagen. An Sonntagen tagsüber 9–13 Uhr, 15–20 Uhr.)

Gebietseinstufung	Richtwert [dB(A)]		
	Tags außerhalb Ruhezeiten	Tags innerhalb Ruhezeiten	Nachts
Gewerbegebiet	65	60	50
Kern-, Misch- oder Dorfgebiet	60	55	45
Allgemeines Wohngebiet	55	50	40
Reines Wohngebiet	50	45	35

Tab. 4.19 Schallimmissionsrichtwerte für seltene Ereignisse nach der 18. BImSchV für Deutschland

Gebietseinstufung	Richtwert [dB(A)]		
	Tags außerhalb Ruhezeiten	Tags innerhalb Ruhezeiten	Nachts
Gewerbegebiet	70	65	55
Kern-, Misch- oder Dorfgebiet	70	65	55
Allgemeines Wohngebiet	65	60	50
Reines Wohngebiet	60	55	45

Grenzwerten allerdings, dass der betroffene Nachbar einer Pension – zumindest mittelbar – selbst Vorteil durch den Skibetrieb hatte.

Die gleichen Werte wurden auch vom Landratsamt Rosenheim für die Beschneiungsanlagen am Sudelfeld angesetzt. Zusätzlich wird dort in der Genehmigung festgelegt, dass der 100 m seitlich erzeugte Mittelungspegel bei Vollast 46 dB(A) nicht überschreiten darf.

Bei Beschneiungsanlagen, die nur wenige Tage in der Wintersaison eingesetzt werden, etwa für Wettkämpfe, kann sich die schalltechnische Beurteilung nach der 18. BImSchV auch an den Immissionsrichtwerten für seltene Ereignisse orientieren (Tab. 4.19). Voraussetzung dafür ist allerdings, dass eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte gemäß Tab. 4.18 an höchstens 18 Kalendertagen eines Jahres auftritt. Es gelten in diesen Fällen die dargestellten Immissionsrichtwerte für seltene Ereignisse. Wie bereits in Kap. 3 dargestellt, ist bei der Beurteilung

Tab. 4.20 Wirkprognose und Risikoabschätzung betriebs- und anlagebedingter Folgen für das Schutzgut Mensch abgeleitet aus Eintrittswahrscheinlichkeit (A=hohe Wahrscheinlichkeit, B=mittlere Wahrscheinlichkeit, C=geringe Wahrscheinlichkeit) und Schadensintensität (I=hohe Intensität, II=mittlere Intensität, III=geringe Intensität; zur Ableitung des Risikos vgl. Tab. 4.1)

Wirkfaktoren der Beschneigung	Schutzgut Mensch Ausprägung und Rahmenbedingungen	Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit der Schutzgüter	Schadensintensität	Risiko
Verlärmung beim Betrieb der Schneeerzeuger	Wohnbebauung im Abstand von weniger als 100 m zur Schneeanlage	A	I	Hoch
	Bebauung im Abstand von mehr als 100 m zur Schneelänge	B	II	Mittel

immer die Summenwirkung zu beachten; hierfür sind nicht nur die verschiedenen Schneeerzeuger, sondern auch weitere Schallquellen – wie Pumpen- oder Kühlanlagen – zu berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit der Beschneigung und einer Beurteilung der Schallimmission auf der Grundlage seltener Ereignisse ist zu beachten, dass sich die Wintersaison und die Beschneigung häufig auf zwei Jahre verteilt. So liegen die Grundbeschneigung in den Monaten November und Dezember und die Ausbesserungsbeschneigung im darauffolgenden Jahr in den Monaten Januar bis März.

Tab. 4.20 gibt das Risiko bezogen auf den Lärm wieder.

4.8 Auswirkungen auf das Schutzgut Kultur- und Sachgüter

In den Wintersportgebieten, in denen die Beschneigung in der Regel beantragt wird, sind zumeist potenziell betroffene Kultur- und Sachgüter eher selten. Spezielle Wirkprognosen durch Bau, Anlage oder Betrieb erscheinen nicht notwendig und müssen der Beurteilung im Einzelfall vorbehalten bleiben. Zu prüfen sind gegebenenfalls

- Schäden durch Lärm und Erschütterung (bau- und betriebsbedingte Auswirkungen),
- Schäden durch Verwendung von technischem Schnee (betriebsbedingte Auswirkungen),
- Schäden durch Bau neuer Anlagen und Leitungstrassen (anlage- und baubedingte Auswirkungen),
- Schäden durch Erhöhung der Erosionsgefahr.

Das mögliche Risiko ist im Einzelfall zu bewerten.

Literatur

- Algers, B., Ekesbo, I., Strömberg, S. (1978): The impact of continuous noise on animal health. *Acta veterinaria Scandinavica. Supplementum*, (68), 1–26.
- Ali Khan, S., Smolders, J., Hoidis, S., Ding-Pfennigdorf, D., Klinke, R. (1994): Functional recovery from hair cell destruction in adult pigeon. In: Elsner, N., Hrsg., *Sensory transduction*, Thieme, Stuttgart.
- Ammer, U., Pröbstl, U. (1991): *Freizeit und Natur – Probleme und Lösungsmöglichkeiten einer ökologisch verträglichen Freizeitnutzung*, Parey, Hamburg, Berlin, 228 S.
- Ammer, U., Pröbstl, U. (1996): *Ökologische Untersuchung Skigebiet Hausberg, Kreuzeck und Osterfelder in Garmisch-Partenkirchen*. Unveröffentlichtes Fachgutachten im Auftrag des Umweltbeirats des Deutschen Skiverbands, Etting.
- Ammer, U., Appel, E., Bauernschmitt, G. (1998): *Umweltschutz – Grundlagen und Praxis / Freizeit Tourismus und Umwelt*, Economica Verlag, Bonn.
- Arbeitsgemeinschaft Bodenforschung Deutsche Alpen (1995): *Abschlußbericht des Forschungsprojektes*, München.

- Armbruster, C. (1999): Multifaktorielle Wirkung von Freizeitaktivitäten auf Auerwildlebensräume in ganzjährig genutzten Erholungsgebieten. Unveröffentlichte Studie.
- AVEGA (2022): Vegetationsaufnahmen im Skigebiet Flachau und Alpendorf (Snowspace Salzburg) – Kartierung 2020 und 2021.
- Bausch, T. (2024): Rethinking growth orientation: Do ski-resorts' strategies fit the profiles of today's Alpine skiers? (noch unveröffentlicht). *International Journal of Tourism Research*.
- Bayerisches Geologisches Landesamt, unter Mitarbeit von Pröbstl, U. (1997): Schriftwechsel zur Erweiterung der Beschneigungsanlagen im Gebiet Hausberg – Krenzeke Osterfelder in Garmisch-Partenkirchen, München.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1997a): Entwicklung von Biozönosen in einem neugeschaffenen Stillgewässer, München.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1997b): Landschaft-ökologische Untersuchungen in den bayerischen Skigebieten, Skipistenuntersuchung – Zwischenauswertung nach 24 Skigebieten, München.
- Bell, D., Owen, M. (1980): Shooting disturbance – a review. In: Matthews, G., Hrsg., *Managing waterfowl populations. Proceedings of an IWRB symposium, Slimbridge*, 159–171.
- Bezzel, E., Prinzing, R. (1990): *Ornithologie*, Stuttgart.
- Bilbrough, C., Welker, J., Bowman, W. (2000): Early Spring Nitrogen Uptake by Snow-Covered Plants: A Comparison of Arctic and Alpine Plant Function under the Snowpack. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 32, 404.
- Blöschl, G., Blaschke, A., Haslinger, K., Hofstätter, M., Parajka, J., Salinas, J., Schöner, W. (2018): Auswirkungen der Klimaänderung auf Österreichs Wasserwirtschaft – ein aktualisierter Statusbericht. *Österr Wasser- und Abfallw* 70.
- Bowles, A. (1995): Responses of wildlife to noise. In: Knight, R. L., Gutzwiller, K. J., Hrsg., *Wildlife and Recreationists. Coexistence through Management and Research*, Island Press, Washington DC.
- Brandstätter, C., Solar, F., Lichtenegger, E. (1992): *Skiwelt und Umwelt*, Wien.
- Braun-Blanquet, J. (1964): *Pflanzensoziologie – Grundsätze der Vegetationskunde*, Wien und New York. 3. Aufl.
- Braunisch, V., Patthey, P., Arlettaz, R. (2011): Spatially explicit modeling of conflict zones between wildlife and snow sports: prioritizing areas for winter refuges. *Ecological Applications* 21, (3), 955–967.
- Brunn, B., Dehlin, H., Svensson, L. (1993): *Der Kosmos-Vogelführer – Die Vögel Deutschlands und Europas*, Stuttgart.
- Bühler, U. (2009): Totholz – existenziell für den Weissrückenspecht in Nordbünden | Dead wood – a vital necessity for the white-backed woodpecker in the Grisons. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 160, (7), 210–217.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1993): *Merkblatt Waldwirtschaft und Auerhuhn*, Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1994): *Störung von Wildtieren: Umfrageergebnisse und Literaturlauswertung*, Bern.
- Bundesrepublik Deutschland (1991): *Achtzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV*.
- Bunza, G. (1984): Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in alpinen Graslandökosystemen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 101–110.
- Bunza, G. (1989): Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in der alpinen Grasheide der Hohen Tauern an der Großglockner-Hochalpenstraße. In: Cernusca, A., Hrsg., *Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern*, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 119–154.
- Bunza, G. (1990): Mögliche Auswirkungen größerer Waldverluste auf das Wildbachgeschehen in den Bayerischen Alpen. In: Kommission für Ökologie der Bayerischen Wissenschaften, Hrsg., *Zustand und Gefährdung des Bergwaldes. Ergebnisse eines Rundgesprächs. Veranstalter und herausgegeben von der Kommission für Ökologie der Bayerischen Wissenschaften, Hamburg/ Berlin*, 112–119.

- Caravello, G., Crescini, E., Tarocco, S., Palmeri, F. (2006): Environmental modifications induced by the practice of “Artificial snow-making” in the Obereggen/Val D’Ega Area (Italy). *Journal of Mediterranean Ecology*, (7), 31–39.
- Casagrande Bacchiocchi, S., Zerbe, S., Cavieres, L., Wellstein, C. (2019): Impact of ski piste management on mountain grassland ecosystems in the Southern Alps. *The Science of the total environment* 665, 959–967.
- Cernusca, A. (1987): Skiläufer bedrohen die Natur. *Umwelt*, (11–12), 491–493.
- Cernusca, A., Angerer, H., Newesely, C., Tappeiner, U. (1990): Ökologische Auswirkungen von Kunstschnee – Eine Kausalanalyse der Belastungsfaktoren. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, (XIX/II), 746–757.
- Cernusca, A., Angerer, H., Newesely, C., Tappeiner, U. (1992): Auswirkungen von Schneekanonen auf alpine Oekosysteme – Ergebnisse eines internationalen Forschungsprojekts. In: Gnaiger, E., Kautzky, J., Hrsg., *Umwelt und Tourismus*, Thaur Kulturverlag, 177–199.
- Corwin, J., Cotanche, D. (1988): Regeneration of of sensory hair cells after acoustic trauma. *Science*, 1772–1774.
- Corwin, J., Warchol, M. (1991): Auditory hair cells: structure, function, development, and regeneration. *Annual review of neuroscience* 14, 301–333.
- Curio, E. (1993): Proximate and developmental aspects of antipredator behavior – *Advances in the Study of Behavior*, (22), 125–238.
- Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (1991): Art. 30 Voraussetzung für die Bewilligung – GSchG. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/de.
- Dierschke, H. (1994): *Pflanzensoziologie – Grundlagen und Methoden*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Dooling, R. (1978): Behaviour and psychophysics of hearing in birds. *The Journal of the Acoustic Society of America*, (64), 4.
- Durwein, K.-J. (1983): Bioindikation im Dienste des Umweltschutzes, Oppenheim.
- Eiberle, K. (1976): Zur Analyse eines Auerwildbiotops im Schweizerischen Mittelland. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, (95), 108–124.
- Eimern, J. van, Häckel, H. (1979): *Wetter und Klimakunde*, Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg, H. (1986): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*, Stuttgart. 4. Aufl.
- Elsner-Schack, I. (1983): *Verbreitung und biologische Besonderheiten des Gamswildes*, München.
- Engst, T. (1995): *Gemsen und Gleitschirmfliegen am Hochgrat (Oberallgäu)*. Diplomarbeit, Universität Regensburg.
- Ettwein, A. (2016): *Habitatwahl des Weissrückenspechts (Dendrocopos leucotos) in Vorarlberg, der Ostschweiz und dem Fürstentum Liechtenstein*. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- Evette, A., Peyras, L., François, H., Gaucherand, S. (2011): Environmental risks and impacts of mountain reservoirs for artificial snow production in a context of climate change. *rga*, (99–4).
- Frank, G. (2002): Brutzeitliche Einnischung des Weißrückenspechtes *Dendrocopos leucotos* im Vergleich zum Buntspecht *Dendrocopos major* in montanen Mischwäldern der nördlichen Kalkalpen. *Vogelwelt* 123, 225–239.
- Fuhrmann, H. (1996): *Basisschnee – Einführung in die Nivologie*, VSI, Salzburg.
- Georgii, B. (1985): *Skilauf und Wildtiere*.
- Georgii, B., Schröder, W., & Schreiber, R. R. (1984). *Skilanglauf und Wildtiere: Konflikte und Lösungsmöglichkeiten*. *Pro Natur Umweltpaxis*
- Gohlke, A.-K., Henkel, A., Brunzel, S. (2019): Auswirkungen von Wandertourismus auf geschützte Vogelarten im Wald – Eine Untersuchung im Nationalpark Hainich (Thüringen). *Naturschutz und Landschaftsplanung*, (51 (12)).
- Gossow, H., Reimoser, F. (1985): Anmerkungen zum Zielkonflikt Wald-Wild-Weide-Tourismus. *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen*, (136 (11)), 913–929.
- Günther, R., Hrsg. (1996): *Die Amphibien und Reptilien Deutschlands*, Stuttgart.

- Güeswell, S. (1993): Landschaftswahrnehmung und Landschaftsbewertung: Instrumente des Naturschutzes? – Am Beispiel der Skipisten am Crap Sogn Gion. Diplomarbeit, ETH Zürich. Ausgeführt an der WSL, Birmensdorf und an der EAWAG Dübendorf, Zürich.
- Güeswell, S., Krüsi, B., Hunziker, M. (1994): Skipisten im Sommer: Urteile von Laien und Ökologen, CH-8983 Birmensdorf.
- Hadley, G., Wilson, K. (2004): Patterns of density and survival in small mammals in ski runs and adjacent forest patches. *The Journal of Wildlife Management* 68, (2), 288–298.
- Hagen, T. (1993): Vegetationsveränderungen in Kalk-Magerrasen des Fränkischen Jura – Untersuchungen langfristiger Bestandsveränderungen als Reaktion auf Nutzungsumstellung und Stickstoff-Deposition, Laufen/Salzach.
- Hammelbacher, K., Mühlenberg, M. (1986): Langkäfer (Carabidae) und Weberknechte (Opiliones) als Bioindikatoren für Skibelastung auf Almflächen. *Natur und Landschaft*, (61), 463–466.
- Hartmann, K. (1982): Zur Psychologie des Landschaftserlebens im Tourismus, Starnberg.
- Hasler, D. (2018): Totholzkäferfauna in Dürrständern: Wie beeinflusst sie die Weisrücken-spechtpräsenz? Bachelorarbeit, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wädenswil.
- Haslett, J. (1988): Qualitätsbeurteilung alpiner Habitate: Schwebfliegen (Diptera: Syrphidae) als Bioindikatoren für Auswirkungen des intensiveren Skibetriebes auf alpinen Wiesen in Österreich. *Zoologischer Anzeiger*, (220), 179–184.
- Hegg, O. (1974): Liste von häufigeren und soziologisch und ökologisch bedeutsameren Arten der subalpinen und alpinen Stufe.
- Hjorth, I. (1977): The territorial system of the Capercaillie (*Tetrao urogallus*) and the influence on the leks of environmental disturbances, especially with regards of forestry and highway traffic. *Viltraport*, (5), 73–77.
- Holaus, K., Partl, C. (1994): Beschneidung von Dauergrünland – Auswirkungen auf Pflanzenbestand, Massenbildung und Bodenstruktur. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, (23), 269–276.
- Hüppop, O. (1995): Störungsbewertung anhand physiologischer Parameter. *Ornithologischer Beobachter*, (92), 257–268.
- Ingold, P. (1993): Tourismus und Freizeitsport im Alpenraum – ein gravierendes Problem? *Revue Suisse de Zoologie*, (100), 529–545.
- Ingold, P., Huber, B., Mainini, H., Marbacher, H., Neuhaus, P., Rawler, A., Roth, M., Schnidrig, R., Zeller, R. (1992): Freizeitaktivitäten – ein gravierendes Problem für Tiere? *Ornithologischer Beobachter*, (89), 205–216.
- Ingold, P., Schnidrig-Petrig, R., Marbacher, H., Pfister, U., Hrsg. (1993): *Tourismus und Wild – Ein öko-ethologisches Projekt im schweizerischen Alpenraum*.
- Jiricka-Pürner, A., Schmied, J., & Pröbstl-Haider, U. (2019). Preferences for renewable energy sources among tourists in the European Alps. In *Winter tourism: trends and challenges* (pp. 400-424). Wallingford UK: CABI.
- Jong, C. de, Carletti, G., Previtali, F. (2015): Assessing Impacts of Climate Change, Ski Slope, Snow and Hydraulic Engineering on Slope Stability in Ski Resorts (French and Italian Alps). In: Lollino, G. et al., Hrsg., *Engineering Geology for Society and Territory – Volume 1*, Springer International Publishing, Cham, 51–55.
- Kammer, P. (1989): Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation – Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Savognin. Diplomarbeit, Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern.
- Kammer, P., Hegg, O. (1990): Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, (XIX/II), 758–767.
- Karl, J., Toldrian, H. (1973): Eine transportable Beregnungsanlage für die Messung von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag. *Wasser und Boden* 25, 63–65.
- Keller, V. (1995): Auswirkungen menschlicher Störungen auf Vögel – eine Literaturübersicht. *Ornithologischer Beobachter*, (92), 3–38.

- Kempf, N., Hüppop, O. (1996): Auswirkungen von Fluglärm auf Wildtiere. *Journal für Ornithologie*, (137), 101–113.
- Kempf, N., Hüppop, O. (1998): Wie wirken Flugzeuge auf Vögel. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, (30), 17–28.
- Kennel, E. (1982): Rotwildplanung. In: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg., *Rotwild, Verbreitung, Ernährung, Hege im Staatswald*, München, 31.
- Keppler, M. (1988): Erholungsverhalten bei fortschreitenden Waldschäden – Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Ludwig-Maximilian Universität München.
- Klaus, S., Bergmann, H., Marti, C., Müller, F., Wiesner, J., Vitovjc, O. (1990): Die Birkhühner, Neue Brehm-Bücherei, Wittenberg, Lutherstadt.
- Klöpfer, M. (1993): Handeln unter Unsicherheit im Umweltstaat. In: Gethmann, C. F., Kloepfer, M., Hrsg., *Handeln unter Risiko im Umweltstaat*, Springer, Berlin, 55–98.
- Knaus, F. (2011): Der Einfluss von künstlicher Beschneigung auf geschützte Moorflächen in Sörenberg, Luzern.
- Knight, D., Weaver, S., Starr, C., Romme, W. (1979): Differential Response of Subalpine Meadow Vegetation to Snow Augmentation. *Journal of Range Management* 32, (5), 356.
- Kohler, U. (2000): Vegetationskundliche Untersuchungen auf beschneiten Flächen. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Hrsg., *Technische Beschneigung und Umwelt. Ergebnisse der Fachtagung am 15. November 2000*, Augsburg.
- Körner, C. (2003): *Alpine Plant Life*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Körner, C., Stöcklin, J., Reuther-Thiébaud, L., Pelaez-Riedl, S. (2008): Small differences in arrival time influence composition and productivity of plant communities. *New Phytologist* 177, (3), 698–705.
- Kowarik, I., Seidling, W. (1989): Zeigerwertberechnungen nach Ellenberg – Zu Problemen und Einschränkungen einer sinnvollen Methode. *Landschaft und Stadt*, (21), 132–143.
- Krause, S. (1997): Waldvegetationskundliche Untersuchungen in ausgewählten Naturschutzgebieten der Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges sowie Ableitung eines Behandlungskonzeptes. Dissertation, Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden, Tharant.
- Krautzer, B. (2007): Standortgerechte Hochlagenbegrünung in Österreich, Irding.
- Kreisbote, Hrsg. (2022): Bayerische Zugspitzbahn stellt Einsparmaßnahmen in der kommenden Wintersaison 2022/23 vor. *Kreisbote*, Ausgabe vom 17.11.2022, (46), 1.
- Kreisbote, Hrsg. (2023): Das Weltcup-Wochenende in Garmisch-Partenkirchen kann wegen Schneemangels nicht stattfinden. *Kreisbote*, Ausgabe vom 13.01.2023, (58), 1.
- Krenova, Z., Bílek, O., Zýval, V. (2020): Does artificial snow fertilise the soil of mountain meadows in the Krkonoše National Park? *EUROPEAN JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES* 10, 32–41.
- Kuen, H., Bubenik, A. (1978): Botanische Pansenanalysen bei Rotwild, Rehwild und Gamswild. *Beiträge zur Umweltgestaltung, Alpine Umweltprobleme A 67. Ergebnisse des Forschungsprojektes Achenkirch. Teil VI*, Berlin.
- Kuhn, H., Burbach, K. (1998): *Libellen in Bayern*.
- Laiolo, P., Rolando, A. (2005): Forest bird diversity and ski-runs: a case of negative edge effect. *Animal Conservation* 8, (1), 9–16.
- Landauer, M., Pröbstl, U., Haider, W. (2012): Managing cross-country skiing destinations under the conditions of climate change – Scenarios for destinations in Austria and Finland. *Tourism Management* 33, (4), 741–751.
- Landolt, E. (1977): *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*, Zürich.
- Leicht, H. (1993): Beschneigungsanlagen und Naturschutz – eine naturschutzfachliche Betrachtung der Situation in Bayern. *Natur und Landschaft* 68, (2), 52–27.
- Lichtenegger, E. (1993): Beschneigung für die Vegetation schädlich? *Sportstättenbau und Bäderanlagen*, (6).
- Lichtenegger, E. (1994): Beschneigung und Vegetation – Bisherige Erfahrungen über die Auswirkungen der Beschneigung auf die Vegetation.

- Lichtenegger, E. (1995): Materialien zum Presseforum Beschneigungsanlagen vom 24. September (1995) in Garmisch-Partenkirchen.
- Löhmannsröben, R., Cernusca, A. (1990): Bodenverhältnisse, Oberflächenabfluß und Erosionsgefährdung im Skigebiet am Stubnerkogel. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, (XIX /II), 726–743.
- Luz, G., Lipscomb, D. (1973): Susceptibility to damage from impulse noise: Chinchilla versus man or monkey. Journal of the Acoustical Society of America, (54), 1750–1754.
- Malkmus, R. (1992): Zur Verbreitung der Herpetofauna sowie einiger Libellenvorkommen in den Ostalpen. Nachr. naturwiss. Mus. Aschaffenburg, (99), 49–60.
- Malkmus, R. (1997): Zur Verbreitung der Amphibien, Reptilien und Libellen (Odonata) in den Ostalpen. Nachr. naturwiss. Mus. Aschaffenburg, (104), 109–120.
- Manning, A. (1979): Verhaltensforschung, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Marti, C. (1985): Unterschiede in der Wildökologie von Hahn und Henne des Birkhuhns *Tetrao tetrix* im Aletschgebiet (Zentralalpen). Ornithologischer Beobachter, (82), 1–30.
- Meijer zu Schlochtern, M., Rixen, C., Wipf, S., Cornelissen, J. (2014): Management, winter climate and plant-soil feedbacks on ski slopes: a synthesis. Ecol Res 29, (4), 583–592.
- Meile, P. (1982): Wintersportanlagen in alpinen Lebensräumen des Birkhuhns (*Tetrao tetrix*).
- Mergner, R. (1980): Verbreitung und Management von Rotwild in Europa. Diplomarbeit, Universität München.
- Meyer, D. (1986): The avian ear and hearing, Avian Physiology, New York.
- Mikloš, M., Jančo, M., Koristeková, K., Babálová, D. (2018): Flowering of spring herbs in one of the most famous Slovakian Ski resort – Donovaly, Křtiny.
- Mildner, P., Hafner, F. (1990): Die Amphibien Kärntens, Carinthia II, 55–121.
- Moeschke, H. (1998): Abflußgeschehen im Bergwald: Untersuchungen in drei bewaldeten Kleinzugsgebieten im Flysch der Tegernseer Berge, Frank.
- Moosbach, A., Glader, C. (1991): Assessment of the impact of helicopter disturbance on moulting pinkfooled Geese (*Anser brachyrhynchus*) and Barnacle Gees (*Branta leucopsis*) in Jameson Land Greenland. Ardea, (79), 233–238.
- Mosimann, T. (1987): Schneeanlagen in der Schweiz – Aktueller Stand – Umwelteinflüsse – Empfehlungen, Basel.
- Mosler-Berger, C. (1993): Helikopter contra Bergwild, Zürich.
- Mosler-Berger, C. (1994): Störung von Wildtieren – Umfrageergebnisse und Literaturauswertung, Bern.
- Müller, W., Glauser, C. (2017): Biodiversität im Wald – was ist zu tun? https://www.birdlife.ch/sites/default/files/documents/SVSNaturschutztagung_Waldkampagne.pdf.
- Müller-Dombois, D., Ellenberg, H. (1974): Aims and Methods of Vegetation Ecology, J. Wiley and Sons, New York, London, Sidney, Toronto.
- Münchener Merkur (1998): Bayerns Liftbesitzer warten auf Schnee. Münchener Merkur, Ausgabe vom 05.01.1998 (11), 6.
- Negro, M., Isaia, M., Palestrini, C., Schoenhofer, A., Rolando, A. (2010): The impact of high-altitude ski pistes on ground-dwelling arthropods in the Alps. Biodivers Conserv 19, (7), 1853–1870.
- Neuwinger, I., Frischmann, H., Stadler-Emig, M. (1992): Auswirkungen von Skipisten auf Speicherung und Abfluß des Bodenwassers. In: Gnaiger, E., Kautzky, J., Hrsg., Umwelt und Tourismus, Thaur Kulturverlag.
- Newesely, C., Cernusca, A., Bodner, M. (1994): Entstehung und Auswirkung von Sauerstoffmangel im Bereich unterschiedlich präparierter Schipisten. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, (23), 277–282.
- Nohl, W., Neumann, K. (1987): Ästhetische Wahrnehmung der Landschaft und Freizeitmotivation, oder wie beurteilen Wintersportler ihr Skigebiet im sommerlichen Zustand? Landschaft und Stadt.
- Oberdorfer, E. (1983): Pflanzensoziologische Exkursionsflora, Eugen Ulmer, Stuttgart. 5. Aufl.
- Penzlin, H. (1977): Lehrbuch der Tierphysiologie, New York.

- Petraschek, A. (1990): Extreme floods and their morphological consequences: activities in Switzerland – Proceedings of two Lausanne Symposia. JAHS publication. Hydrology in Mountainous Regions, (194), 365–370.
- Petraschek, A., Götz, A., Vischer, D., Musy, A., Kenholz, H., Keller, H., Grebner, D. (1991): Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 5 und Mitteilungen der Landeshydrologie und -geologie, (15).
- Peyras, L., Mériaux, P. (2009): Retenues d'altitude: évaluation des risques et des impacts, conception, réalisation, surveillance, réhabilitation, Éditions Quae.
- Pfützner, J., Kernschner, H. (1992): Beeinflussung des Abflussesgeschehens in kleinen Einzugsgebieten durch schichtechnische Erschließung. In: Gnaiger, E., Kautzky, J., Hrsg., Umwelt und Tourismus, Thaur Kulturverlag, 168–173.
- Pflumm, W. (1989): Biologie der Säugetiere, Berlin, Hamburg.
- Pintaldi, E., Hudek, C., Stanchi, S., Spiegelberger, T., Rivella, E., Freppaz, M. (2017): Sustainable Soil Management in Ski Areas: Threats and Challenges. Sustainability 9, (11), 2150.
- Probst, A. (1994): Geräuschentwicklung von Sportanlagen und deren Quantifizierung für immissionschutztechnische Prognosen.
- Pröbstl, U. (1989): Auswirkungen des Waldsterbens auf Erholung und Fremdenverkehr in Waldreichen Mittelgebirgslandschaften Bayerns.
- Pröbstl, U. (1990): Skisport und Vegetation – Die Auswirkungen des Skisports auf die Vegetation der Skipiste, Stöppel Verlag, Weilheim
- Pröbstl, U. (1994): Skisport und Vegetation, Stöppel Verlag, Weilheim. 2. Aufl.
- Pröbstl, U. (1995): Photodokumentation zum Ausaperungsprozeß auf der Kandahar-Abfahrt in Garmisch-Partenkirchen. Unveröffentlicht.
- Pröbstl, U. (1997): Landschaftspflegerischer Begleitplan für die Olympiaabfahrt in Garmisch-Partenkirchen. Unveröffentlichtes Fachgutachten.
- Pröbstl, U. (1998): Landschaftspflegerischer Begleitplan für die Beschneigung im Skigebiet Unternberg in Ruhpolding. Unveröffentlichtes Fachgutachten.
- Pröbstl, U. (2000): Skigebiete in Bayern, Weilheim.
- Pröbstl, U. (2006): Kunstschnee und Umwelt: Entwicklung und Auswirkungen der technischen Beschneigung, Haupt.
- Pröbstl, U., Dorsch, C. (2011): Umweltverträglichkeitsstudie für Ausbaumaßnahmen zur technischen Beschneigung mit Speicherteich, Pistenausbau und Neubau der Waldkopfbahn im Skigebiet Sudelfeld, Etting.
- Pröbstl, U., & Förster, B. (1996). Ökologische Überprüfung und Bewertung von Skigebieten mit Hilfe geographischer Informationssysteme. GIS in Naturschutz und Landschaftspflege, Laufener Seminarbeiträge, 4(96), 71-78.
- Pröbstl, U., Utschick, H., Schöpf, H., Kluth, S., Goltz, J. (1996): Avifaunistisches Fachgutachten zum Bereich Kreuzwankl im Skigebiet Hausberg, Garmisch-Partenkirchen. unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Wank-Bahn AG.
- Pröbstl, U., Ammer, U., Karpf, S. (1998): Wege zu einer verbesserten Begrünung von Schadstellen im Hochgebirge. Verein zum Schutz der Bergwelt, 57–77.
- Pröbstl-Haider, U., Lund-Durlacher, D., Olefs, M., Pretenthaler, F. (2021): Tourismus und Klimawandel, Springer Nature.
- Prock, S., Newesely, C. (1998): Auswirkungen von Kunstschnee auf die generative und vegetative Entwicklung von Pflanzenarten im Schigebiet Monte Bondone bei Trient. Studi trentini di scienze naturali. Acta biologica, (68).
- Reichholf, J. (1988): Feuchtgebiete, München.
- Reijnen R, Foppen, R. (1991): Effect of road traffic of male Willow Warblers (*Phylloscopus trochilus*). Journal für Ornithologie, (132), 291–295.
- Reinboth, C. (2019): Die Zukunft der künstlichen Beschneigung in Mitteleuropa: Konzeptionierung eines Decision Support Systems. 130
- Reiser, B. (2023): Unterlagen zur speziellen artenschutzrechtlichen Prüfung am Unternberg, Ruhpolding. Unveröffentlichtes Gutachten
- Riesinger, E. (1960): Einiges über die Tierwelt der Kreuzeckgruppe, Carinthia II, 87–100.

- Rixen, C., Stöckli, V., Wipf, S. (2002): Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten; Zusammenfassung eines Forschungsprojektes am Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, SLF.
- Rixen, C., Stöckli, V., Ammann, W. (2003): Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review – A Review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 5, (4), 219–230.
- Rixen, C., Haerberli, W., Stöckli, V. (2004): Ground Temperatures under Ski Pistes with Artificial and Natural Snow. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 36, (4), 419–427.
- Rixen, C., Freppaz, M., Stöckli, V., Huovinen, C., Huovinen, K., Wipf, S. (2008): Altered Snow Density and Chemistry Change Soil Nitrogen Mineralization and Plant Growth. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 40, (3), 568–575.
- Rixen, C., Teich, M., Lardelli, C., Gallati, D., Pohl, M., Pütz, M., Bebi, P. (2011): Winter Tourism and Climate Change in the Alps: An Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snowmaking Potential. *Mountain Research and Development* 31, (3), 229–236.
- Roeckl, C. (1993): Hängegleiten, Gleitsegeln und Gensmen am Nebelhorn (Oberallgäu). Diplomarbeit, Universität Regensburg.
- Rolando, A., Caprio, E., Rinaldi, E., Ellena, I. (2007): The impact of high altitude ski-runs on alpine grassland bird communities. *J appl e col*, (44), 210–219.
- Roth, R. (1995): Untersuchungen über die Raumnutzung und das Verhalten der Skiläufer. In: DSV-Umweltbeirat, Hrsg., *Natur – Sport – Erholung – der bessere Weg*, München, 38–43.
- Roth, R. (1997a): Ökologische Begleituntersuchungen zum Bau einer Beschneiungsanlage an der FIS-Abfahrt, Feldberg/Fahl. *sb Sportstättenbau und Bäderanlagen* 31, (6), 478–480.
- Roth, R. (1997b): Untersuchungen über die Auswirkungen der Beschneiungsanlage Feldberg/Fahl auf Fauna, Flora und Wasserhaushalt. Unveröffentlichter Zwischenbericht.
- Roth, R. (1998a): Mündliche Mitteilungen zu den Entwicklungen entlang der Beschneiungsanlage an der FIS-Abfahrt Feldberg/ Fahl im Winter 1997/98. Analyseergebnisse in Vorbereitung.
- Roth, R. (1998b): Umweltverträglichkeitsstudie zum geplanten Ausbau des Skigebietes Haldenköpfe am Schauinsland, Gemeinde Hofsggrund. Unveröffentlichtes Gutachten.
- Roth, R., Türk, S. (1996): Wildökologisches Gutachten zum Skigebiet «Götschen» in Bischofswiesen/Loipl, Freiburg.
- Roux-Fouillet, P., Wipf, S., Rixen, C. (2011): Long-term impacts of ski piste management on alpine vegetation and soils. *Journal of Applied Ecology* 48, (4), 906–915.
- Roth, R., Krämer, A., Severiens, J. (2018): Zweite Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018, Planegg.
- Rubel, E., Dew, L., Robersen, D. (1985): Mammalian vestibular hair cell regeneration. *Science*, (267), 701–703.
- Ruge, K., Weber, W. (1974): Biotopwahl und Nahrungserwerb beim Weißbrückenspecht (*Dendrocopos leucotos*) in den Alpen. *Vogelwelt*, (95), 138–147.
- Ryals, B., Rubel, E. (1988): Hair cell regeneration after acoustic trauma in adult Coturnix quail. *Science*, (240), 1774–1776.
- Sato, C., Wood, J., Lindenmayer, D. (2013): The effects of winter recreation on alpine and sub-alpine fauna: a systematic review and meta-analysis. *PloS one* 8, (5), e64282.
- Schauer, T. (1981): Vegetationsveränderungen und Florenverlust auf Skipisten in den bayerischen Alpen. *Jahrbuch Verein Alpenpflanzen und -tiere*, (46), 149–171.
- Schauer, T. (1996): Pflanzensoziologische Aufnahmen am Fellhorn, München.
- Scherzinger, W. (1982): Die Spechte im Nationalpark Bayerischer Wald, Nationalpark Bayerischer Wald – Wissenschaftliche Reihe.
- Scheuermann, M. (1990): Tourenskilauf in den Alpen – Analyse einer raumrelevanten Art der Freizeitgestaltungen. Diplomarbeit, Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Schnidrig-Petrig, R. (1994): Leserbrief in *Swiss Glider* 8.

- Schober, H. (1994): Stellungnahme zum Änderungsantrag des Genehmigungsbescheides zur Beschneigungsanlage am Großen Arber. Unveröffentlichtes Gutachten.
- Schröder, W. (1982): Über den Rothirsch in Europa. In: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg., Rotwild, Verbreitung, Ernährung, Hege im Staatswald, München, 1–7.
- Schroth, K. (1991): Survival, movements and habitat selection of released capercaillie in the north-east Black Forest in 1984–1989. *Ornis scandinavica*, (22), 249–254.
- Schroth, K. (1994): Zum Lebensraum des Auerhuhns (*Tetrao urogallus* L.) im Nordschwarzwald.
- Schuster, A., D'Oleire-Oltmanns, W. (1994): Die Verbreitung des Birkhuhns (*Lyrurus tetrix*) in einer anthropogen überprägten Alpenlandschaft. *Verein zum Schutz der Bergwelt*, (23), 95–100.
- Seewald, F., Kronbichler, E., Grössing, S. (1998): Sportökologie. Eine Einführung in die Sport-Natur-Beziehung, Limpert Verlag, Wiesbaden.
- Solar, F. (1994): Bodenkundliche Aspekte der Beschneigung, Garmisch-Partenkirchen.
- Steiger, R., Scott, D., Abegg, B., Pons, M., Aall, C. (2019): A critical review of climate change risk for ski tourism. *Current Issues in Tourism* 22, (11), 1343–1379.
- Steinbauer, M., Kreyling, J., Stöhr, C., Audorff, V. (2018): Positive sport-biosphere interactions? – Cross-country skiing delays spring phenology of meadow vegetation. *Basic and Applied Ecology* 27, 30–40.
- Stock, M., Bergmann, H., Helb, H., Keller, V., Schnidrig-Petrig, R., Zehntner, H. (1994): Der Begriff Störung in naturschutzorientierter Forschung: Ein Diskussionsbeitrag aus ornithologischer Sicht. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz*, (3), 49–57.
- Storch, I. (1993): Habitat use and spacing of capercaillie in relation to forest fragmentation patterns. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Storch, I. (1995): Auerhuhn-Schutz: Aber wie? Informationen der Wildbiologischen Gesellschaft, München. 2. Aufl.
- Straussberger, R. (1997): Untersuchungen zur Entwicklung bayerischer Kiefern-Naturwaldreservate auf nährstoffarmen Standorten. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Suchant, R., & Schäfer, A. (2002). Integrating tourism and grouse habitat protection in the Black Forest. In *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas. Conference Proceedings, Vienna* (pp. 95-101).
- Sturm, M., Holmgren, J., König, M., Morris, K. (1997): The thermal conductivity of seasonal snow. *Journal of Glaciology* 43, (143), 26–41.
- Suchant, R. (1992): Habitat-Struktur-Kartierung für Auerwild und Haselwild im mittleren Schwarzwald. *Allgemeine Forstzeitschrift*, (1), 32–34.
- Suchant, R. (1995): Untersuchungen zur Wald- und Wildökologie. In: DSV-Umweltbeirat, Hrsg., *Natur – Sport – Erholung – der bessere Weg*, München, 31–37.
- Teich, M., Lardelli, C., Bebi, P., Gallati, D., Kytzia, S., Pohl, M., Pütz, M., Rixen, C. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung, Birmendorf.
- Trockner, V., Kopeszki, H. (1994): Auswirkungen der künstlichen Beschneigung auf Bodenverdichtung, Bodentemperatur, Ernteertrag und Collembolenfauna von Pistenböden. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, (23), 283–288.
- Trost, N. (2021): Privatrechtliche Fragen der künstlichen Beschneigung von Skipisten. Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.
- Utschick, H. (1991): Handbuch zur Biotopverbundplanung Struppen. Unveröffentlichtes Fachgutachten.
- Vogl, F. (2019): Rechtsprobleme des Kunstschnees (Teil II). *RdU*, (17 (20)).
- Wechsler, H. (1987): Einreichprojekt für das Kreuzwankl-Skigebiet.
- Wechsler, H. (1989): Schneestrukturen. Kommentar zum Referat von Prof. Cernusca. *Motor im Schnee*, (5), 18–19.

- Wessel, G. (2017): Der gekaufte Winter – Die Technisierung der Alpen. <https://www.deutschlandfunkkultur.de/die-technisierung-der-alpen-der-gekaufte-winter-100.html>. Zugegriffen: 8. Mai 2024.
- Widmer, L., Berner, D., Walter, T. (2009): Unterschiede der Tagfalter- und Heuschreckenfauna auf künstlich beschneiten und nicht künstlich beschneiten Skipisten im Gebiet Sörenberg.
- Wipf, S., Rixen, C., Freppaz, M., Stoeckli, V. (2002): Ski piste vegetation under artificial and natural snow: patterns in multivariate analysis. In: Bottarin, R., Tappeiner, U., Hrsg., *Interdisciplinary Mountain Research*, Blackwell, Berlin, Wien, 170–179
- Wipf, S., Rixen, C., FISCHER, M., SCHMID, B., Stoeckli, V. (2005): Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. *Journal of Applied Ecology* 42, (2), 306–316.
- Wittmann, H., Neumayer, J., Schied, J., Klarica, J., Gros, P., Illich, I. (2019): Ökologisches Pistenmanagement – Zur Biodiversität von Skipisten auf der Schmittenhöhe: Studie der Schmittenhöhebahn AG 2018/19, Rupertus Verlag, Goldegg.
- Wrońska-Wałach, D., Cebulski, J., Fidelus-Orzechowska, J., Żelazny, M., Piątek, D. (2019): Impact of ski run construction on atypical channel head development. *The Science of the total environment* 692, 791–805.
- Wyl, A. von, Troxler, J. (1984): Effet des pistes de ski sur l'exploitation agricole, en particulier sur la végétation, Chateau d'Oex.
- Zeitler, A. (1994): Skilauf und Rauhfußhühner. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, (23), 289–294.
- Zeitler, A. (1995): Ikarus und die Wildtiere – Grundlagenstudie zum Thema Hängegleiten, Gleitsegeln und Wildtiere – Gutachten im Auftrag des Deutschen Hängegleiterverbands (DHV).
- Zeitler, A. (2000): Folgen der technischen Beschneigung für Wildtiere und Regeln für verträgliche Beschneigung, Beobachtungen am Fellhorn (2038) bei Oberstorf im Oberallgäu, Deutschland. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Hrsg., *Technische Beschneigung und Umwelt. Ergebnisse der Fachtagung am 15. November*.
- ELLENBERG, H. (1992): Zeigerwerte der Gehölzpflanzen Mitteleuropas. Göttingen.
- ELLENBERG, H., WEBER, H., DOLL, R. WIRTH, V., WERNER, W., PAULIPEN, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Göttingen
- Zeller, P. (1997): Untersuchungen zum Grundwasser am Anwesen Fuschlberger. Gutachten im Auftrag der Gemeinde Ruhpolding. Unveröffentlicht.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Empfehlungen für Genehmigung, Planung, Bau und Pflege

5

Zusammenfassung

Die möglichen Auswirkungen als Folge der technischen Beschneigung lassen sich vielfach durch geeignete Fachplanung und gezielte Managementmaßnahmen verhindern oder wesentlich abmildern.

Das abschließende Kap. 5 fasst diese Möglichkeiten zusammen und stellt richtungsweisende Erkenntnisse für jedes Schutzgut heraus. Es zeigt sich insgesamt, dass einer umweltbezogenen Fachplanung im Rahmen der Antragstellung einerseits und einem ökologisch ausgerichteten effizienten betrieblichen Management andererseits eine große Bedeutung zukommt. Die qualifizierte Fachplanung kann dafür Sorge tragen, dass geeignete Standorte ausgewählt sowie mögliche bau-, anlage- und betriebsbedingte Auswirkungen so gering wie möglich gehalten werden. Das Skigebietsmanagement im Sommer und Winter hat es in der Hand, möglichen nachteiligen Effekten entgegenzuwirken. Mehr noch: Ein modernes Skigebietsmanagement hat wesentlichen Einfluss auf die Naturnähe und Biodiversität. Artenreichtum ist – wie die Fallbeispiele zeigen – nicht ausgeschlossen.

5.1 Allgemeine Hinweise zur Vermeidung und Minimierung potenzieller Auswirkungen

Die Beschreibung möglicher Vermeidungsmaßnahmen folgt wieder den Schutzgütern, beginnend mit der Vegetation.

5.1.1 Vermeidung und Minderung von Vegetationsveränderungen

Auswirkungen durch die Beschneieung lassen sich immer dann reduzieren oder vermeiden, wenn die Nutzung in den Sommermonaten darauf abgestimmt wird. Festgestellte Veränderungen der Vegetation (Kap. 4) waren in vielen Fällen die Folge von landwirtschaftlicher Nutzung oder Pistenpflegemaßnahmen.

Einer mit der Beschneieung abgestimmten landwirtschaftlichen Nutzung der Piste kommt deshalb besondere Bedeutung zu. Es sollte z. B. auf die längere Schneebedeckungszeit oder die stärkere Durchfeuchtung des Oberbodens nach der Schneeschmelze Rücksicht genommen werden. So sind nicht nur Mahdtermine, sondern gegebenenfalls auch Auftriebszeitpunkte zu überprüfen. Belastung und Trittschäden durch die Almwirtschaft sind vermeidbar, wenn der Weidebetrieb erst beginnt, wenn der Oberboden ausreichend abgetrocknet ist. Im Idealfall werden hierfür individuelle Lösungen zwischen Bergbahn und Landwirt getroffen, die an die jeweiligen Bedingungen, bezogen auf Höhenlage, Schneeschmelze und Bodenfeuchtigkeit, angepasst werden (Höflechner 2000).

Die sommerliche Nutzung hat darüber hinaus einen entscheidenden Einfluss darauf, ob ein möglicher Stoffeintrag aus dem Beschneieungswasser zu Veränderungen führen kann. Durch zweimalige Mahd könnte bei sonstigem Düngeverzicht der Nährstoffeintrag ganz oder teilweise wettgemacht werden (Briemle et al. 1991). So kann bei traditioneller zweisechüriger Nutzung von Mähwiesen im Juni und Herbst ohne Düngung das Artenspektrum erhalten werden. Vermutlich wird der Standort mit der Zeit eher ausmagern und damit für den Naturhaushalt an Bedeutung gewinnen (Sukopp et al. 1978). Wird eine solche schrittweise Ausmagerung vereinbart, ist diese nicht mehr nur eine Maßnahme zur Vermeidung, sondern kann im Einzelfall auch als Kompensationsmaßnahme gewertet werden. Eine Ausmagerung kann auch für den Wintersport von Nutzen sein, da die Magerasen die Stabilität des Standortes erhöhen. Infolge der Nährstoffarmut verfügen die Pflanzen über ein sehr ausgedehntes Wurzelwerk, das nach Schmid und Thomet (1986) Hanglagen hervorragend vor Erosion schützt. In Abhängigkeit von der jeweiligen Gesellschaft sollten die folgenden Mahdtermine (unter Beachtung möglicher Effekte der globalen Erwärmung) angestrebt werden (nach Briemle et al. 1991):

- Bergglatthaferwiese: Mahdtermin Ende Juni bis Mitte Juli und zweiter Mahdtermin im Herbst (August), jeweils mit Abräumen des Schnittgutes
- Goldhaferwiese: Mahdtermin Ende Juli bis Anfang August und zweiter Mahdtermin im Herbst, jeweils mit Abräumen des Schnittgutes
- Halbtrockenrasen: Mahdtermin Ende Juli bis Anfang August, bei sehr mageren Standorten ist auch eine ausschließliche Herbstmahd denkbar, Abräumen des Schnittgutes

Im Hinblick auf den Skisport und die Beschneigung hat sich zudem ein später Schnitt (bei feuchten Standorten oftmals auf gefrorenem Boden) im Herbst bewährt (Müller 1997), um verbliebene Stängel oder Bereiche mit Langgras zu beiseitigen. Dies gilt insbesondere bei beweideten Flächen. Idealerweise wird das Schnittgut dort, wo mehr Material zusammenkommt, abgeräumt.

Von der in der Literatur vielfach angesprochenen Möglichkeit des Mulchens (Schiefer 1983) sollte nicht Gebrauch gemacht werden, weil insbesondere bei später Mahd das Schnittgut nicht ausreichend verrottet und einzelne Arten – insbesondere Leguminosen und Kräuter – verdrängt werden.

Durch das Mulchen wird darüber hinaus die sogenannte Eigendüngung gefördert. Wertvolle artenreiche Pflanzengemeinschaften (z. B. Bergmähwiesen, Milchkrautweiden oder Borstgrasrasen) verändern sich durch diese zusätzliche Düngung in Richtung artenarmer Bestände. Monotone Vegetationsstrukturen sind die Folge. Mulchen fördert vor allem die Gräser der Fettwiesen und Weiden, deren intensive Entwicklung die weniger konkurrenzstarken Kräuter „ausdunkeln“ bzw. verdrängen.

Mit den Veränderungen wird in der Regel auch die bodenstabilisierende Funktion geschwächt. Mit einer reduzierten Biodiversität wird auch eine abnehmende Vielfalt bei den Bodenlebewesen verursacht.

Wenn im Zusammenhang mit der Beschneigung ein späterer Schnitttermin diskutiert wird, um den sich unterschiedlich entwickelnden Pflanzen die Möglichkeit zur Fruktifizierung zu geben, dann ist dieser gerade bei landwirtschaftlicher Verwendung leichter umzusetzen, wenn es sich um artenreiche Bestände handelt. So ist extensiv bewirtschaftetes Grünland zwar ertragsärmer, dafür aber artenreicher. Dies führt in Bezug auf Futterqualität zu einer „Nutzungselastizität“ (Briemle et al. 1991). Das bedeutet: Um eine vergleichbare Qualität bezüglich der verdaulichen Heuqualität ernten zu können, können solche Bestände auch noch bis zu drei Wochen später als artenarme „Mähweiden“ geschnitten werden.

Untersuchungen aus der Schweiz haben gezeigt, dass besonders artenreiche Wiesen (artenreiche Magerwiese bis 900 m) sogar vier bis sechs Wochen später geschnitten werden konnten, ohne dass der Aufwuchs einen für die Verdauung des Viehs zu starken Qualitätsverlust aufgewiesen hätte. Auch hier war die Ursache der hohe Kräuterreichtum der Wiesen (Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus & Arbeitsgemeinschaft Naturschutz und Landschaftspflege 1987).

Das bedeutet, dass eine Erhöhung der Artenvielfalt des Bestands bzw. die Erhaltung extensiver Bestände auf Skipisten auch bei wirtschaftlicher Nutzung Vorteile bringt, die für das betriebliche Management wichtig sein können.

Bei den beweideten Abschnitten sollte – wie bereits dargestellt – auf einen flexiblen, an der Witterungslage und der Bodenfeuchte ausgerichteten Auftriebstermin besonderer Wert gelegt werden (Abb. 5.1 und Abb. 5.2). Um negative Wechselwirkungen zu vermeiden oder zu mindern, sollte eine extensive Beweidung angestrebt werden. Im Rahmen der ökologischen Untersuchungen (Ammer & Pröbstl 1997) von Skigebieten im Alpenraum wurde, bezogen auf die beweideten Flächen, in den meisten Fällen eine angemessene bis extensive Besto-



Abb. 5.1 Wichtig ist eine gleichmäßige Bestockung, um Schäden zu vermeiden. (U. Pröbstl-Haider)



Abb. 5.2 Eine extensive Beweidung ist für die Artenvielfalt im Skigebiet unabdingbar. (U. Pröbstl-Haider)

lung festgestellt. Probleme ergaben sich eher aus der im Vergleich zu früher fehlenden oder stark rückläufigen Behirtung. Es zeigte sich, dass die aktive Weidpflege (z. B. Mahd von Weideunkräutern, unter anderem Eindämmen der sich ausbreitenden Lägerfluren) immer seltener durchgeführt wird, weil die Arbeitszeit zu teuer ist. Beides zusammen kann partiell zu einer Übernutzung führen. Aus diesem

Grund können im Einzelfall ergänzende Empfehlungen zur Bestoßungsdichte und Pflege erforderlich sein. Eine Angabe von Richtwerten ist hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und standörtlichen Varianz jedoch nicht möglich. Eine zusätzliche Pflege könnte aber bei der Entwicklung von Ausgleichsmaßnahmen in Betracht kommen.

Vermeidung von Bodenabtrag und Erosion

Vor einer Beschneigung müssen Bereiche mit Bodenwunden oder ungenügendem Deckungsgrad der Vegetation zur Vermeidung und Minderung von Bodenabtrag begrünt und stabilisiert werden. Ferner gehören zur Vermeidung und Minderung von Belastungen – insbesondere auf planierten Standorten – ein Entwässerungskonzept und gezielte Wasserausleitungen aus der Piste. Dazu dienen je nach Untergrund in der Regel Drainagen oder Grabensysteme.

Damit nicht neue Bodenwunden entstehen, sind die Schneeerzeuger möglichst schonend im Herbst aufzustellen, zu versetzen und im Frühjahr zu entfernen. Hier empfiehlt sich vielfach das bodenschonende Ausbringen mit dem Hubschrauber im Herbst.

Vermeidung/Minderung von Stoffeinträgen

Ziel muss es sein, für die Beschneigung ein möglichst nährstoffarmes Wasser zu verwenden. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf die wichtigsten Pflanzennährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Kalium), aber auch auf Magnesium zu richten. Ebenso sollte darauf geachtet werden, Messwerte zum Wasser aus dem Herbst (November) zu gewinnen, da aufgrund der möglichen landwirtschaftlichen Nutzung im Wassereinzugsgebiet dann die Stickstoffwerte enthalten sind, die bei der Grundbeschneigung ausgebracht werden.

In den Genehmigungsunterlagen, z. B. Umweltverträglichkeitsstudien oder Begleitplänen, sollten die möglichen Stoffeinträge durch Wasseranalysen nachgewiesen und für verschiedene Schneehöhen, z. B. 50 cm Gesamtmenge an technisch hergestelltem Schnee, hochgerechnet werden, um den Nährstoffeintrag einschließlich der landwirtschaftlichen Düngung zu erfassen und gegebenenfalls zu begrenzen.

Im Zusammenhang mit möglichen Folgen einer verlängerten Schneebedeckung wird auch der Einsatz von Abtaumitteln diskutiert. Dabei handelt es sich meist um landwirtschaftliche Dünger oder hierfür speziell angebotene Materialien wie Perlhumusgranulat oder Thomasmehl, die neben der Verkürzung der Schneeschmelze auch eine düngende Wirkung haben. Nach Möglichkeit sollte im Berggebiet auf die Verwendung dieser Hilfsmittel ganz verzichtet werden.

Vermeidung und Minimierung von Sauerstoffmangel und Vereisung

Sauerstoffmangel und die Gefahr einer Pflanzenschädigung auf präparierten Pisten treten nur dann auf, wenn sich über aufgetautem Boden eine geschlossene Eisschicht ausbildet. Nach Newesely et al. (1994) sollte dazu im Spätwinter auf eine Präparierung durchfeuchteter Skipisten vom späten Nachmittag bis Abend verzichtet werden. Er empfiehlt die Präparation in den frühen Morgenstunden. Neben

einer Verbesserung der Verhältnisse für die Vegetation wird somit auch für Skifahrende ein Beitrag geleistet, weil die gefährlichen Vereisungen vermindert werden können.

Ein Beitrag zur Vermeidung möglicher Schädigungen von Pflanzen und Pflanzenteilen stellt auch die Produktion von möglichst trockenem Schnee dar. Neue Geräte zur Pistenpräparierung erlauben ebenfalls im Rahmen der Pistenpflege eine maschinelle Durchlüftung der Schneedecke, die die sportliche Nutzung positiv beeinflussen.

Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen

Um eine schonende Durchführung zu gewährleisten, wird vonseiten der Genehmigungsbehörde meist eine ökologische Baubegleitung (auch ökologische Bauaufsicht oder Umweltbaubegleitung genannt) vorgeschrieben. Diese kann auch auf freiwilliger Basis eingesetzt werden. Sie überwacht eine schonende, umweltgerechte Bauausführung bei der Durchführung von Maßnahmen entsprechend den Fachplanungen und dem behördlichen Bescheid. Im Mittelpunkt stehen dabei folgende Aufgaben:

- Prüfung, ob die Auflagen für die Genehmigung erfüllt wurden und planerische Vorgaben zur Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen beachtet wurden, und Dokumentation der Durchführung,
- Überwachung der Umsetzung von ökologisch relevanten behördlichen Auflagen während der Bauphase eines Vorhabens,
- Kontrolle der planmäßigen Realisierung eines Vorhabens hinsichtlich möglicher durch Projektänderungen bedingter ökologischer Auswirkungen und gegebenenfalls Dokumentation erforderlicher Abweichungen im Falle einer ökologischen Relevanz,
- Festlegung von Maßnahmen vor Ort bei Bedarf mit dem Ziel, Beeinträchtigungen an Natur und Umwelt weitestgehend zu minimieren,
- Naturschutzfachliche oder landschaftsplanerische Beratung während der Errichtungsphase,
- Information der zuständigen Behörden bei Bedarf und nach Ablauf,
- Dokumentation der Umsetzungsphasen einschließlich der umgesetzten Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen.

Die ökologische Baubegleitung ist jedoch nicht für die eigentliche Machbarkeit des Projekts verantwortlich, denn die ökologische Baubegleitung wird erst nach der Projektgenehmigung eingesetzt. Sie ist also weder für die ordnungsgemäße Objektausführung verantwortlich, noch dient sie der mangelfreien Umsetzung der Baumaßnahme inkl. der Durchführung von Kompensationsmaßnahmen.

Im Rahmen eines gemeinsamen Begangs sollten Betreiber und Bauunternehmer die exakte Lage der Leitungsgräben und anderer Infrastruktureinrichtungen festlegen und im Gelände verpflocken (Abb. 5.3). Dies ist insbesondere zur Vermeidung von Durchschneidungen wertvoller Biotope oder steiler Gelände-rippen erforderlich. Weiterhin sollte der Bauträger über die Erfordernisse der



Abb. 5.3 Gemeinsame Feintrassierung von Leitungsraben und Standorten der Zapfstellen durch Fachplaner, ökologische und geologische Bauaufsicht sowie die Bauleitung der beauftragten Baufirma. (C. Weiler)

nachstehend beschriebenen landschaftsschonenden Bauweise informiert und diese zur Grundlage der Ausschreibung und Vergabe gemacht werden. Weiterhin empfiehlt sich eine ökologische Baubegleitung.

Bei Baumaßnahmen im Gebirge hat sich gezeigt, dass die Regenerationszeiträume bei der Vegetation durch die schonende Bauweise erheblich verkürzt und Sekundärschäden durch Wassererosion eingedämmt werden können. Dazu gehören ein sorgfältiges Abheben der durchwurzelter Grasnarbe und deren gesonderte Sicherung (gegebenenfalls mit Schutz vor Austrocknung), die getrennte Lagerung des Oberbodens und des tieferliegenden Aushubs sowie der ebenfalls getrennte Wiedereinbau.

In jenen Bereichen, in denen Feuchtflächen durchschnitten werden, muss beim Wiedereinbau wasserstauendes Material eingebracht werden, um Drainagewirkungen zu vermeiden.

Wenn zur Begrünung der Leitungstrasse Grassoden wiederverwendet werden, ist nicht nur eine rasche Regeneration gewährleistet, es lassen sich auch die Kosten für Ansaat und Pflege deutlich reduzieren (Abb. 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 und 5.8.) Dem Sodeneinbau ist Vorrang vor dem Wiederansaaten zu geben. Als zusätzlicher Schutz empfiehlt sich das Abdecken mit Mähgut aus der Umgebung. Bei Starkregen sind die Flächen dann gut vor Oberflächenerosion geschützt. Dies ist besonders in den Steilstücken erforderlich. Bei großflächigen Baumaßnahmen können jedoch auch Anspritzverfahren bei der Wiederbegrünung notwendig werden. Bei Ansaaten ist standortgerechtes Material mit alpinen Arten zu verwenden.



Abb. 5.4 Schneileitungsgraben mit getrennter Lagerung der ausgehobenen Bodenschichten. (C. Weiler)



Abb. 5.5 Rohrleitungsgraben mit seitlicher Lagerung von Rasensoden. (C. Weiler)

Dabei ist auf einen Kräuteranteil von mindestens 5–10 % zu achten, um den Erosionsschutz zu verbessern.

Insgesamt sollten die Baumaßnahmen möglichst Abschnitt für Abschnitt komplett durchgeführt werden und die Gräben für Wasser-, Strom- und gegebenenfalls



Abb. 5.6 Schneileitungsgraben unmittelbar nach Fertigstellung. Durch die Verwendung von Rasensoden kann ein wirksamer Schutz des Oberbodens vor Wassererosion erreicht und eine naturnahe Regeneration der Pflanzengesellschaft begünstigt werden, (C. Weiler)



Abb. 5.7 Abzäunung wertvoller Bereiche im Vorfeld der Umsetzung. Rasensoden für den Wiedereinbau vor Ort werden seitlich gelagert, (C. Weiler)

Abb. 5.8 Schonender
Transport von Rasensoden.
(C. Weiler)



Druckluftleitungen nicht längere Zeit offen verbleiben. Die Abschnitte dürfen aus Gründen des Erosionsschutzes 150 m Länge nicht überschreiten.

In labilen Bereichen sollten die Baumaßnahmen basierend auf einem geologischen Gutachten erfolgen, um Geländerutschungen oder nachfolgende Erosionen ausschließen zu können. Dies gilt nicht nur für die Leitungstrasse, sondern auch für die Standorte von Gebäuden und insbesondere der Wasserspeicher oder Speicherseen. Im ersten Jahr nach Durchführung der Baumaßnahme und Wiederbegrünung sind die geschädigten Bereiche durch Zäunung vor Viehtritt zu schützen.

In jedem Fall sollte geprüft werden, ob nicht durch den Einsatz von landschaftsschonenden Geräten baubedingte Beeinträchtigungen vermieden oder reduziert werden können. Hier ist unter anderem der Einsatz eines Schreitbaggers ebenso zu nennen wie der Transport von Rohrleitungen und Unterflurhydranten mit dem Hubschrauber. Der erhöhte finanzielle Aufwand für eine landschaftsschonende Bauweise wird durch einen reduzierten Aufwand bei der Wiederherstellung der Flächen und ihrer Pflege sowie durch einen erheblich besseren Erosionsschutz und die Vermeidung von Folgewirkungen bzw. Folgekosten ausgeglichen.

5.1.2 Maßnahmen zur Vermeidung von Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser

Bei der Abgrenzung des Untersuchungsbereichs und der Prüfung von vorhandenen Daten zum Gewässer sollten folgende Aspekte jeweils gesondert überprüft werden:

- Direkte ökologische Wechselwirkungen für das Gewässer,
- Indirekte ökologische Wechselwirkungen im Umfeld, z. B. Folgeeffekte für bestimmte Vogelarten, die Fischfauna oder Drainageeffekte in angrenzenden Pflanzengesellschaften,
- Bestehende Fischereirechte,
- Wirtschaftliche Nutzung des Gewässers (z. B. zur Energiegewinnung, Wasserrechte),
- Bestehende Quellen oder Brunnen und deren Bedeutung im Rahmen der Trinkwassergewinnung,
- Nutzung bestehender Gewässer als Vorflut für Abwässer,
- Nutzung bestehender Gewässer für die Erholung (z. B. für Eislaufen, Stockschießen).

Zu beachten ist weiterhin, dass auch eine Summenwirkung durch verschiedene Nutzungen gegeben sein kann. Die benötigte Wassermenge darf nicht nur absolut dargestellt werden, sondern es ist ein Modell für die Entnahme zu entwickeln, das den saisonbezogenen Bedarf einschließlich der temperaturbezogenen Spitzenwerte in Liter/Sekunde der zur Verfügung stehenden Wassermenge gegenüberstellt. Dabei sind zur Sicherheit ungünstige natürliche Rahmenbedingungen (Zeiten mit Niedrigwasser) zu unterstellen.

In den meisten Fällen kann bei Wasserentnahme aus Fließgewässern ein Anteil von 10 % des Abflusses als ökologisch verträgliche Menge gelten. Dabei ist für die Berechnung das mittlere Niedrigwasser (MNQ) heranzuziehen und die Entnahmemenge bei Betrieb aller Schneerzeuger unter optimalen klimatischen Voraussetzungen (maximale Werte, z. B. bei -10 °C) anzusetzen.

Bei der Gewinnung von Wasserproben ist, wie bereits dargestellt, darauf zu achten, dass die Entnahme in dem Zeitraum erfolgt, in dem später die Beschneigung erfolgt, da die Stofffracht, insbesondere bei Gewässern mit angrenzender landwirtschaftlicher Nutzung, im Laufe des Jahres sehr unterschiedlich sein kann. Es ist gegebenenfalls zu prüfen, ob durch die Stoffeinträge auf den beschneiten Flächen eine Gefährdung für Quell- und Grundwasser (z. B. in Schutzzonen für die Trinkwassergewinnung) im Umfeld der beschneiten Piste bestehen kann. Zum Schutz des Grundwassers sollte generell auf Abtaumittel verzichtet werden.

Diese Aspekte sind im Vorfeld mit den zuständigen Fachbehörden (z. B. Wasserwirtschaftsamt) und anderen Trägern öffentlicher Belange zu klären, damit gegebenenfalls ergänzende Untersuchungen, wie Pegelmessungen oder Untersuchungen

zur Qualität des Wassers, durchgeführt werden können. Um die Auswirkungen auf die Biozönose eines Gewässers differenziert einschätzen zu können, sind in besonderen Fällen zusätzliche Studien erforderlich.

Auf die Anforderungen an die Wasserqualität wurde bereits eingangs hingewiesen (i. d. R. Qualität von Badegewässern; Kap. 3).

Bei ökologisch wertvollen Fließgewässern könnten zusätzlich eine differenzierte Untersuchung der sohlennahen Strömungsbedingungen und Messungen weiterer abflussabhängiger Strukturdaten für die Ableitung des Schwellenwertes für eine ökologisch begründete Restwassermenge notwendig werden.

Im Rahmen der Vorstudien zu einer geplanten Beschneigungsanlage ist weiterhin zu prüfen, ob im angrenzenden Gelände Hangabschnitte vorhanden sind, deren Wasserhaushalt bereits gestört ist und möglicherweise vor Inbetriebnahme der Beschneigungsanlage saniert werden müssten. Auf die Bedeutung eines intakten Wasserableitungssystems und einen Deckungsgrad von 70 % der Vegetation zum Schutz des Bodens wurde bereits hingewiesen.

5.1.3 Hinweise zur Vermeidung und Verminderung potenzieller Auswirkungen auf die Fauna

Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung baubedingter Störungen Die in Abschn. 4.2 aufgeführten Maßnahmen haben grundsätzlich auch eine Bedeutung für die Fauna, insbesondere die Avifauna (Vögel) und Insekten. Zur Vermeidung und Milderung von Störungen tragen auch alle Maßnahmen und Planungen bei, die flächige Veränderungen und Planien reduzieren. Grundsätzlich ist bei der Baudurchführung darauf zu achten, dass in für die Fauna besonders kritischen Zeiten (Balz-, Brut- und Setzzeiten) die Baumaßnahmen begrenzt werden. Daher sollten aus faunistischen Gründen in entsprechenden Lebensräumen von 1. März bis 1. Juli keine Baumaßnahmen durchgeführt werden. Detaillierte, spezifische Vorgaben enthält gegebenenfalls eine spezielle artenschutzrechtliche Prüfung.

Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung von Bodenbelastungen mit negativen Auswirkungen auf Bodenfauna und Aufwuchsarthropoden müssen auf eine räumliche Beschränkung der betroffenen Bereiche abzielen. Hierbei ist auch eine mögliche Beeinträchtigung durch Verdichtung aufgrund von Lagerung oder einer Baustelleneinrichtung mit zu berücksichtigen. Zu den Vermeidungsmaßnahmen zählt deshalb auch der Transport von schweren Bauteilen mit dem Hubschrauber, die Begrenzung von Lagerflächen auf bereits befestigte Flächen (wie z. B. Wege oder Stellplätze) und die Wahl bodenschonender Baugeräte. Nachdem Eingriffe in die Piste durch Planie, Erstellung von Kabelgräben usw. vielfältige und lang anhaltende Auswirkungen haben können, sollten Maßnahmen getroffen werden, die auf eine Verbesserung der Lebensbedingungen im Sommer abzielen. Hier wird auf Abschn. 4.2 verwiesen. So kann bereits eine kleinteilige Mahd zur Verbesserung der Biodiversität beitragen.

Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung lärmbedingter Störungen

Wichtig ist eine zeitliche Begrenzung der Beschneigung zum Schutz der Wildtiere im Frühjahr. Dabei ist eine Saisonverlängerung auszuschließen. Sind nachtaktive Arten mit frühem Balzbeginn – wie der Raufußkauz – im unmittelbaren Wirkraum der Anlage nachgewiesen, dann sollte die Beschneigung bereits Mitte Februar enden. Daher wird in der Regel der Beschneigungszeitraum auf den 1. November bis zum 1. März begrenzt, um Wechselwirkungen mit der Balz und dem Reproduktionserfolg weitgehend ausschließen zu können.

In der Vergangenheit waren vielfach weitere Vorgaben erforderlich, um Störungen durch Lärm und Licht während der Beschneigung zu begrenzen. So schlug Roth (1997) im Rahmen der Begleitplanung für das Skigebiet Götschen zur Vermeidung folgende Lösung vor: „Zum Schutz der dämmerungsaktiven Tierarten sollte nicht während der Abenddämmerung (ab 1 Std. vor Sonnenuntergang bis 1 Std. nach Sonnenuntergang) und während der Morgendämmerung (ab 1 Std. vor Sonnenaufgang bis 1 Std. nach Sonnenaufgang) beschneit werden.“ Nachdem die Dämmerung im Winterhalbjahr kein konstanter Zeitraum ist, sondern sich verschiebt, wurde diese Vorgehensweise von Praktikern als schlecht handhabbar kritisiert. Aus naturschutzfachlicher Sicht wurde zudem bemängelt, dass bei dieser Lösung keine Rücksicht auf nachtaktive Arten genommen werde und in jedem Fall die Zahl der Beschneigungs Nächte zu begrenzen wäre.

Im Rahmen eines Managements für das Skigebiet Fellhorn schlägt Zeitler (2000) vor, auf eine Beschneigung zwischen 6 und 9 Uhr morgens ganz zu verzichten, damit ein effizienter Schutz der für die Nahrungsaufnahme wichtigen Dämmerungszeiträume erreicht wird.

Auch das grundsätzliche Verbot einer nächtlichen Beschneigung (zwischen 22 und 5 Uhr) wurde von Schober (1994) diskutiert, um die nachtaktiven Arten wie etwa Eulen vor Belastungen zu schützen.

Eine andere Lösung bestand darin, die Zahl der beschneiten Nächte insgesamt zu beschränken (vgl. Probstl 1997; Schober 1994). Als Obergrenze wird dabei meist ein Wert von rund 15 Nächten, bezogen auf die gesamte Saison, genannt.

Insgesamt hat sich dieser Konflikt durch die wesentlich effizienteren Anlagen erheblich entschärft, da selbst für die Grundbeschneigung eines gesamten Ski- gebiets in der Regel weniger als 72 h benötigt werden. Allerdings ist es möglich, dass durch Wärmeeinbruch, verbunden mit Regenfällen, eine Nachbeschneigung erforderlich wird. Aus diesem Grund sollte nach wie vor, auch hinsichtlich der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung, die Anzahl der beschneiten Nächte begrenzt werden. Spezielle Lösungen im Hinblick auf Dämmerungszeiträume haben sich als wenig praktikabel erwiesen.

Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung beleuchtungsbedingter Störungen

Wie bereits dargestellt, ist eine flächige Ausleuchtung bei den modernen Beschneigungsanlagen nicht mehr erforderlich. Zur Vermeidung und Minimierung beleuchtungsbedingter Störungen empfiehlt es sich, allenfalls kleine Positionslichter an den Schneeerzeugern (zur besseren Auffindbarkeit im Bedarfsfall) einzusetzen und auf eine flächige Ausleuchtung zu verzichten.

Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Kompensation können durch Aufwertung der angrenzenden Habitate für die Avifauna erreicht werden. Damit bleiben die Bereiche im Umfeld der Pisten attraktiv. Entsprechende Maßnahmen tragen den wissenschaftlichen Ergebnissen Rechnung, wonach Störungen eher toleriert werden, wenn die Habitatstrukturen sehr gut geeignet sind.

Zur Habitatverbesserung in Gebieten mit Vorkommen von Raufußhühnern können unter anderem folgende Maßnahmen dienen:

- Förderung von Mischbaumarten (z. B. Tanne, Buche und Weichholz) zulasten der Fichte,
- Verbesserung der Bodenvegetation,
- Förderung von Altholz und Erhaltung von Bestandslücken,
- Ausformung von Balzplätzen auf geeigneten Flächen.

Dies gilt in vergleichbarer Weise auch für andere Arten. Bei den Spechten ist die Bereitstellung von stehendem und liegendem Totholz von besonderer Bedeutung.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine vielfältige Waldrandgestaltung am Pistenrand mit Sträuchern. Durch arten- und strukturreiche Waldränder können nicht nur die technischen Einrichtungen, wie die Oberflurhydranten, in die Landschaft eingebunden, sondern auch die Lebensräume für Kleinvögel und Säuger am Pistenrand erheblich verbessert werden.

Eine Vermeidung und Verminderung von Störungen im Hinblick auf das Rotwild muss darin bestehen, vorhandene Rotwildfütterungen und Wintergatter nicht zu beeinträchtigen. Da das Rotwild im Laufe des Frühwinters (meist im November) die Wintergatter aufsucht, ist darauf zu achten, dass durch die Beschneidung nicht die Verbindungswege durch Verlärmung und Winterbetrieb abgeschnitten werden. Sonst können sich die Schäden am Wald durch Verbiss erhöhen. Es wird daher auch empfohlen, Rotwildwintergatter als Wildschutzgebiete auszuweisen. Dies sollte in Verbindung mit der touristischen Ausbauplanung geschehen.

Im Rahmen der Kompensationsmaßnahmen und zur Vermeidung von Beeinträchtigungen in potenziell betroffenen Randbereichen könnten auch folgende Maßnahmen zur Aufwertung der Wintereinstände umgesetzt werden (Löw 1982):

- Maßnahmen zur Verbesserung der Rotwildbiotope,
- Schaffung von Ruhezeiten für das Rotwild, um über eine Energieeinsparung eine Absenkung von Schäden zu erreichen,
- Spezielle Maßnahmen zur Äsungsverbesserung,
- Unterstützende forstbetriebliche Maßnahmen.

Eine weitere Forderung ist, dass bei Ausweisungen von mehreren Talabfahrten im Hinblick auf störungsempfindliche winteraktive Wildtiere großflächige Raumanalysen durchgeführt werden, die auch eine Habitatstrukturanalyse miteinschließen und abklären, ob durch die Zerschneidungseffekte die erforderlichen Areale erheblich beeinträchtigt werden (Zeitler 2000, 2023).

Maßnahmen zur Verminderung indirekter Effekte

Um negative Auswirkungen auf die Fauna durch die Anlage (Abb. 5.9) eines Speicherteiches zu vermeiden, sollte dieser möglichst „lebensfeindlich“ angelegt werden. Dazu gehört die Auswahl einer Fläche über 1000 m ü. NN., da hier nicht nur günstige Bedingungen für die Wassertemperatur herrschen, aber auch weil hier weniger potenziell betroffene Arten vorkommen. Weiterhin sollte die Wasserfläche möglichst beschattet werden, um einer starken Erwärmung vorzubeugen. Dies verhindert nicht nur die Algenbildung, sondern reduziert die Attraktivität des Speichersees als Laichgewässer für Amphibien. Die Böschungsneigung sollte so gewählt werden, dass nur geringe Flachwasserbereiche entstehen und damit die Besiedelung durch Pflanzen eingeschränkt wird, da diese von vielen Arten zur Eiablage (z. B. Libellen) genutzt werden. Eine weitere Maßnahme zur Vermeidung einer intensiven Besiedelung eines künstlichen Speicherteiches ist dessen regelmäßige Reinigung (etwa alle fünf Jahre) und Filterung des zugeleiteten Wassers zur Vermeidung einer Schlammabildung.



Abb. 5.9 Naturferne Gestaltung der Uferzone am Speichersee verhindert die Besiedelung durch Amphibien und Libellenarten. Idealerweise wird für diese Arten ein eigener Biotopteich angelegt. Die Böschungskrone bietet sich für Erholungsnutzung an. (C. Weiler)

Das Festlegen einer Restwassermenge trägt ebenfalls zur Vermeidung von Verlusten durch Ausfrieren des Teichbodens bei.

Um Beeinträchtigungen von Amphibien und Libellen am Standort grundsätzlich zu vermeiden, aber auch um ihr Vorkommen zu unterstützen, werden vielfach zum Speichersee ein oder mehrere zusätzliche kleine Becken mit hoher Lebensraumqualität angelegt, deren Wasserstand unabhängig vom Wasserstand des Speicherteiches ist und Flachwasserzonen enthält. Diese erwärmen sich rasch und stellen ein geeignetes Laichgewässer dar.

Stark wechselnde Wasserstände in Fließgewässern im Winter sollten zum Schutz der Lebensräume am Gewässer vermieden werden und eher ausreichend dimensionierte Speicher bevorzugt werden.

5.1.4 Maßnahmen zur Vermeidung landschaftsästhetischer Auswirkungen

Ein künstlicher Landschaftscharakter kann zu Beginn der Saison dadurch vermieden werden, dass die Beschneieung dann durchgeführt wird, wenn bereits Naturschnee liegt oder mit Schneefall zu rechnen ist. Allerdings ist die Abhängigkeit von geeigneten kalten Bedingungen für die Beschneieung so hoch, dass dies inzwischen nur im Ausnahmefall umsetzbar geworden ist.

In Bezug auf das Landschaftsbild müssen Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung vor allem darauf ausgerichtet sein, den künstlichen Charakter zu reduzieren, bzw. die baulichen Landschaftsveränderungen so durchzuführen oder so zu gestalten, dass sie als solche nach kurzer Zeit nicht oder kaum mehr erkennbar sind (Abb. 5.10). Dies beginnt bei der Führung der Leitungstrassen, der Standortwahl für die Hydranten und schließt auch die Auswahl des technischen Systems (z. B. Aufständering oder Lanzentechnik) mit ein. Wo möglich, sollten daher die Leitungstrassen in Wege und Liftrassen gelegt werden.



Abb. 5.10 Bündelung von Infrastruktur zugunsten des Landschaftsbildes, Kühlturm am Dach der Pumpstation Riedwald in Oberstdorf. (C. Weiler)

Bei Gebäuden kann hierzu auch die Gestaltung in Anlehnung an traditionelle landwirtschaftliche Gebäude und Hütten hilfreich sein, die auch von den Be-

sucherinnen und Besuchern in den Sommermonaten als landschaftstypisch und wenig belastend empfunden werden. Des Weiteren lassen sich viele Bauten auch unter die Erde legen. Dies wird bei Wasserspeichern, Pumpenstationen oder Gebäuden für die technischen Anlagen teilweise angewandt, sofern sich daraus keine Nachteile für die Technik ergeben (z. B. Feuchtigkeit).

Für Bereiche, in denen der Schutz des Landschaftsbildes eine ganz besondere Bedeutung hat, werden Schneeerzeuger angeboten, die komplett versenkt werden können. Dies gilt nicht nur für die Sommermonate, sondern auch für die Wintermonate. Somit lassen sich auch Gefahrenstellen entschärfen, weil die Abdeckung befahrbar ist.

Durch die Verwendung von Unterflurhydranten, die farbliche Gestaltung der Hydrantendeckel bzw. der Oberflurhydranten lassen sich negative Auswirkungen reduzieren (Abb. 5.11). Die Zuordnung an Waldrändern oder die gezielte Abpflanzung von Oberflurhydranten kann zur unauffälligen Integration der Einbauten in das Landschaftsbild beitragen.



Abb. 5.11 Durch Verwendung von Unterflurhydranten und deren farbliche Gestaltung lassen sich negative Auswirkungen auf das Landschaftsbild im Sommer reduzieren (Beispiel Sudelfeld). (U. Pröbstl-Haider)

Negative Auswirkungen durch Beleuchtung lassen sich durch die Verwendung von Positionsleuchten anstelle einer flächigen Ausleuchtung erreichen.

Zur Vermeidung von Belastungen trägt zudem bei, wenn die Einrichtungen für die Beschneidung mit den Aufstiegshilfen kombiniert werden. So kann der Hydrant am Liftmast angeordnet oder das Pumpenhaus im Seilbahngebäude integriert werden (auch Abb. 5.10).

Eine schonende Durchführung der Bauarbeiten kommt auch dem Landschaftsbild und der Erholungseignung zugute (Abb. 5.12).



Abb. 5.12 Schonende Bauarbeiten kommen der Erholungsnutzung im Sommer entgegen. Schneileitungsgraben unmittelbar nach der Fertigstellung unter Verwendung von Rasensoden ist kaum mehr erkennbar. (C. Weiler)

5.2 Allgemeine Anforderungen

Die Beschreibung möglicher Vermeidungsmaßnahmen folgt wieder den Schutzgütern, beginnend mit der Vegetation.

5.2.1 Anforderungen an die Antragsunterlagen

Aus der Sicht der Umweltplanung ergeben sich aus den zusammengestellten Erkenntnissen zur Wirkung der Beschneigung Anforderungen an die Inhalte und Qualität der Antragsunterlagen. Den Antragsunterlagen sollte Folgendes zu entnehmen sein:

- Detaillierte Angaben zum Betrieb der Beschneigungsanlage,
- Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung des Eingriffs und Aussagen zum Ausgleich,
- Aussagen zur Eigenüberwachung und zum Monitoring.

Nachstehend soll dargelegt werden, wie die dargestellten Ergebnisse in die Genehmigungspraxis und in allgemeine Anforderungen integriert werden könnten.

5.2.2 Anforderungen an den Standort

Nachdem Beschneigungsanlagen einen Eingriff in den Naturhaushalt darstellen, sollten in den Antragsunterlagen die Notwendigkeit und Zweckbestimmung detailliert dargelegt werden. Die Beschneigung sollte auf

- für den allgemeinen Skisport wichtige Abfahrten,
- Abfahrten, die regelmäßig von einer größeren Zahl von Skifahrenden befahren werden,
- Pisten, die bedeutenden nationalen oder internationalen Skiwettkämpfen dienen, und
- wichtigen regionalen und nationalen Trainingsstätten (Stützpunkte für den Leistungssport)

zugelassen werden. Eine Beschneigung sollte dann nicht beantragt und geplant werden, wenn diese in Gebieten vorgesehen ist, die, geografisch oder klimatisch bedingt, nicht über eine regelmäßige Schneebedeckung im Winter verfügen, oder in denen eine Verlängerung der Skisaison beabsichtigt wird.

Eine Beschneigung auf gesetzlich geschützten Biotopen ist im Einzelfall differenziert zu prüfen. Dies gilt umso mehr, als bei entsprechender Nutzung im Sommer auf Trockenstandorten nicht grundsätzlich von einer Verschlechterung ausgegangen werden muss, Feuchtflächen sich dagegen bei ungeeignetem Nährstoffgehalt im Wasser deutlich verändern können.

Ein Ausschlusskriterium für die Beschneigung sollten die Kern- und Reproduktionsräume von seltenen, störempfindlichen Tierarten sowie Bereiche, in denen aufgrund der geologischen Verhältnisse und/oder erfolgter Baumaßnahmen verstärkt Erosionserscheinungen befürchtet werden müssen, sein.

5.2.3 Anforderungen an die Errichtung einer Beschneigungsanlage

Die Begleitplanung zur Beschneigung sollte über detaillierte Angaben zur Vermeidung und Verminderung baubedingter Eingriffe verfügen, die in den Bescheid übernommen werden können. Hierzu gehört auch die ökologische Baubegleitung.

Anzustreben ist in diesem Zusammenhang, dass die Dimensionierung von oberirdischen Anlagenteilen und Einrichtungen so gering wie möglich ausfällt (Abb. 5.13). Weiterhin ist zu gewährleisten, dass die Erdarbeiten so schonend wie möglich durchgeführt werden (Abb. 5.12). Die Wurzelbereiche von Bäumen und Sträuchern sind bestmöglich zu meiden. Im Rahmen der Baumaßnahmen sollten Vegetationsdecke und Bodenschichten sorgfältig abgehoben, getrennt gelagert und wiedereingebaut werden. Drainageeffekte durch Leitungsgräben sind durch geeignete Maßnahmen zu verhindern, und die Bauabwicklung ist in Teilabschnitten durchzuführen.



Abb. 5.13 Versetzen eines Schneischachtes. (C. Weiler)

Die von Erdarbeiten betroffenen Flächen sollten unter Verwendung der vorher vorhandenen Vegetationsdecke (Sodenverpflanzung) und gegebenenfalls von standortgerechtem Saatgut wiederbegrünt und sachgerecht gepflegt werden. Die Baumaßnahmen sind außerhalb der Brut- und Setzzeiten von störimpfindlichen Tierarten durchzuführen. Bereiche mit Vorrichtungen zur Wasserentnahme müssen im Gewässer schonend eingebaut werden. Sie sollten nicht in ökologisch besonders wertvollen Teilbereichen sowie fischereirechtlichen Schonbezirken eingebaut werden. Wichtig sind zusätzliche Festlegungen zur nachfolgenden Bewirtschaftung (z. B. Mahd, Auszäunung).

Anforderungen an das Herstellen und Verteilen von technischem Schnee

Die Vorgaben zur Vermeidung und Minderung betreffen zunächst die Wasserentnahme. Dabei sollte geregelt werden, dass bei der Wasserentnahme aus Fließgewässern keine erheblichen Wasserschwankungen eintreten können. Dabei sind auch Summenwirkungen anderer Gewässernutzungen (z. B. Wasserentnahme für die Energiegewinnung) – bei Fließgewässern auch in angrenzenden Abschnitten – in die Analyse miteinzubeziehen. Die Wasserentnahme soll aus natürlichen bzw. naturnahen Fließgewässern nicht mehr als 10 % des mittleren Niedrigwassers (MNQ) betragen. Ein Stoffeintrag mit düngender Wirkung durch nährstoffbelastetes Wasser ist zu vermeiden. Das Wasser für die technische Beschneigung

sollte daher einen geringen Nährstoffgehalt besitzen sowie biologisch und ökotoxikologisch unbedenklich sein.

Angaben zu Außentemperaturen und die Luftfeuchte sollten eine Anpassung an die technischen Möglichkeiten offenlassen. Dies gilt umso mehr, als Neuentwicklungen zur Beschneigung im Grenztemperaturbereich, also um 0 °C, zu erwarten sind.

Nach den bisherigen Erfahrungen ist die Festlegung der Schneehöhe, wie etwa in der Bayerischen Bekanntmachung zur technischen Beschneigung,¹ auf „in der Regel nach Präparierung 30 cm“ wenig sinnvoll. Dafür sprechen folgende Gründe:

- Aufnahmen in Skigebieten und von Ausaperungsprozessen haben gezeigt, dass von einheitlichen Werten und daraus ableitbaren Richtgrößen nicht ausgegangen werden kann.
- Die hohen Herstellungskosten des technischen Schnees verhindern, dass sehr große Schneemengen hergestellt werden.
- In der Praxis lässt sich eine einheitliche Richtgröße (in cm) vom Tal bis in die höheren Lagen nicht verwirklichen. Hier spielen die klimatischen Unterschiede ebenso eine Rolle, wie die Menge an natürlichem Schnee und die Exposition.
- Die Schneehöhe ist weiterhin abhängig vom Relief. Reliefbedingt können die Unterschiede (Abschn. 4.2) ohne Weiteres 60 cm betragen. Auf planierten Pisten ist ein Skibetrieb bei 10 cm technischem Schnee durchaus möglich und vielfach belegt.
- Mögliche Auflagen sind schwer umsetzbar und könnten nur durch viele Stichproben sachgerecht kontrolliert werden.
- Bei internationalen Wettkämpfen dient die Beschneigung zudem der Ausformung der Piste. In diesem Fall wären dann ebenfalls zusätzliche Ausnahmen erforderlich.
- Weiterhin ist der Aussage keine zeitliche Komponente zugeordnet, im ungünstigsten Fall muss nach einem Wärmeeinbruch die Beschneigung wiederholt werden. Die angegebene Schneehöhe hat damit nur eine geringe Aussagekraft im Hinblick auf die insgesamt benötigte Wassermenge.
- Positive Auswirkungen auf die Vegetation und Boden sind, wie die Fallbeispiele zeigten, an eine größere Schneehöhe gebunden.

Eine Festlegung einer Schneehöhe in den Antragsunterlagen erscheint daher keine praxisnahe und zielführende Regelung zu sein.

Die Antragsunterlagen sollten Angaben zur Nachtbeschneigung enthalten. Dies gilt auch im Hinblick auf den Immissionsschutz von Wohnbebauung und Übernachtungsbetrieben im Umfeld. Der Betrieb von Anlagenteilen oder Vorrichtungen

¹Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen über die Grundsätze der Genehmigung von Beschneigungsanlagen vom 18.10.1993.

außerhalb von Gebäuden, der mit Lärm verbunden ist, ist entsprechend der Immissionsschutzgesetzgebung zu behandeln. Im Hinblick auf die Tierwelt sollte die Zahl der Nächte mit Beschneigung begrenzt werden, wenn im Verlärmungsband der Beschneigungsanlage seltene winteraktive und/oder nachtaktive Arten vorkommen. Als Richtgröße können etwa 15 Nächte dienen.

Die Unterlagen sollten auch Angaben zum schonenden Aufstellen und Betrieb der Schneerzeuger, zum Verzicht auf eine großflächige Ausleuchtung der Pisten während der Beschneigung, zur Wasserausleitung und zur Wiederherstellung einer geschlossenen Vegetationsdecke enthalten.

5.2.4 Anforderungen an die Eigenüberwachung

Die Anforderungen an die Eigenüberwachung können von der Bergbahn übernommen oder auch einem Sachverständigen übertragen werden. In der Regel verfügen die Beschneigungsanlagen über ein eigenständiges Überwachungssystem. Dies erlaubt auch ein mögliches Monitoring durch die Behörden, sofern dies verpflichtend geregelt ist.

Bei vielen Anlagen in Deutschland wird ein Monitoring der Vegetationsgesellschaften auf der Skipiste verlangt. Hier empfiehlt sich eine Zusammenarbeit mit einem einschlägigen Planungsbüro.

5.2.5 Anforderungen an den Bescheid

Der Bescheid regelt in Text und Karte

- die Zeiträume, in denen beschneit werden darf,
- die Flächen, die beschneit werden dürfen,
- Art und Umfang der Vermeidungsmaßnahmen sowie
- Termine und Art der Renaturierungs-, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen sowie ein mögliches Monitoring.

In der Praxis hat sich in diesem Zusammenhang auch die Festlegung einer Sicherheitsleitung bewährt, die eine sorgfältige Durchführung der Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen garantiert. Weiterhin empfiehlt es sich, im Bescheid auch eine ökologische Baubegleitung und, falls die Beschneigung befristet erteilt würde, ein Monitoring der Pflanzengemeinschaften festzuschreiben. Damit lassen sich nicht nur die Auswirkungen der technischen Beschneigung auf den Naturhaushalt frühzeitig feststellen, sondern es gibt damit nach Ablauf der befristeten Genehmigung auch eine Datenunterlage, die es erlaubt, begründet über eine Verlängerung zu entscheiden.

Die Genehmigungszeiträume sollten mindestens 15 Jahre betragen und erst mit der tatsächlich durchgeführten Beschneigung (nicht mit Beginn der Baumaßnahmen) einsetzen, weil mögliche Veränderungen, z. B. an der Vegetation, sich erst nach etwa fünf Jahren klar erkennen lassen.

Literatur

- Ammer, U., Pröbstl, U. (1997): Ökologische Untersuchungen von Skigebieten in Bayern. Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus & Arbeitsgemeinschaft Naturschutz und Landschaftspflege (1987): Blumenreiche Heumatten – Empfehlungen des Kantons Solothurn, Zürich-Rechenholz.
- Briemle, G., Eickhoff, D., Wolf, R. (1991): Mindestpflege und Mindestnutzung unterschiedlicher Grünlandtypen aus landschaftsökologischer und landeskultureller Sicht – Praktische Anleitung zur Erkennung, Nutzung und Pflege von Grünlandgesellschaften, Staatliche Lehr- und Versuchsanst. für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft und Landesanst. für Umweltschutz Baden-Württemberg, Inst. für Ökologie u. Naturschutz, Karlsruhe, Aulendorf, 160 S.
- Höfleher, K. (2000): Mündliche Mitteilung zur Praxis im Skigebiet Planai-Hochwurzen in Schladming. Unter Mitarbeit von U. Pröbstl.
- Löw, H. (1982): Die Fütterung des Rotwildes. In: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg., Rotwild, Verbreitung, Ernährung, Hege im Staatswald, München, 32–33.
- Müller, F. (1997): Mündliche Mitteilungen zur Pflege der Skipisten im Bereich der Wankbahn. Unter Mitarbeit von U. Pröbstl.
- Newesely, C., Cernusca, A., Bodner, M. (1994): Entstehung und Auswirkung von Sauerstoffmangel im Bereich unterschiedlich präparierter Schipisten. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, (23), 277–282.
- Pröbstl, U. (1997): Landschaftspflegerischer Begleitplan für die Olympiaabfahrt in Garmisch-Partenkirchen. Unveröffentlichtes Fachgutachten.
- Roth, R. (1997): Landschaftspflegerischer Begleitplan zur Beschneiungsanlage im Skigebiet Göttschen Bischofswiesen/Loipl. Unveröffentlichtes Gutachten, im Auftrag der Gemeinde Bischofswiesen.
- Schiefer, J. (1983): Ergebnisse der Landschaftspflegeversuche in Baden-Württemberg: Wirkungen des Mulchens auf Pflanzenbestand und Streuzersetzung. *Natur und Landschaft* 58, (7/8), 295–300.
- Schmid, W., Thomet, P. (1986): Unsere Naturwiesen im Spannungsfeld zwischen Landwirtschaft und Naturschutz. *Schweizerische landwirtschaftliche Mitteilungen*, (64), 325–331.
- Schober, H. (1994): Stellungnahme zum Änderungsantrag des Genehmigungsbescheides zur Beschneiungsanlage am Großen Arber. Unveröffentlichtes Gutachten.
- Sukopp, H., Trautmann, W., Korneck, R. (1978): Auswertung der Roten Listen gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen in der Bundesrepublik Deutschland für den Arten- und Biotopschutz. *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, (12).
- Zeitler, A. (2000): Folgen der technischen Beschneigung für Wildtiere und Regeln für verträgliche Beschneigung. Beobachtungen am Fellhorn (2038) bei Oberstorf im Oberallgäu, Deutschland. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Hrsg., Technische Beschneigung und Umwelt. Ergebnisse der Fachtagung am 15. November.
- Zeitler, A. (2023): Forderung von großflächigen Raumanalysen einschließlich Habitatstrukturanalyse. Mündliche Mitteilung.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Die Verwendung von technisch hergestelltem Schnee auf Skipisten gehörte in der Vergangenheit zu den wissenschaftlichen kontrovers diskutierten Themen. Für die Medien und weite Teile der Öffentlichkeit ist die Beschneieung ein Symbol für eine Entwicklung des Fremdenverkehrs auf Kosten der Natur. Ziel einer umfassenden Studie war es daher, auf der Grundlage wissenschaftlicher Langzeitstudien zu einer Versachlichung der Diskussion beizutragen.

Bei der Analyse der *Entwicklung der Beschneieung im Alpenraum* zeigte sich, dass vier wichtige Motive für die rasche Ausbreitung verantwortlich waren:

1. Sicherung der touristischen Auslastung
2. Sicherung der Austragung von internationalen Skiwettkämpfen
3. Sicherung der Einkommen der Seilbahngesellschaften
4. Sicherung der Rahmenbedingungen für Training und Ausübung des Spitzensportes

Inzwischen sind die Folgen der globalen Erwärmung deutlich spürbar und erhöhen die Bedeutung der Beschneieung vor allem für vom Wintertourismus abhängige Bergregionen. Eine detaillierte Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels im jeweiligen Gebiet ist daher inzwischen eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung der technischen Beschneieung. Hierzu zählt insbesondere eine detaillierte Betrachtung der zur Verfügung stehenden Zeiträume, in denen eine Schneeerzeugung sinnvoll möglich ist.

Aus der Auswertung wissenschaftlicher Studien und diverser Fallbeispiele aus dem gesamten Alpenbogen wurden zu jedem Schutzgut die aktuellen Erkenntnisse zusammengestellt. Der Schwerpunkt wurde bei den hier ausgewählten Daten vor allem auf strittige Fragen, insbesondere im Bereich der betriebsbedingten Auswirkungen gelegt (bei anlage- und baubedingten Auswirkungen sind die Folgeeffekte aus vergleichbaren Projekten vielfach übertragbar und daher weniger umstritten).

Hier eine Zusammenschau wichtiger Erkenntnisse:

Insgesamt sind die positiven Auswirkungen auf *Vegetation und Boden* geringer als erwartet, weil kein vollständiger mechanischer Schutz entsteht.

Auswirkungen einer verlängerten Schneebedeckung auf die *Vegetation* wurden bislang sowohl im Hinblick auf den Ertrag als auch auf die Artenzusammensetzung der Pflanzengemeinschaft vermutet. Hier zeigte sich, dass in den bisher beschneiten Höhenlagen auf Pisten nicht von Ertragsverlusten durch die Beschneidung ausgegangen werden muss. Kritisch kann eine Beschneidung dann sein, wenn die Vegetationszeit z. B. in großen Höhen (wie 2000 m ü. NN) tatsächlich verkürzt wird und sich einzelne Arten somit nicht mehr wie bisher reproduzieren könnten. Zudem sind partiell Schäden durch Vereisung zu beobachten.

Als Folge der zusätzlich aufgebrauchten Wassermenge können Erosionserscheinungen ausgelöst werden. Die zusätzliche Wassermenge stellt nur dann ein Problem dar, wenn die Standortverhältnisse auf der Piste bereits Störungen oder eine hohe natürliche Labilität aufweisen und ungünstige Witterungsbedingungen vorherrschen.

Von einer Veränderung der Pflanzengemeinschaften auf trockenen, mageren Standorten muss dann nicht ausgegangen werden, wenn sich an den Verhältnissen im Sommer mit Trockenstress nichts ändert.

Die Auswirkungen der Beschneidung auf das *Schutzgut Wasser* sind von der Art der Wasserentnahme abhängig. Die Wasserentnahme ist in Verbindung mit anderen Nutzungen und bestehenden Wasserrechten zu prüfen. In den meisten Fällen kann bei Wasserentnahme aus Fließgewässern ein Anteil von 10 % des Abflusses als ökologisch verträgliche Menge gelten. Dabei ist für die Berechnung das mittlere Niedrigwasser (MNQ) heranzuziehen.

Gefahren können von Speicherseen ausgehen, unter anderem ausgelöst durch Lawinen, Erdbeben oder Überfüllung durch Starkregenereignisse. Daher sind spezielle Überwachungsmaßnahmen zu regeln.

Im Hinblick auf die *Fauna* sind die Auswirkungen auf die räumliche und zeitliche Verteilung und die Habitatwahl sowie auf das Aktivitäts- und Energiebudget ausgewählter Arten im Einzelfall zu betrachten. Wichtig dabei ist, mögliche Auswirkungen auf die Reproduktion zu prüfen. Dies gilt vor allem für die winteraktiven Großvögel (Auerhuhn, Birkhuhn, Haselhuhn). Eine gesonderte Betrachtung erfordern auch Eulen und Käuze.

Im Hinblick auf geschützte Arten, insbesondere Amphibien und Libellen, sollten Speicherseen eher naturfern angelegt werden und zusätzliche Feuchtbiotope ohne wechselnden Wasserstand für Amphibien und Libellen erhalten.

Im Zusammenhang mit den Auswirkungen auf das *Landschaftsbild* wird meist das als störend empfundene „weiße Band“ in einer schneefreien Landschaft genannt. Daneben kann das Landschaftsbild auch durch die für die Beschneidung erforderlichen baulichen Einrichtungen oder einen großen Speicherteich beeinträchtigt bzw. nachhaltig verändert werden.

Die Zusammenstellung belegt weiterhin, welche Bedeutung eine entsprechende *Fachplanung* (in Form einer Umweltverträglichkeitsprüfung, landschaftspflegerischen Begleitplanung und einer speziellen artenschutzrechtlichen

Prüfung) zukommt, die wesentlich zur Vermeidung gravierender Eingriffe und ihrer Kompensation beitragen kann. Hinzu kommen artenschutzrechtliche Untersuchungen für europarechtlich geschützte Arten.

Nachdem in vielen Gebieten der endgültige Ausbaustand für die Beschneieung erreicht ist, stellt sich aus ökonomischen, aber auch aus ökologischen Gründen heute vermehrt die Frage nach einem *zielgerichteten und effizienten Management*.

Die sparsame Nutzung des Wassers, die Koordination zwischen sommer- und winterlicher Nutzung sind dabei wichtige Themen. Hier können in Zukunft auch die Ergebnisse der Monitoring- und Langzeituntersuchungen verstärkt Berücksichtigung finden. Mit der Digitalisierung der Skigebiete lassen sich auch durch die Schneemessung Energie und Aufwand für die Beschneieung einsparen.

Neue Entwicklungen sind auch im Bereich des Einsatzes von Beschneieungsanlagen zu erwarten. Die Verknüpfung von Klimamodellen, Wettervorhersagen und den detaillierten Messungen an den Schneeerzeugern im Gebiet verspricht zukünftig eine effizientere Beschneieung, die zu optimalen Bedingungen erfolgen kann.

Zusätzlich kann die Durchführung eines speziell für die Skigebiete entwickelten Audits zu einem effizienten und landschaftsschonenden Management eines Skigebiets und der beschneieten Fläche beitragen. Eine Arbeitshilfe „Auditing in Skigebieten“ unterstützt auf diesem Weg (Pröbstl-Haider et al. 2018). Konkrete Checklisten, z. B. für das Umweltmanagement, zeigen, wie die Unternehmen – eigenverantwortlich und auf Dauer – zu einem verträglicheren Umgang mit Natur und Landschaft und zu Verbesserungen beitragen können.

Literatur

Pröbstl-Haider, U., Brom, M., Dorsch, C., Jiricka-Pürner, A. (2018): Umweltmanagement in Skigebieten Springer Spektrum, Berlin.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

