

36. Jahrgang - 2018

FdS Snow 53

F A C H Z E I T S C H R I F T F Ü R D E N S K I S P O R T



D-A-CH Perspektiven des
Schneesports im Zeichen
globalen Klimawandels

SIS | Lab® 2018

Expertенforum Klima.Schnee.Sport

ASU-Unfallanalyse 2017/18

Unfälle und Verletzungen
im alpinen Skisport

Redaktion**Vorsitz****Dr. Gerd Falkner**, Chefredakteur**Redaktionssassistenten****Florian Schwarz**, DSV**Anton Schmucker**, FdS**Redaktionskollegium****Gerhard Dambeck**, Kempten**Dipl.-Ing. Hermann Engel**, München**Dr. Ludwig V. Geiger**,

Institut für Sport- und Präventivmedizin, Kolbermoor

Prof. em. Dr. Ulrich Göhner, Universität Tübingen**Prof. em. Dr. Herbert Haag**, Universität Kiel**Norbert Höflacher**, Geschäftsführer FdS† **Prof. Dr. Arturo Hotz**, Universität Göttingen**Prof. em. Dr. Albrecht Hummel**, Universität Chemnitz**Prof. em. Dr. Dieter Jeschke**, Gröbenzell**Dr. Lothar Köhler**, Coburg**Prof. em. Arnd Krüger**, Universität Göttingen**Erwin Lauterwasser**, Kirchzarten, FdS-Ehrenmitglied**Prof. em. Dr. habil. Klaus Nitzsche**, Leipzig**Prof. Dr. Horst Opaschowski**, Hamburg**Prof. Dr. Gunter A. Pilz**, Hannover**Prof. Dr. Ralf Roth**, DSV-Beirat für Umwelt und nachhaltige Skisportentwicklung, SIS-Vorstand, DSHS Köln**Prof. em. Dr. Gustav Schoder**, Stuttgart† **Prof. em. Dr. Anselm Vogel**, München**Walter Vogel**, Geschäftsführer DSV Marketing GmbH**Helga Wagner**, Verb. Deut. Seilb. u. Schleppflite, München**Korrespondierende Mitglieder****Prof. Dr. E. John B. Allen**, Plymouth, State College (USA)**Dr. Walter Ammann**, Eidgenössisches Institut

für Schnee- und Lawinenkunde, Davos (Schweiz)

Prof. Dr. Takazumi Fukuoka, Japanisches Institut

für Sport und Umwelt, Tokio (Japan)

Dr. Wolfgang Grosslercher, Amt für Skipisten

und Alpinwesen, Autonome Provinz Südtirol (Italien)

Prof. Dr. Siegfried Nagel, Universität Bern**Prof. Dr. Ulrike Pröbstl-Haider**, Wien, DSV-Umweltbeirat**Magister Hermann Wallner**, Bundesanstalt

für Leibeserziehung, Sport-Akademie Wien (Österreich)

Dr. Erik Wolf, Österreichischer Fachverband

der Seilbahnen, Wien (Österreich)

Autorenhinweise

Manuskripte und Besprechungsexemplare sind zu Händen von Dr. Gerd Falkner an die Herausgeberadresse zu senden. Autorenhinweise können bei ihm angefordert werden. Namentlich gekennzeichnete Artikel geben die Meinung des Autors wieder, nicht unbedingt die Meinung der Herausgeber.

Impressum

ISSN 1864-5593

Herausgeber:

Freunde des Skisports e.V. im Deutschen Skiverband (DSV aktiv)

Stiftung Sicherheit im Skisport (SIS)

Postfach 17 61, 82145 Planegg

Telefon: +49 (0)89/8 57 90-1 00

Fax: +49 (0)89/8 57 90-2 94

E-Mail: DSVaktiv@ski-online.de**Produktion:**

Design, Satz und Litho: Martin Roth

Druck und Gesamtherstellung:

AZ Druck und Datentechnik GmbH

Bildrechte: Baumgartner, DSV, DSV aktiv, DSV aktiv Ski &

Sportmagazin, SIS, SIS/DSV-Beirat für Umwelt und Skisport-entwicklung, DSHS

Erscheinungszeitpunkt:

Dezember 2018, halbjährlich (Winter/Sommer)

Alle Rechte vorbehalten.

Inhalt

03 Grußwort**04 Editorial****06 Klima.Schnee.Sport – Expertenforum 2018****08 Übersicht der Zusammenfassungen/Abstracts****14 Klima.Schnee.Sport – Herausforderungen aus Sicht des Wintersports***Ralf Roth, Alexander Krämer, Annika Bichlmeier***20 Was ist mit dem Schnee von morgen? Gedanken zu Klimawandel und Bergsport in den kommenden Jahrzehnten***Hans Peter Schmid, Harald Kunstmann, Michael Warscher***28 Klima und Schnee in Österreich – Beobachtete Vergangenheit und erwartete Zukunft***Marc Olefs, Roland Koch, Andreas Gobiet***38 Das Alpenklima im Wandel***Sven Kotlarski et al.***46 Schnee und Klimawandel im Hochgebirge: Prozessverständnis, Vorhersagen und Anpassungsmaßnahmen***Michael Lehning, Pirmin Philipp Ebner, Hansueli Rhyner***52 Flächenverteilte Simulation technischer Beschneiung mit AMUNDSEN***Ulrich Strasser et al.***60 Die Vielfalt des Winters – Anpassungsmaßnahmen zwischen natürlicher Variabilität und anthropogenem Klimawandel***Kay Helfricht et al.***70 Sicherer Saisonstart mit der DSV-Skiwacht***FdS-/SIS-Mitteilungen***72 ASU-Unfallanalyse 2017/2018***David Schulz***77 DSV aktiv-Ausbilderangebote 2018/2019***FdS-/SIS-Mitteilungen*

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser, hier kommt die *FdSnow* 53. Wir haben Verspätung und bitten um Nachsicht. Zudem tun wir gegenwärtig alles Nötige, um mit dem Journal 54 wieder in den gewohnten Erscheinungsrhythmus zu gelangen. Die gute Nachricht: Die Wartezeit bis zum Erscheinen des Journals 54 verkürzt sich also exakt um die Verspätungszeit. Wir werden Ihnen, dies lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt bereits mit Gewissheit sagen, dann wieder einen abwechslungsreichen und interessanten Journalinhalt präsentieren können.

Das vorliegende *FdSnow*-Journal 53 stellt in gewissem Sinne ein Novum dar. Es ist im 3. Jahrtausend das erste thematische Sonderheft und in der nunmehr 37-jährigen Publikationsgeschichte von *FdSnow* das erst zweite thematische Sonderheft überhaupt. Das erste, noch in den späten 1990er Jahren erschienen, war eines mit sportmedizinischer Thematik, basierend auf Beiträgen der Mitglieder unseres *Medizinischen Beirates*. Diesmal ist das Rahmenthema „Klima. Schnee. Sport“. Involviert waren 14 wissenschaftliche Einrichtungen, an den sieben Publikationsbeiträgen haben 20 Autoren mitgewirkt. Erfreulich, dass die *Stiftung Sicherheit im Skisport* (SIS) und die DSV-Umweltspezialisten an diesem Projekt federführend beteiligt waren.

Dass die Darlegungen Ihr Interesse finden, Sie zum Nachdenken über die dargebotenen Problemkreise anregen, das erhoffen sich die Autoren ganz sicher. Die Voraussetzungen dafür sind gut. Denn unsere Leser und Leserinnen können sich, nicht zuletzt deshalb, weil dieser Themenkomplex seit Jahrzehnten zu den regelmäßig wiederkehrenden thematischen Schwerpunkten des Veröffentlichungsspektrums von *FdSnow* gehört (was auch ein kurzer Blick in unsere Bibliographie verdeutlicht), durchaus sachkundig eine Meinung bilden und werden das sicherlich tun.



Für den Fall, liebe Leserinnen und Leser, dass Sie ein Anmoderieren einzelner Journalbeiträge an dieser Stelle vermissen: Darauf haben wir seitens *FdSnow* absichtlich verzichtet, denn die Autoren haben ein in sich thematisch geschlossenes, abgerundetes Werk vorgelegt, dass Redundanz im *Editorial* geradezu von selbst verbietet.

Im Namen des Teams von *FdSnow* wünsche ich – wie immer – viel Spaß bei der Lektüre!

Dr. Gerd Falkner,
Chefredakteur

Editorial

Der Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel gehören zu den großen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Herausforderungen unserer Gesellschaft.

Dabei ist der Klimawandel für den Wintersport in seiner touristischen und spitzensportlichen Ausprägung unauflöslich verbunden mit veränderten Rahmenbedingungen und Unsicherheiten. Trotz Fortschritten bei der Klimaforschung bleiben offene Fragen insbesondere bei den zu erwartenden Entwicklungen auf regionaler Ebene.

Die Stiftung Sicherheit im Skisport (SIS), das Karlsruher Institute of Technology (Institute of Meteorology and Climate Research) und die Deutsche Sporthochschule (Institute of Outdoor Sports and Environmental Science) veranstaltete am 1./2. Oktober 2018 auf der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus/Zugspitze und am 15./16. Januar 2019 in Ruhpolding ein länderübergreifendes Expertenhearing „Klima.Schnee.Sport“ zu den Perspektiven des Schneesports im Zeichen des globalen Klimawandels.

Unter anderem wurden folgende Leitfragen diskutiert:

- Wie stark ist in den mitteleuropäischen Gebirgsräumen die Klimaerwärmung im Winter im Vergleich zum globalen Trend ausgeprägt?
- Mit welcher Sicherheit können Klimaproxgnosen für das Winterklima in Mitteleuropa für die nahe (bis 2050) und ferne Zukunft (bis 2100) erstellt werden?
- Wie differenziert sich räumlich die zu erwartende Veränderung der Schneedeckenandauer und Schneedeckenmächtigkeit in den Mittelgebirgen Deutschlands und im Alpenraum?

- Welchen Einfluss hat die Variabilität der atmosphärischen Zirkulation auf das Winterklima?
- Welche Auswirkungen sind für eine technische Beschneiung zu erwarten?
- Welche Strategien und Maßnahmen zur Anpassung und zum Klimaschutz können empfohlen werden?

Die vorliegende Fachzeitschrift *FdSnow* stellt die Ergebnisse des Expertenforums kurz und prägnant vor.

Insgesamt haben über 20 Autoren aus 14 wissenschaftlichen Einrichtungen mitgewirkt und so dazu beigetragen, erstmals den aktuellen Forschungsstand in Form eines Positionspapiers und wissenschaftlichen Beiträgen in einem lesenswerten Überblick zu präsentieren

Mein Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen für die Bereitschaft zur konstruktiven, offenen Diskussion und zur Formulierung von gemeinsamen Positionen und Handlungsstrategien.

Univ. Prof. Dr. Ralf Roth
(Projektleitung)

Vorstand
Stiftung Sicherheit im Skisport (SIS),
Vorsitzender
DSV-Beirat für Umwelt und
Skisportentwicklung

Beteiligte Fachwissenschaftler und Institutionen

Folgende Fachwissenschaftler und Institutionen waren am Expertenforum der Stiftung Sicherheit im Skisport (SIS), des Karlsruher Institute of Technology (Institute of Meteorology and Climate Research) und der Deutschen Sporthochschule Köln (Institute of Outdoor Sports and Environmetal Science) beteiligt, lieferten wissenschaftliche Fachbeiträge und inhaltliche Aussagen für das gemeinsame Positionspapier.

Dr. Andreas Becker

Deutscher Wetterdienst (DWD),
Abteilung Hydrometeorologie

Dr. Pirmin Ebner

WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Forschungsgruppe Industrieprojekte und Schneesport

PD Dr. Andrea Fischer

Institut für interdisziplinäre Gebirgsforschung Innsbruck (IGF) Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW)

PhD Kay Helfricht

Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung Innsbruck (IGF), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW)

Mag. Roland Koch

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Abt. Klimaforschung

Dr. Sven Kotlarski

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Prof. Dr. Harald Kunstmann

KIT-Campus Alpin, Inst. f. Meteorologie u. Klimaforschung und Universität Augsburg

Prof. Dr. Michael Lehning

WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Forschungsgruppe Schneeprozesse; Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne

Gudrun Mühlbacher

Deutscher Wetterdienst,
Regionales Klimabüro München

Dr. Marc Olefs

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Abt. Klimaforschung

Hansueli Rhyner

WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Forschungsgruppe Industrieprojekte und Schneesport

Prof. Dr. Ralf Roth (Projektleitung)

Deutsche Sporthochschule Köln (DSHS),
Institute of Outdoor Sports and
Environmetal Science , Vorstand SIS

Michael Rothleitner

Schneezentrum Tirol am
Management Center Innsbruck

Prof. Dr. Hans-Peter Schmid

KIT-Campus Alpin, Institut für Meteorologie und Klimaforschung und TU München

Prof. Hubert Siller

MCI, Management Center Innsbruck

Prof. Dr. Ulrich Strasser

Universität Innsbruck, Inst. f. Geographie

Dr. Michael Warscher

Universität Innsbruck, Inst. f. Geographie

Dr. Karl-Friedrich Ziegahn

Karlsruhe Institut of Technology (KIT),
Bereich IV Natürliche u. gebaute Umwelt



Gemeinsames Positionspapier Expertenforum 2018

Klima.Schnee.Sport

In diesem Positionspapier bestätigen die beteiligten Fachwissenschaftler und Forschungseinrichtungen einvernehmlich die folgenden Kernaussagen für den Alpenraum und die deutschen Mittelgebirge und geben Hinweise auf Wissensdefizite und mögliche Handlungsstrategien.

Kernaussagen

Die Fachwissenschaftler und Forschungseinrichtungen sind darin einig, dass zu erwarten ist, dass sich die Jahresmitteltemperatur im Alpenraum und den Mittelgebirgen bis zum Ende des Jahrhunderts um mindestens weitere 2°C erhöhen wird. Die Zunahme der Temperatur betrifft alle Jahreszeiten. Nur durch Umsetzung von tiefgreifenden Maßnahmen zur Emissionsreduktion, wie im Pariser Klimaschutzabkommen von 2015 vorgesehen, könnte dieser Wert unterschritten werden.

Als Folge wird die für den Schneesport geeignete natürliche Schneedecke langfristig bis in mittleren Lagen im Alpenraum und in den Mittelgebirgen weiter zurückgehen. Dabei verkürzt sich die Dauer der Schneedeckung um Wochen im Spätwinter, etwas weniger stark auch im Frühwinter.

In diesem Zusammenhang ändern sich ebenfalls die klimatologischen Rahmenbedingungen für die technische Schneeverarbeitung. Anzahl und Dauer der potentiellen Schneizeiten werden sich verringern.

Aussagen zur nahen Zukunft (bis 2050) sind schwieriger zu treffen, denn die zum Teil hohe natürliche Klimavariabilität überlagert den langfristigen Trend. Diese starken Schwankungen können den auch bis 2050 stattfindenden allmählichen Anstieg der mittleren Temperatur markant überprägen.

Die Kombination aus Variabilität und kontinuierlicher Erwärmung führt jedoch dazu, dass es immer wieder neue Temperaturmaxima geben wird. Beim Niederschlag ist die Variabilität besonders hoch und es lassen sich auch daher derzeit nur schwerlich klare Trends ausmachen.

Wissensdefizite und Forschungsrelevanz sehen die Wissenschaftler in folgenden Themengebieten:

- Persistenz von Wetterlagen: Es gibt Anzeichen dafür, dass generell durch Auswirkungen des Klimawandels auf die atmosphärische Zirkulation Wetterlagen tendenziell länger andauern (erhöhte Persistenz) und z. B. eine Wintersaison prägen können.
- Extremereignisse: Die Anzeichen mehrern sich, dass sich Extremereignisse sowohl häufen als auch verstärken; Forschungsbedarf besteht bezüglich eines besseren Verständnisses der Ursachen und Dynamik solcher Extremereignisse und ihrer statistischen Einordnung.
- Unsicherheiten der Datenlage: Aussagen zur mittleren Temperaturentwicklung sind relativ zuverlässig. Aussagen zur Niederschlagsentwicklung sind dagegen mit großen Unsicherheiten behaftet. Hier besteht dringender Bedarf, die Datenlage auch durch Integration neuer Beobachtungsmethoden weiter zu verbessern.
- Niederschlagsentwicklung: Um die Niederschlagsentwicklung zuverlässiger einschätzen zu können, sind weitere Erkenntnisse über den Prozess der Niederschlagsbildung insbesondere im Gebirge notwendig.

- Klimaprognosen: Deutliche Verbesserungen bei den saisonalen und dekadischen Wetter- und Klimaprognosen u.a. durch eine Verfeinerung der räumlichen und zeitlichen Auflösung der dazu verwendeten Modelle sind Voraussetzung zur Einschätzung der kurz- und mittelfristigen Variabilität der Schneedecke.

Seilbahnbetreiber, Unternehmen, Wintersportverbände und Destinationen bietet sich auf dieser Basis die Chance, sich aktiv an der gesamtgesellschaftlichen Herausforderung „Klimawandel“ mit entsprechenden Maßnahmen zur Anpassung an die Folgewirkungen und zur Minderung der Treibhausgasemissionen zu beteiligen.

Zielführend sind dabei eine objektive Risikobewertung und ein adäquater Umgang mit Unsicherheiten in den betrachteten Wintersportgebieten. Aufgrund der regionalen und mikroklimatischen Besonderheiten sowie unterschiedlicher Ausgangslagen sind standortbezogene Aussagen komplex und schwierig. Daher sollten ausgewiesene Fachleute aus den Bereichen Klimatologie und Meteorologie eingebunden werden, die mit der vorhandenen Datengrundlage im jeweiligen Gebiet vertraut sind und eine wissenschaftsbasierte Beratung leisten können.

Informationsaustausch auf allen Ebenen für eine nachhaltige Entwicklung des Sektors.

- Durchführung von standortsbezogenen Vulnerabilitätsanalysen zur Erfassung und Bewertung klimatologisch relevanter Parameter (Exposition), der Empfindlichkeit (Sensitivität) und Anpassungskapazität des jeweiligen Wintersportgebietes.
- Etablierung von Resilienz-Strategien zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit und der Stärkung der Innovationsfähigkeit des Wintersports.

Zur Zukunftssicherung des Wintersports gilt über die Handlungsstrategien hinaus: Ein konsequenter Erkenntnistransfer zwischen Wissenschaft und Praxis erleichtert die Verständigung, den wechselseitigen Nutzen und beschleunigt die Suche nach Lösungen. Zudem ist die Versachlichung der öffentlichen Diskussion eine wichtige Aufgabe aller Akteure.

Aus der Perspektive der Fachwissenschaftler sollten folgende strategische Handlungsempfehlungen verfolgt werden:

- Angepasste technologische, organisatorische Innovationen und Diversifikation der Angebote zur Sicherung und Weiterentwicklung des Wintersports.
- Verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien und Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz in allen Sektoren des Wintersports.
- Intensivierung der wintersportbezogenen Klima- und Anpassungsforschung.
- Etablierung interdisziplinärer Partnerschaften, Netzwerke und Systeme zum

**Herausgeber/
Leitung**

Prof. Dr. Ralf Roth

Verfasser

*Beteiligte
Fachwissenschaftler*

Zusammenfassungen/Abstracts

Klima.Schnee.Sport – Herausforderungen aus Sicht des Wintersports

Seite 14–19

Zusammenfassung: Schnee ist für Millionen Menschen die Grundlage für einzigartige Erlebnisse im Wintersport, zugleich bildet er die Basis für eine hohe Wertschöpfung im Sporttourismus. In dem Artikel werden Ausgangssituation und Herausforderungen für die künftige Entwicklung des Wintersports dargestellt. Im Zentrum stehen die Ergebnisse aus der „2. Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018“, die einen Überblick über zentrale Aspekte des Wintersportmarktes in Deutschland und seiner sporttouristischen Bedeutung ermöglichen: Rückschlüsse auf das Wintersportverhalten, Soziodemographie, Reiseplanung, Typologie, Bedürfnisse und das Wintersportpotenzial. Die Ergebnisse bestätigen eine auf hohem Niveau angesiedelte und stabile Wintersportnachfrage mit einer zunehmenden Sportartendifferenzierung. Die Auswirkungen des Klimawandels, aber auch wirtschaftliche und soziale Entwicklungen beeinflussen die Entwicklung des Wintersports, sodass die Akteure gehalten sind, umfassende und nachhaltige Handlungsstrategien zu ergreifen.

Klima und Schnee in Österreich – Beobachtete Vergangenheit und erwartete Zukunft

Seite 28–37

Zusammenfassung: Die beobachtete vergangene Schneedeckenentwicklung in Österreich zeigt seit 1961 insbesondere an Stationen im Westen des Landes und südlich des Alpenhauptkamms einen markanten, signifikant negativen Langzeittrend der Schneehöhe (-30 % bis -90 % bzw. -60% oberhalb 1000 m Seehöhe) und Schneedeckendauer (0 bis -70%; bzw. -25% > 1000 m Seehöhe)), der von starken kurz- (Jahr-zu-Jahr) bis mittelfristigen (bis zu ca. 20 Jahren) natürlichen Schwankungen überlagert wird, die es auch in Zukunft geben wird. Die Trends sind besonders bei der Schneedeckendauer stark von der Seehöhe abhängig. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird der Skibetrieb oberhalb ca. 1500 m Seehöhe in ähnlicher Form wie heute höchstwahrscheinlich weiterhin möglich sein, darunter wird der Aufwand für die technische Schneeproduktion allerdings weiter steigen. Für das Ende des Jahrhunderts entscheidet unser heutiges Handeln, wie stark die Skisaison selbst bis in Lagen oberhalb von 2000 m Seehöhe verkürzt sein wird.

Das Alpenklima im Wandel – Winterliche Schneefallmengen werden abnehmen, in tiefen Lagen ist fast komplettes Verschwinden der Schneedecke möglich

Seite 38–45

Zusammenfassung: Das Klima des Alpenraums befindet sich im Wandel. Seit Beginn systematischer Temperaturmessungen Mitte des 19. Jahrhunderts sind die Temperaturen bereits um circa 2°C gestiegen und damit doppelt so stark wie im globalen Mittel. Deutliches Zeichen für diese bereits erfolgte Erwärmung ist der kontinuierliche Rückzug der Alpengletscher. Die natürliche alpine Schneedecke hat sich vor allem seit den 1960er Jahren deutlich reduziert, mit entsprechenden Auswirkungen auf den Wintertourismus. In Zukunft steuern wir auf eine fortgesetzte Erwärmung zu. Je nach Entwicklung der menschlichen Treibhausgasemissionen wird diese Erwärmung mehr oder weniger stark ausfallen. Selbst bei Annahme eines sehr optimistischen Emissions-Szenarios wird die weitere Temperaturerhöhung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mindestens 1°C betragen. Steigen die Emissionen ungebremst weiter, müssen wir uns auf weitere +4°C oder sogar mehr einstellen. Trotz einer projizierten Erhöhung der Winterniederschläge werden die winterlichen Schneefallmengen deutlich abnehmen, und damit auch die natürliche alpine Schneedecke. In tiefen Lagen ist ein fast komplettes Verschwinden der Schneedecke möglich.

Abstract: For millions of tourists, snow is basis for unique experiences in winter sports and at the same time for a high adding value in sports tourism. The article presents the initial situation and challenges for the future development of winter sports. The focus is on the results of the „2. Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018“, giving an overview of central aspects of the winter sports market in Germany and its significance for the German low mountain ranges and the Alps: conclusions on winter sports behaviour, sociodemography, travel planning, typology, needs and winter sports potential. The presented results confirm a stable demand for winter sports at a high level with increasing differentiation in the types of winter sport. The effects of climate change as well as other economic and social developments are influencing the future development of winter sports, therefore stakeholders are required to adopt comprehensive and sustainable strategies for action.

Abstract: Past observations of the long-term snow cover development in Austria show a significant reduction in the depth of snow since 1961. This can be seen particularly at stations in the west of the country and south of the main ridge, with snow depths of -30% to -90% or -60% over 1000m above sea level and the snow cover duration in these areas, (0 to -70% or -25% > 1000m above sea level). This is superimposed with strong natural fluctuations over the short-term, (year to year), and medium-term, (up to about 20 years), which will continue to exist in the future. The trends, especially those concerning the snow cover duration, are highly dependent on altitude. By the middle of the century skiing activities over 1500 m above sea level will continue to be possible in a similar form to today, below this altitudinal limit the cost of technical snow production will continue to rise. As for the end of the century; today's climate actions decide how strong the skiing season will be shortened even above altitudes of 2000 m a.s.l.

Abstract: The climate of the European Alps is changing. Temperatures have risen by about 2°C since the start of systematic measurements in the mid of the 19th Century. This is almost twice as much as the global mean temperature increase. A clear and unequivocal sign of the past Alpine warming is the widespread retreat of mountain glaciers. Natural snow cover has decreased likewise with consequences on winter tourism. In the future, the Alpine climate will continue to warm. The amount of further warming will strongly depend on the future evolution of anthropogenic greenhouse gas emissions. State-of-the-art climate projections indicate a further temperature increase of at least 1°C by the end of the 21st Century, even for the most optimistic emission scenario. In the absence of considerable emission cuts, temperatures in the Alps might even rise by 4°C or more. Winter precipitation is projected to slightly rise, but the temperature effect on snowfall is dominating and total winter snowfall sums will considerably decrease. Among others, this will lead to a strong reduction of natural snow cover in the Alps. Low elevations might lose their snow coverage almost completely by the end of the Century.

Schnee und Klimawandel im Hochgebirge – Prozessverständnis, Vorhersagen und Anpassungsmaßnahmen

Seite 46–51

Zusammenfassung: Schnee und Eis nehmen rasant und weltweit ab. Es gibt einige Ausnahmen z.B. in Karakorum oder auf dem ostantarktischen Eisschild. Im Europäischen Bergland und besonders in den Alpen haben die Temperaturen bereits stärker zugenommen, und Schnee und Eis haben stärker abgenommen als im globalen Mittel. Diese Trends werden sich in den kommenden Jahren und Jahrzehnten fortsetzen. In unserem Beitrag fassen wir den Stand des Wissens über die natürliche Variabilität der Schneedecke im Bergland und über die zukünftige Entwicklung zusammen. Ausgehend von diesem Wissen werden spezifische Anpassungsmöglichkeiten für Skigebiete diskutiert. Aufgrund der hohen Variabilität (in Raum und Zeit) von Naturschnee, die mit der erwarteten Zunahme von persistenten Wetterlagen noch ausgeprägter wird, wird es immer wichtiger, dass sich Skigebiete mit technischen Mitteln wie Schneelagerung und Schneeproduktion absichern. Die höheren Temperaturen führen aber auch zu immer kürzeren Zeitfenstern für die Schneeproduktion. Deshalb sollten Anpassungsmassnahmen auch auf lokale Prognosen von Wetter und Schnee über Mittelfristzeiträume von mehreren Wochen zurückgreifen.

Das Modell AMUNDSEN – Flächenverteilte Simulation technischer Beschneiung

Seite 52–59

Zusammenfassung: Die Skibedingungen auf den Pisten alpiner Wintersportdestinationen sind das Ergebnis eines komplexen Wechselspiels aus natürlichen Wetterbedingungen und technischen Schneemanagement-Maßnahmen. In jüngster Zeit wurden Entscheidungsunterstützungs-Systeme entwickelt, um ein verbessertes Schneemanagement durch Simulaton ökonomischer und ökologischer Optimierungsstrategien zu erreichen. Wir zeigen das physikalisch basierte Schneedeckenmodell AMUNDSEN (= Alpine MULTiscale Numerical Distributed Simulation ENgine), welches stündliche meteorologische Variablen, die technischen Spezifikationen der installierten Schneeproduktions-Infrastruktur und die real angewandte Schneemanagement-Strategie verwendet, um die resultierenden Verhältnisse auf den Pisten zu modellieren. Das Modell kann für historische, für Bedingungen in der nahen Zukunft (= saisonale Vorhersage) sowie für Langzeit-Klimasimulationen (= Szenarien) eingesetzt werden. AMUNDSEN erlaubt die Bestimmung wichtiger Ski-Indikatoren wie Schneemenge auf den Pisten, Öffnung und Schließung (des Skigebietes) oder Schneeproduktionsstunden mit entsprechenden Effizienzbedingungen. Angewandt im saisonalen Prognosemodus unterstützen die Simulationen die täglichen Entscheidungen der Schneemanager für die Nutzung der technischen, finanziellen und natürlichen Ressourcen. Das Modell wird kontinuierlich weiterentwickelt und mit den Ergebnissen aus Freiluftlabormessungen verbessert.

Die Vielfalt des Winters – Anpassungsmaßnahmen zwischen natürlicher Variabilität und anthropogenem Klimawandel

Seite 60–69

Zusammenfassung: Lufttemperatur, Niederschlag, die Höhe der Naturschneedecke und die Dauer der Naturschneedeckendeckung zeigen eine hohe statistische Variabilität, weichen also häufig und in beträchtlichem Ausmaß vom klimatischen Mittelwert ab. Vor allem zu Beginn der Saison im November und Dezember war ausreichend Naturschnee für den Skibetrieb über die letzten Jahre eher die Ausnahme. Durch den Einsatz von technischer Schneeeerzeugung kann die Variabilität der Naturschneedecke zumindest teilweise ausgeglichen werden, denn die Wahrscheinlichkeit, dass zu Beginn der Saison beschneit werden kann, ist meist höher, als die Wahrscheinlichkeit für ausreichend Naturschnee. Nach einer kurzen Einführung in die Variabilität des Winters stellen wir Ergebnisse einer detaillierten Studie über die Entwicklung von Bedingungen vor, welche eine technische Beschneiung zulassen. Eine Erweiterung dieser Studie auf bis 2050 möglichen Temperaturänderungen zeigt: wenn der Umgang mit der heutigen natürlichen Variabilität im Hinblick auf eine für den Saisonstart rechtzeitige Pistenpräparation gelingt, ist man mittelfristig für einen Großteil der zukünftigen Winter gerüstet. Eine hundertprozentige Schneesicherheit ist jedoch weder im vergangenen noch im gegenwärtigen Klima erzielbar. Die Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels werden in Zukunft Auswirkungen auf die Ausbildung und Dauer der Naturschneedecke und damit auch auf die technische Schneeeerzeugung haben.

Abstract: Snow and ice are decreasing worldwide and rapidly with a few exceptions e.g. in some high mountains (Karakoram) and in some locations in East Antarctica. The European mountains and in particular the Alps have already experienced larger temperature increase and a stronger decrease of snow and ice than the global average and these trends will continue over the coming years and decades. In this contribution, we review the state of knowledge regarding the variability of the natural snow cover and its predicted changes. Based on this knowledge specific adaptation techniques for ski areas are discussed. Because of the high variability (in space and time) of natural snow, which includes an expected increase in persistent weather types, it will be increasingly important for ski areas to rely on technical adaptation measures such as snow farming and technical snow production. However, higher temperatures will also decrease the time that can be used for snow production. Therefore, potential adaptation should rely on improved local prediction of snow and weather especially if those predictions can be made for several weeks in advance.

Abstract: Skiing conditions on the slopes of Alpine winter tourism destinations are the result of a complex interplay of natural weather conditions and technical management measures. Efforts have been undertaken recently to support a sophisticated snow management both in terms of economical and ecological considerations with decision support systems, the heart of which sophisticated software simulation tools. We present the physically based snow cover model AMUNDSEN (= Alpine MULTiscale Numerical Distributed Simulation ENgine) which uses hourly recordings of meteorological variables, the technical specifications of the installed snow production infrastructure, and the applied snow management strategy to model the snow conditions on the slopes. The model can be applied for historical, near future (= seasonal prediction) or far future climatic conditions (= scenarios). AMUNDSEN allows to determine important skiing indicators such as snow amount on the slopes, opening and closing date or snow production hours with respective efficiency conditions. Applied in seasonal prediction mode, the simulations support the everyday decisions to be taken by the snow managers for best practice in the use of the technical, financial and natural resources. The model is continuously further developed and improved using results from field laboratory experiments

Abstract: Temperature and precipitation as well as snow depth and the duration of the natural snow cover during the winter months show high statistical variability. Particularly in the beginning of the snow season - in November and December - the natural snow cover is often insufficient for opening ski slopes. Technical snow production can partially compensate for the natural variability associated with the early season snow pack: at this time of year conditions favourable for snow production are usually more likely to occur than sufficient natural snow. After a brief introduction discussing the natural variability of the winter season, we present results of a detailed study analysing past weather conditions as they relate to technical snow production. An extension of this study to possible future temperature changes shows that ski resorts which are currently handling the natural variability of snow conditions successfully through use of technical snow production will likely be able to continue to do so in the medium term future. However, the effects of anthropogenic climate change will increasingly impact the formation and duration of the natural snow pack and will affect technical snow production in the future.



SKIDEUTSCHLAND für Fans

Mehr News – für Dich sind wir live vor Ort!

Mehr Aktive - FanCards für Deine Sammlung!

Mehr Events & Ergebnisse – hol Dir Tickets und Infos!



SKIDEUTSCHLAND für ALLE

360 Grad Skisport für Deinen Winter!

Tipps & Tracks, Safety Days, skiTEST, Skiversicherung
– für Anfänger & Skiprofis, Schüler & Lehrer



#SKIDEUTSCHLAND

WWW.SKIDEUTSCHLAND.DE

| die neue Fanpage des
Deutschen Skiverbandes

Klima.Schnee.Sport

Herausforderungen aus Sicht des Wintersports

Themenbereich: Skisport und Umwelt

Ralf Roth, Alexander Krämer, Anika Bichlmeier

Zusammenfassung: Schnee ist für Millionen Menschen die Grundlage für einzigartige Erlebnisse im Wintersport, zugleich bildet er die Basis für eine hohe Wertschöpfung im Sporttourismus. In dem Artikel werden Ausgangssituation und Herausforderungen für die künftige Entwicklung des Wintersports dargestellt. Im Zentrum stehen die Ergebnisse aus der „2. Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018“, die einen Überblick über zentrale Aspekte des Wintersportmarktes in Deutschland und seiner sporttouristischen Bedeutung ermöglichen: Rückschlüsse auf das Wintersportverhalten, Soziodemographie, Reiseplanung, Typologie, Bedürfnisse und das Wintersportpotenzial. Die Ergebnisse bestätigen eine auf hohem Niveau angesiedelte und stabile Wintersportnachfrage mit einer zunehmenden Sportartendifferenzierung. Die Auswirkungen des Klimawandels, aber auch wirtschaftliche und soziale Entwicklungen beeinflussen die Entwicklung des Wintersports, sodass die Akteure gehalten sind, umfassende und nachhaltige Handlungsstrategien zu ergreifen.

Abstract: For millions of tourists, snow is basis for unique experiences in winter sports and at the same time for a high adding value in sports tourism. The article presents the initial situation and challenges for the future development of winter sports. The focus is on the results of the „2. Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018“, giving an overview of central aspects of the winter sports market in Germany and its significance for the German low mountain ranges and the Alps: conclusions on winter sports behaviour, sociodemography, travel planning, typology, needs and winter sports potential. The presented results confirm a stable demand for winter sports at a high level with increasing differentiation in the types of winter sport. The effects of climate change as well as other economic and social developments are influencing the future development of winter sports, therefore stakeholders are required to adopt comprehensive and sustainable strategies for action.

Einleitung

Zum Winterurlaub gehört Schnee. Schnee ist für Millionen Menschen die Grundlage für einzigartige Erlebnisse im Wintersport, zugleich bildet er die Basis für eine hohe Wertschöpfung im Sporttourismus. Winterurlaub ist in der Regel aktiver Urlaub: Gemeinsame sportliche Aktivitäten und Erholung in einer verschneiten Bergnatur zählen für viele Touristen nach wie vor zu den Hauptmotiven, im Winter in Urlaub zu fahren (Siller & Fehring 2014). Skilanglauf, Winterwandern, aber auch alpines Skifahren fördern die körperliche Aktivität, halten fit, haben einen positiven Einfluss auf das psychische Wohlbefinden und eine sozial integrative Funktion für Menschen in jedem Alter.

Schnee hat meist eine Temperatur in der Nähe des Taupunkts und reagiert somit

empfindlich auf die Veränderungen der Witterung beziehungsweise langfristig des Klimas – verbunden mit Planungsunsicherheiten im Hinblick auf die Schneedeckenvariabilität.

Das Klima ist zwar nur einer von zahlreichen Faktoren, die sich auf Angebot und Nachfrage in einer Wintersportregion auswirken. Allerdings ist das Klimasystem ein besonders komplexer Faktor und in vielerlei Hinsicht nur eingeschränkt durch Wahrscheinlichkeiten oder Prognosen zu beschreiben.

Gleichzeitig entwickelt sich das System Wintersport, auf das der Klimawandel einwirkt, mit seinen Produkten und Angeboten fortlaufend weiter. Eine regio-

nale Anpassung des Wintersports an den Klimawandel vollzieht sich nicht in einem Vakuum, sondern ist eingebettet in dynamische Vorgänge auf den verschiedensten Ebenen der regionalen Sektoren und Märkte.

Der alpine Wintersport-Markt in den Alpen

In Europa gibt es 48,2 Millionen Skifahrerinnen und Skifahrer, das entspricht 9,2 Prozent der Bevölkerung. Die Alpen sind ein Hotspot für den Skitourismus – 45 Prozent aller Skifahrertage weltweit werden in den Alpen erfasst (jährlich 158 Millionen Skifahrertage). Österreich verzeichnet mit 51 Millionen Skifahrertagen ein knappes Drittel, Frankreich kommt mit 48 Millionen Skifahrertagen auf 30 Prozent, Italien verbucht 29 Millionen, die Schweiz 25 Millionen Skifahrertage (Roth et al. 2017).

Diese Kenndaten unterstreichen die existentielle Bedeutung des Wirtschaftsfaktors Wintersporttourismus für die Alpenregionen. Destinationen sind in hohem Maße von ihm abhängig und generieren damit vielerorts über zwei Drittel der Wertschöpfung aus dem Wintertourismus.

Die Nachfrage nach Schneesportaktivitäten und die damit erzielte Wertschöpfung liegen seit Jahren auf hohem Niveau. Deutschland ist aktuell der wichtigste Quellmarkt für den Alpenraum (Roth et al. 2017).

Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018

Die allgemeine Nachfrage nach Wintersportangeboten und der touristische Erfolg der Destinationen sind auch in Deutschland abhängig von der räumlichen Verteilung, dem Ausbauzustand und der Schneesicherheit von Ski- und Loipengebieten. Grundlage für die hohe Nachfrage bilden die umfangreichen Basisstrukturen mit über 1400 Liftanlagen,

ca. 650 Skischulen, 290 Nordischen Zentren und rund 4000 Skivereinen. Auch der Spitzensport sorgt mit seinen Akteuren und Veranstaltungen in Deutschland für Resonanzmomente und emotionale Bindungen im Wintersport. Die jährlich über 30 Weltcup-Veranstaltungstage des Deutschen Skiverbands und der Erfolg seiner Athletinnen und Athleten erzeugen wertvolle mediale Impulse.

Die Ausgaben für den Wintersport in Deutschland belaufen sich auf jährlich 16,4 Milliarden Euro. Das entspricht rund 20 Prozent der gesamten, auf den aktiven Sport bezogenen Ausgaben in Höhe von 83,4 Milliarden Euro. Skifahren ist mit Abstand die wirtschaftlich bedeutendste Sportart und generiert 13 Prozent der Gesamtkonsumausgaben des Sports (An der Heiden et al. 2013).

Die „2. Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018“ hat den aktuellen deutschen Wintersportmarkt und das Sport- bzw. Reiseverhalten untersucht. Die repräsentative Studie liefert umfassende Grundlagen und Informationen für strategische Planungen in den Destinationen, aber auch für Industrie, Politik oder Sportfachverbände.

In der Studie wird erstmals ein umfassenderes Verständnis von schneebasierten Wintersportaktivitäten zugrunde gelegt: Sie bezieht sämtliche Aktivitäten – von Ski Alpin über Langlauf bis zum Winterwandern und Schlittenfahren – in die Betrachtung mit ein und berechnet den jeweiligen Anteil in Form von „wintersportsdays“. Das entspricht der Anzahl der Tage, an denen entsprechende Aktivitäten mit einer Dauer von mindestens zwei Stunden durchgeführt werden.

Die Studie wurde in einem zweistufigen Verfahren durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden 2000 deutsche Haushalte mittels repräsentativer Telefonbefragung (CATI = Computer Assisted Telephone Interviews) erfasst. Im zweiten Schritt erfolgte die eigentliche Erhebung zum Sport- und Reiseverhalten, bei der 3000 Wintersporttouristen mittels Online-Panel befragt wurden.

Verfasser

*Univ. Prof. Dr.
Ralf Roth*

*Deutsche
Sporthochschule Köln
(DSHS),
Institute of Outdoor
Sports and Environmental
Science,
Vorstand Stiftung
Sicherheit im Skisport
(SIS),
Vorsitzender DSV-
Beirat für Umwelt und
Skisportentwicklung*

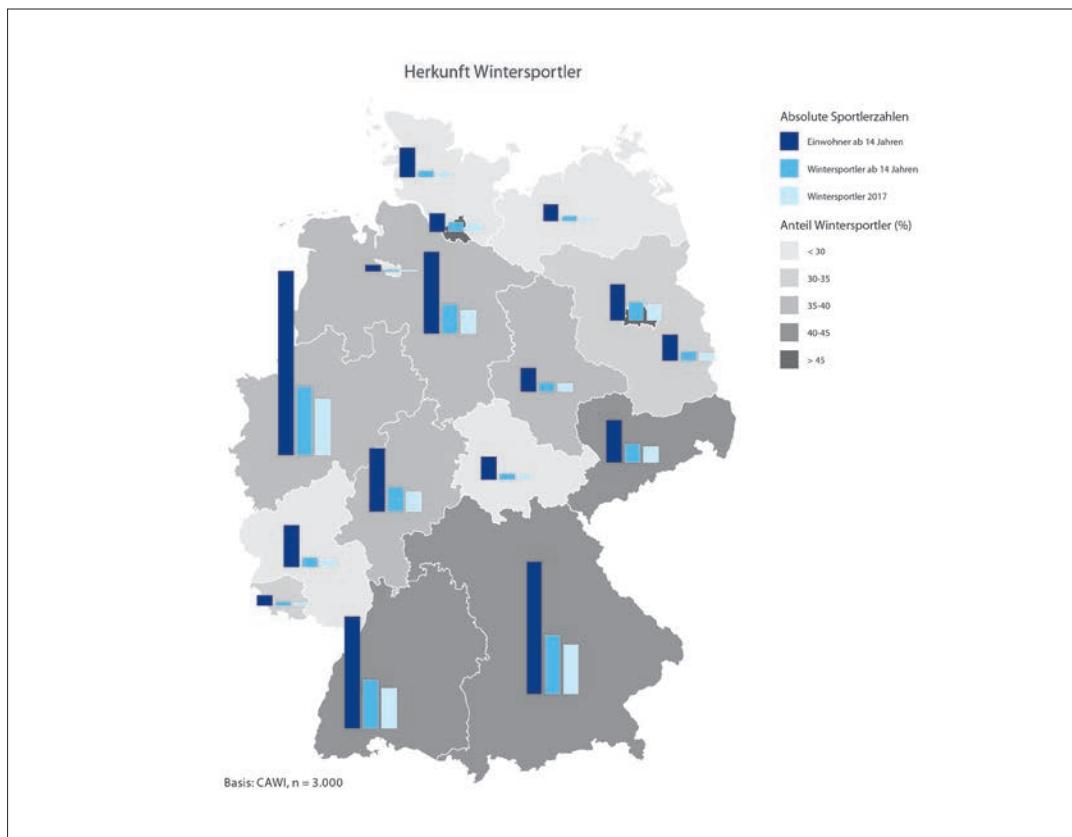
Alexander Krämer

*Projektmitarbeiter
Deutsche
Sporthochschule Köln
(DSHS)*

Anika Bichlmeier

*DSV-Referentin für
Sportraumentwicklung
und Nachhaltigkeit*

Abb. 1:
Herkunft der
Wintersportler nach
Bundesländern.



Ergebnisse Wintersportnachfrage

Die Nachfrage nach Wintersportangeboten in Deutschland ist auf einem stabilen und hohen Niveau. Im internationalen Vergleich sind viele Menschen in Deutschland Wintersportler: Von den sportlich Aktiven im Land betreiben knapp zwei Drittel (63,5 Prozent) und somit 27,7 Millionen Menschen (über 13 Jahren) Wintersport.

Unterschiede gibt es im Hinblick auf die verschiedenen Altersgruppen. Junge Frauen und Männer betreiben am häufigsten Wintersport. In den jüngeren Altersklassen halten sich Frauen und Männer die Waage, im höheren Alter überwiegt der Männeranteil. Die bevölkerungsreichen Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg stellen die meisten Wintersportlerinnen und Wintersportler (siehe Abbildung 1). In den Regionen mit wohnortnahen Wintersportmöglichkeiten ist die Bevölkerung aktiver. Im Süden und Osten Deutschlands gibt es überdurchschnittlich viele Wintersporttreibende.

Als Gründe gegen das Betreiben von Wintersport werden genannt: das Fehlen von

wohnortnahen Angeboten, hohe Kosten, fehlende Sportpartner oder auch die Angst vor Verletzungen. Das Potenzial für Neueinsteiger liegt insbesondere bei den unter 30-Jährigen.

Aus den Ergebnissen folgt: In Zukunft stehen der Erhalt und die zielgruppenorientierte Entwicklung von wohnortnahen Wintersportmöglichkeiten in den deutschen Mittelgebirgen und im Alpenvorland im Mittelpunkt. Kooperationen zwischen größeren Wintersportregionen und siedlungsnahen Kleinliftanlagen und Loipen sind zu empfehlen. Zudem sind die Entwicklung von preiswerten Angeboten und eine proaktive Kommunikation der positiven Gesundheitswirkungen des Wintersports unverzichtbare Bausteine.

Ergebnisse Wintersportverhalten

Die Wahl der Wintersportart wird von Alter, Geschlecht, Wohnregion und Haushaltseinkommen bestimmt. Auch Berufs- und Lebenssituation sind wichtige Einflussfaktoren.

Von den 27,7 Millionen Wintersportlern in Deutschland nennen ca. 30 Prozent Alpinskifahren als ihre Hauptsportart, gefolgt von Winterwandern (28 Prozent), Schlittenfahren (23 Prozent) und Skilanglauf (21 Prozent).

In der Saison 2016/2017 waren trotz schwierigen Wetterbedingungen, die zu einer verkürzten Saison und zu weniger Betriebstagen in niedrigen und mittleren Lagen führten, über 80 Prozent der Wintersportler aktiv. Ein vielfach prognostizierter Rückgang der Wintersportaktivitäten aufgrund schneearmer Winter kann daher nicht nachgewiesen werden. Es kommt zu räumlichen und zeitlichen Veränderungen im Aktivitätsprofil. Insgesamt absolvierten 2016/2017 die aktiven Wintersportler 339 Millionen „wintersportsdays“.

Heute sind Menschen in allen Lebensphasen im Winter aktiv. In Deutschland zeigen sich Wintersportlerinnen und Wintersportler zunehmend poly-sportiv und betreiben im Durchschnitt 2,7 verschiedene Disziplinen. Destinationen sollten daher das gesamte Portfolio in ihr Programm aufnehmen und konsequent entwickeln.

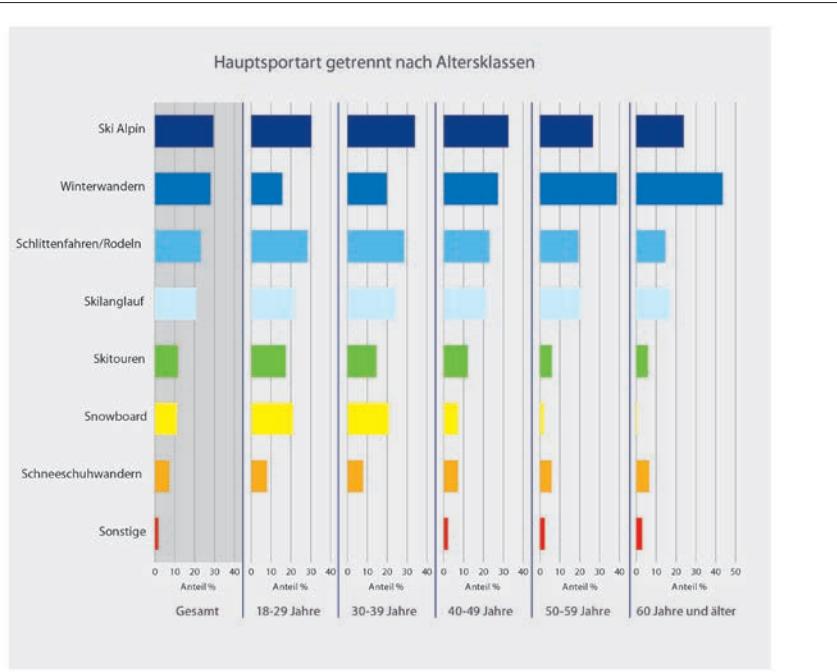
Schneesport unterliegt Trends. Eine starke Zunahme beispielsweise gibt es im Be-

reich der nordischen Bewegungsformen, während das Interesse am Snowboarden zurückgegangen ist und eine Tendenz zur Stabilisierung auf vergleichsweise geringerem Niveau zeigt. Die Ski-Alpin Nachfrage dagegen stagniert auf hohem Niveau (siehe Abbildung 2).

Eine regionale sportartübergreifende Wintersportentwicklung sollte auf alle Zielgruppen mit unterschiedlichen Motivationen und Leistungsfähigkeiten ausgerichtet sein. Vielfältige und sich ergänzende Angebote bilden die Basis für Demographiefestigkeit und Familienfreundlichkeit.

Die Bedeutung von Tagesausflügen und damit tagestouristischen Wintersportangeboten ist in und aus Deutschland sehr hoch. In vielen Mittelgebirgsregionen, aber auch im Alpenvorland stellt dieses Segment die wichtigste Wertschöpfungsquelle dar. Die mit Abstand meisten Ausflüge finden innerhalb Deutschlands statt (85 Prozent), gefolgt von Ausflügen nach Österreich (32 Prozent). Auch im Urlaub bleiben viele im eigenen Land: 63 Prozent der Befragten haben ihre Wintersporturlaub schon mal in Deutschland verbracht, 43 Prozent daneben auch schon in Österreich. Allerdings: Bei Berücksichtigung aller ausländischen Destinationen findet

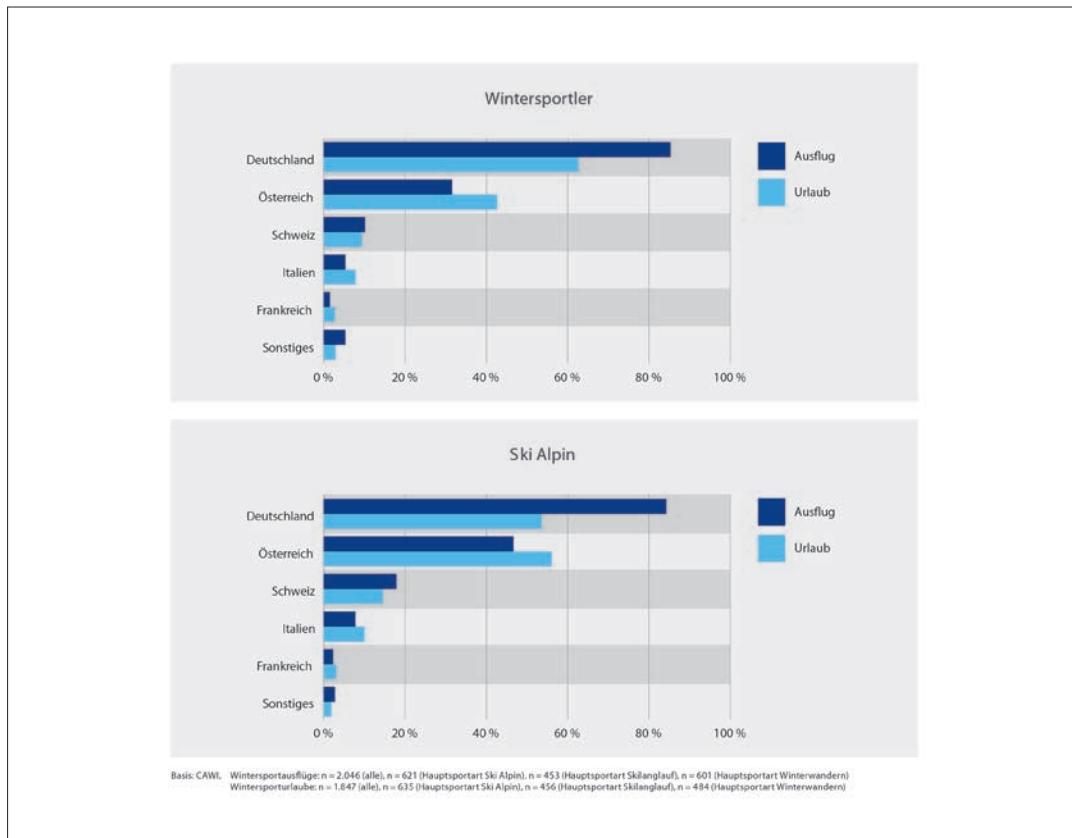
Abb. 2:
Hauptsportarten
getrennt nach
Altersklassen.



Basis: CAWI, n = 3.000

Abb. 3:

Wo haben Sie Ihre Wintersportausflüge und Wintersporturlaube durchgeführt?



der Wintersporturlaub häufiger im Ausland als in Deutschland statt.

Die Hauptsportart Ski Alpin zeigt ein ähnliches Bild: Die meisten Wintersportausflüge finden innerhalb Deutschlands statt. Für den Wintersporturlaub liegt mit 56 Prozent der Alpin-Skifahrer jedoch Österreich auf Platz 1. Insgesamt werden also Wintersporttage häufiger im Inland, der mehrtägige Winterurlaub öfters im Ausland verbracht (Abb. 3).

Eine konsequent nachhaltige Angebots- und Produktentwicklung im Wintersport sowie variable und sich ergänzende, ganzjährige Angebote sind insbesondere für die deutschen Mittelgebirge von großer Bedeutung. Ein verantwortungsvoller und suffizienter Umgang mit den Ressourcen Energie, Wasser und Fläche ist dabei die Basis für eine langfristige, wirtschaftlich tragfähige Entwicklung und bietet wichtige Ansätze für Marketing und Kommunikation.

Maßnahmen zur Zukunftssicherung

Vor dem Hintergrund der hohen Bedeutung des Wintersports in Deutschland liegt es in der Verantwortung der Wintersportverbände und Destinationen, Seilbahnen- und Loipenbetreiber, eine nachhaltige Entwicklung voranzutreiben. Die funktionierenden Wintersportangebote sind zu sichern, um Arbeitsplätze und Einkommen in ländlichen Gebieten langfristig zu erhalten. Dem Fokus auf einer qualitativen Entwicklung in den traditionellen Wintersportgebieten muss eine hohe Priorität eingeräumt werden.

Der gesamte Wintersporttourismus muss sich auf den Wandel einstellen: den Wandel von Freizeittrends und Mobilitätsverhalten, den Wandel der Erwartungen und Ansprüche der Kunden, die demographische Entwicklung, vor allem aber auch den Wandel von Klima und Wetterbedingungen. Eine Verbesserung der Resilienz zielt nicht nur auf hohe Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel, sondern auch auf die Stärkung der Innovationsfähigkeit für künftige Herausforderungen. Nur so erhält sich der Wintersporttourismus die Fähigkeit, die sich in Zukunft eröffnenden Chancen zu nutzen.

Literatur- und Quellenangaben

- I. An der Heiden et al. (2013): Wirtschaftsfaktor Wintersport. Aktuelle Daten zur Sportwirtschaft. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- R. Roth, A. Krämer, M. Götz, (2012): Grundlagenstudie Wintersport Deutschland. Schriftenreihe Institut für Natursport und Ökologie der Deutschen Sporthochschule Köln – Band 26)
- R. Roth, A. Krämer, J. Severiens (2018): Zweite Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018. Schriftenreihe SIS
- R. Roth, H. Siller, H. Pechlahner (2017): The Future of Winter Travelling in the Alps. Executive Summary, Forum Zukunft Wintersport Alpen, ITB Berlin
- H. Siller, A. Fehringer (2015): Bergprofilstudie 2014 - Sommer und Winterurlaub in den Bergen - Quellmarkterhebung Deutschland, Studie MCI Innsbruck

FÜR ALLE LEHRER & LEHRERINNEN:

WINTERSPORTSCHULE.DE

WINTERSPORTSCHULE

WOZU WINTERSPORT

PLANUNG & ORGANISATION

UNTERRICHT

SICHERHEIT & UMWELT

NETZWERK



 **Impulsgeber & Organisationshilfen**
für Wintersportfahrten

 **Vorlagen und Materialien**
für Argumentation, Planung und Durchführung
von Schneesportaktivitäten an Schulen

 **inhalte**
zu Recht und Erlasse, Sicherheitsmaßnahmen und Umwelt

 **Übersicht**
der Ansprechpartner und Fortbildungsangebote aus dem Wintersport

„Unser Klassenzimmer!“
Stefan Nieberle, Lehrer



Was ist mit dem Schnee von morgen?

Gedanken zu Klimawandel und Bergsport in den kommenden Jahrzehnten

Themenbereich: Skisport und Umwelt

Hans Peter Schmid, Harald Kunstmann, Michael Warscher

Klimawandel: globales Phänomen mit regionalen Ausprägungen – Risiken und Chancen

In den Medien taucht das Thema „Klimawandel“ meist dann auf, wenn das Wetter verrücktspielt. Der Winter 2017/18 war typisch dafür: in den Nord- und Westalpen lag außergewöhnlich früh viel Schnee, teilweise bis in tiefe Lagen und der Skibetrieb konnte vielerorts früher als sonst starten. Im Spätwinter gab es sogar Kälterekorde, dank dem stabilen Hochdruckgebiet „Hartmut“ über Skandinavien¹. Auf der Zugspitze (2964 m ü.M.) verzeichnete die Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD²) am Abend des 26. Februar -30,4 °C, die kälteste dort je gemessene Temperatur für diese Jahreszeit. Von Februar bis Ende April lagen im Skigebiet Zugspitze rund 4 m Naturschnee, deutlich mehr und länger als in den meisten der letzten Jahre.³ In den Zentralalpen lag zeitweise so viel Schnee, dass großflächig die höchste Lawinennwarnstufe (5) ausgerufen wurde und einige Täler (Zermatt, Saas) über mehrere Tage nicht zugänglich waren. In der Öffentlichkeit wurde die Frage gestellt, wie denn ein solcher Schneewinter mit dem Klimawandel in Einklang zu bringen sei. Negierer des Klimawandels sahen den Schneewinter 2018 als Beweis, dass der Klimawandel nicht stattfindet.

Allerdings stellte sich der Schneewinter 2018 als ein regionales Phänomen heraus, das zudem auch zeitlich stark begrenzt war. Die Messungen des DWD zeigen, dass der meteorologische Winter (Dezember, Januar, Februar) 2017/18 deutschlandweit 1,2 °C wärmer war als der langjährige Durchschnitt (30 Jahre). Einerseits fiel 9 % mehr Niederschlag, andererseits herrschte 10 % mehr Sonnenschein als im Mittel. Wie ist dies möglich? Durch eine Abfolge von relativ lange stabilen und gegensätzlichen Witterungsperioden. Dezember (2017) und Januar (2018) waren vergleichsweise mild und nass. Dafür wurde der Februar außergewöhnlich kalt. Landesweit wurde eine Durchschnittstemperatur von -1,7 °C gemessen, also deutlich unter dem langjährigen Mittel von +0,4 °C. Der März war danach auch noch etwas kälter als der Durchschnitt, aber bereits im April kippte die Lage wieder und es entwickelte sich der Rekordsommer 2018 mit anhaltender Dürre und Hitze besonders in Norddeutschland und Skandinavien. Global zeichnet sich ab, dass das Jahr 2018 wohl das viertwärmste je gemessene war (die Plätze 1 bis 3 gehen an 2016, 2015 und 2017).

Als regional ausgeprägter und außergewöhnlicher Winter ist der Winter 2017/18 symptomatisch für die Entwicklung, die im Klimawandel zunehmend erwartet wird: ein langsamer aber eindeutiger Trend zu höheren Temperaturen, aber nicht als gleichmäßige Erwärmung, sondern mit tendenziell immer stärker ausgeprägten und extremeren Auswüchsen

¹ http://www.met.fu-berlin.de/wetterpate/Lebensgeschichten/Hoch_HARTMUT_21_02_18.htm (12/2018)

² DWD Climate Data Center, <https://cdc.dwd.de> (12/2018)

³ <https://www.skiinfo.de/oberbayern/zugspitze/schneestatistik.html?y=0&q=top> (12/2018)

der Witterung⁴ (zu warm, zu trocken, zu nass, zu kalt). Wir erwarten auch, dass solche Auswüchse nicht nur stärker werden und öfter auftreten, sondern dass sie auch persistenter werden.

Für den Schneesport bedeutet eine solche Entwicklung einerseits, dass „normale“ Winter seltener werden, dass viel öfter entweder völlig „verpfuschte“ und nasse oder umgekehrt kalte und langwährende Winter auftreten. Wird im Schneesport der Einsatz von Ressourcen (Material, Energie, Arbeitskräfte) für einen „Normalwinter“ geplant, bedeutet dies zukünftig häufiger, dass eine Fehlplanung droht mit entsprechendem Mehraufwand oder finanziellen Verlusten. Andererseits bedeutet die zunehmende Persistenz der Witterung auch, dass öfter ein Großteil der Saison in ähnlicher Weise betroffen sein wird (und es besteht die Hoffnung, dass der grobe Verlauf der Witterung einer Saison und Region besser vorhergesagt werden kann). Dieser letzte Aspekt birgt auch Chancen: mehr Planungssicherheit, um je nach Lage alternative Saison-Pläne in die Umsetzung führen zu können. Voraussetzung ist dabei natürlich, dass machbare Alternativpläne vorliegen und auf realistische Szenarien der zu erwartenden Witterung abgestimmt sind.

Klimawandel bringt häufigere und persistenter Witterungsexreme

Worauf begründet sich die Erwartung, dass der Klimawandel vermehrt und langanhaltende Witterungsexreme mit sich bringen wird?

Schon seit mindestens 40 Jahren zeigt sich, dass die Erwärmung in der Arktis am stärksten fortschreitet, verstärkt durch die rasant abnehmende Ausdehnung des Meereises im Arktischen Ozean. Dadurch vermindert sich tendenziell der Temperaturunterschied zwischen den mittleren

Breiten und der Polarregion. Dieser Temperaturgradient ist aber für das Luftdruckgefälle (im oberen Teil der Troposphäre) zur Polregion hin verantwortlich, was wiederum zur Ausbildung des Jetstreams führt. Der Jetstream ist ein Band von oft sehr starken Winden (bis ca. 500 km/h), das sich im Gegenuhrzeigersinn (also ostwärts) mäandrierend oder wellenartig um den Nordpol bewegt, meist irgendwo zwischen dem 40. und dem 75. Breitengrad. Der Jetstream wirkt quasi als Organisator der Wetterverhältnisse in den mittleren Breiten. Seine Mäander (oder Rossby Wellen) bringen die Abfolge von Hoch- und Tiefdruckgebieten mit sich, die in Europa meist das Wettergeschehen dominieren. Ist der Jetstream stark, sind die Wellenausschläge relativ schmal und die Wellen bewegen sich rasch von West nach Ost. Das Wetter ist dann eher wechselhaft und von westlichen Winden geprägt. Bei schwachem Jetstream können die Wellenausschläge (nach Norden und Süden) stark wachsen und die Wellenberge und -senken können sogar über längere Zeit stationär bleiben. Dies kann (bei einem stationären Hoch über Skandinavien, einer sog. Omegalage⁵) zu langanhaltender „russischer“ Kälte führen, mit schwachen, aber eisigen nordöstlichen Winden, wie im Februar 2018. Eine ähnliche Omegalage ab April bis Juni 2018 führte kurz danach zur bekannten Hitzewelle nördlich der Alpen. In beiden Fällen war der Jetstream zu schwach, um mit seiner allgemeinen Westdrift den Aufbau von stationären Hochs zu verhindern.

Die allgemeine Beobachtung, dass sich die Arktis deutlich schneller erwärmt als das globale Mittel⁶, wird in Modellrechnungen bestätigt und im anthropogenen Klimawandel entsprechend prognostiziert (Mann et al. 2017). Die Folge ist, dass wir eine fortlaufende Abschwächung des Jetstreams erwarten müssen mit verstärkter Tendenz zu saisonal prägenden Extremwitterungsereignissen.

⁴ Der Ausdruck „Witterung“ bezeichnet die Charakteristik des Wettergeschehens einer Region, das über längere Zeit (Tage bis Wochen) anhalten kann. Länger anhaltende Hitze- oder Frostperioden sind dabei meist mit dem Auftreten von stationären Hochdruckgebieten verbunden. Fehlen solche stationären Strukturen, kann die Witterung als wechselhaft bezeichnet werden.

⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Omegalage> (12/2018)

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_amplification (12/2018)

Verfasser

**Prof. Dr.
Hans Peter Schmid**

*KIT-Campus Alpin,
Institut für Meteorologie
und Klimaforschung,
Garmisch-Partenkirchen
und TU München*

**Prof. Dr.
Harald Kunstmann**

*IKIT-Campus Alpin,
Institut für Meteorologie
und Klimaforschung,
Garmisch-Partenkirchen
und Universität
Augsburg*

**Dr.
Michael Warscher**

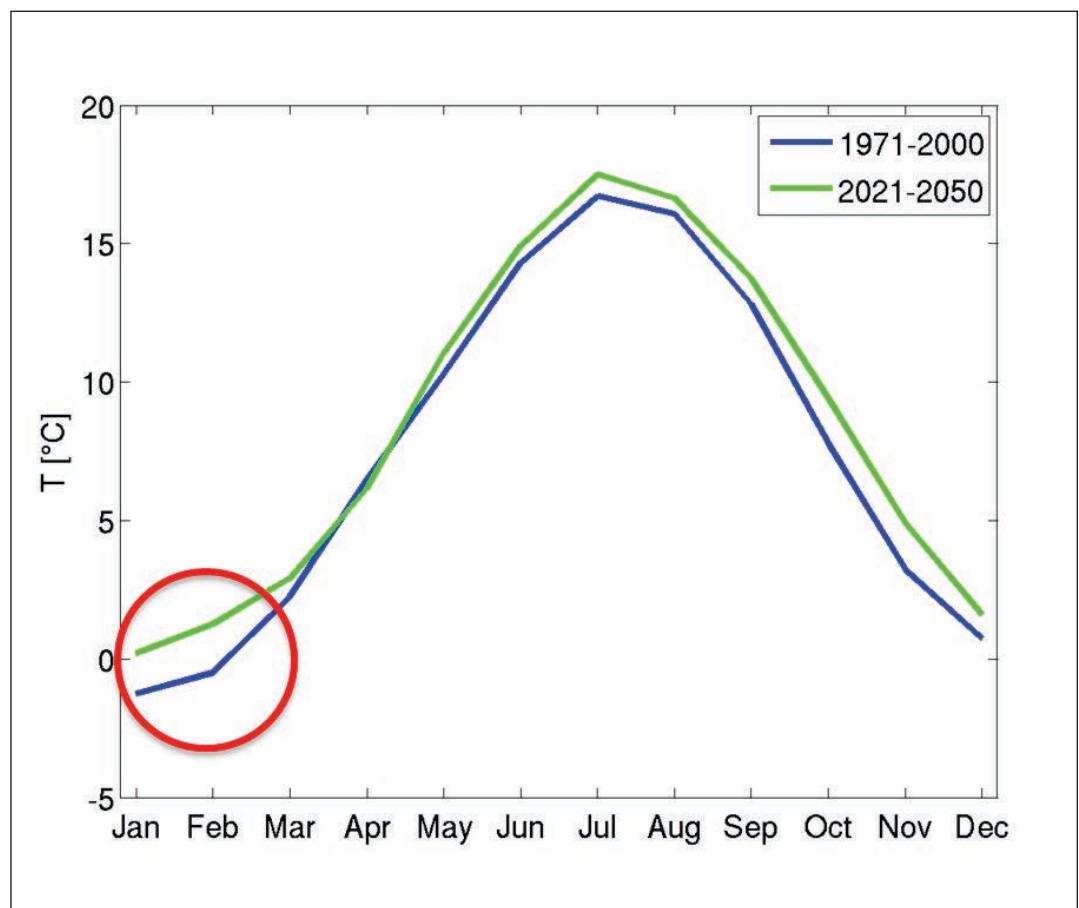
*Universität Innsbruck,
Institut für Geographie*

Verstärkung des Erwärmungstrends in den Alpen: der Schnee von morgen

Nicht nur die Polargebiete sind einer verstärkten Erwärmung im Klimawandel unterworfen, sondern auch Bergregionen erwärmen sich generell schneller als das globale Mittel (Pepin et al. 2015). Seit 1900 beträgt der gemessene Tem-

Wagner et al. 2013) zeigen an, dass die größte Erwärmung im Gebiet der bayrischen Alpen und Voralpen im Spätwinter zu erwarten ist bis Mitte des 21. Jhd. (Abb. 1). Die Veränderungen im Niederschlag betreffen mehr die saisonale Verteilung als das Jahrestotal. Abb 2 zeigt, dass etwa gleichzeitig mit der größten Erwärmung im Spätwinter auch eine Erhöhung des Niederschlages zu erwarten ist.

Abb. 1:
Modellierter Temperaturjahresgang für das bayerische Alpen- und Voralpengebiet. Gelbe Kurve: projektiert auf die Periode 2021–2050; im Vergleich zur historischen Periode 1971–2000. Roter Kreis: die stärkste Erwärmung wird im Spätwinter erwartet. (basierend auf Regionalmodell WRF, 7 km Gitterabstand, globaler Hintergrund gerechnet mit ECHAM5; IPCC Emissionsszenario A1B).

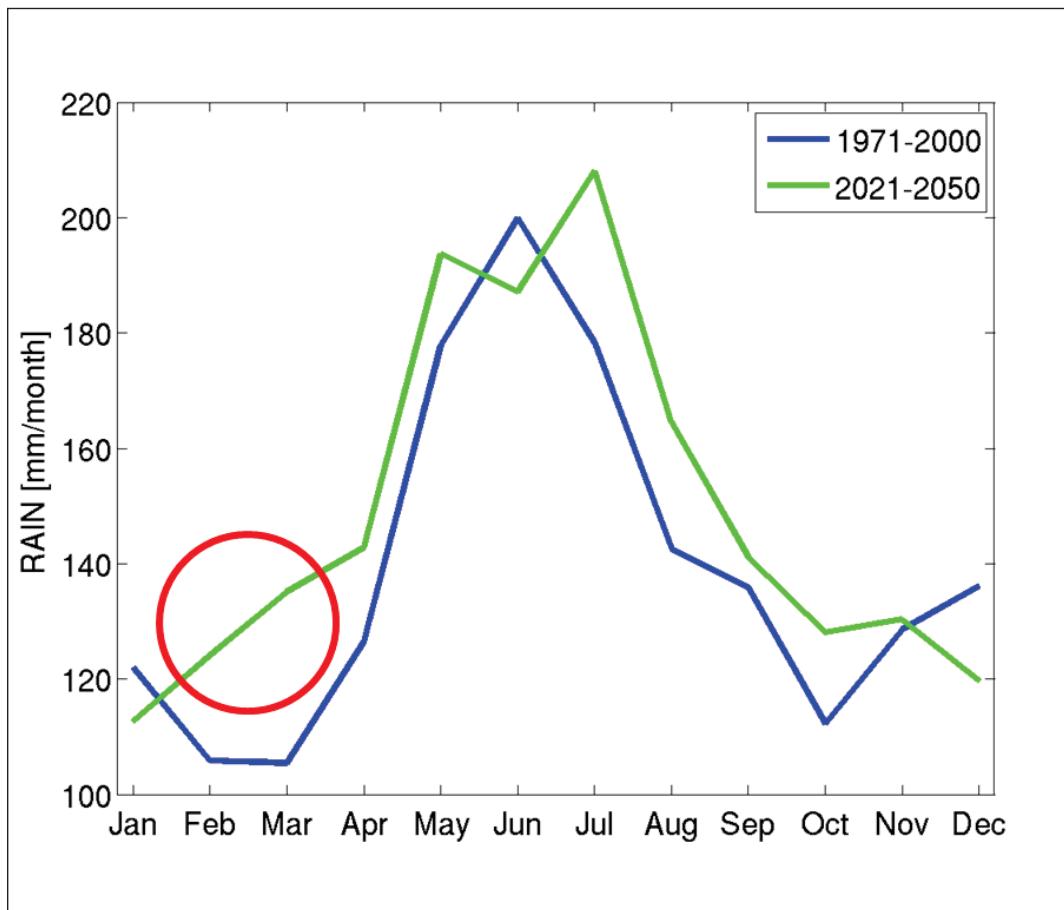


peraturanstieg global $1,1^{\circ}\text{C}$ und $1,5^{\circ}\text{C}$ in Europa⁷. Im Alpenbereich betrug der Temperaturanstieg über die gleiche Zeit aber schon $2,3^{\circ}\text{C}$. Dies identifiziert den Alpenraum als klimasensitive Region: der Klimawandel ist gegenüber dem globalen Mittel verstärkt.

Hochauflöste regionale Klimamodellierungen am Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT-Campus Alpin in Garmisch-Partenkirchen (z.B. Kunstmann et al. 2004; Kunstmann et al. 2018;

In tieferen bis mittleren Lagen (ca. unter 1500 m ü. M.) bedeutet dies naheliegend, dass der erhöhte Niederschlag vermehrt als Regen und nicht als Schnee ankommt. Aber in Höhenlagen ab ca. 1500 m ü. M. kann diese Kombination verlängerte und schneereiche Spätwinter bewirken. Wie weit sich eine solche für den Schneesport recht günstigen Entwicklung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts fortsetzen kann, ist allerdings fraglich. Ob im Spätwinter in diesen Höhenlagen verstärkt Schnee fällt, hängt ab vom Wettlauf zwischen Niederschlagsverlagerung und Temperaturerhöhung.

⁷ Kontinente erwärmen sich schneller als ozeanische Gebiete.



Dabei darf nicht vergessen werden, dass die langfristigen Klimawandel-Trends in allen Phasen des Winters von den starken saisonalen Witterungsschwankungen aufgrund der Schwächung des Jetstreams überlagert werden. In Abb. 3 ist dies exemplarisch für die Januartemperaturen im bayerischen Alpen- und Voralpengebiet dargestellt. Die Graphik zeigt den Verlauf der Januartemperaturen für die Zeitperiode 2021–2050; im Vergleich zur historischen Periode 1971–2000. Die

mittlere Januartemperatur scheint sich zwischen den zwei 30-Jahres Zeitscheiben nicht wesentlich zu unterscheiden im Vergleich mit der Variabilität von Jahr zu Jahr. Es fällt aber auf, dass die projektierte Variabilität (jeweils gemittelt über den ganzen Monat Januar) in der Periode 2021–2050 deutlich grösser ist als noch 50 Jahre vorher. Es werden auch weiterhin sehr kalte Winter möglich sein, wenn auch mit geringerer Häufigkeit.

Ein ähnliches Bild resultiert auch aus einer detaillierten Studie über die zukünftige Entwicklung der natürlichen Schneedecke im Nationalpark Berchtesgadener Land (Warscher 2015, Warscher et al. 2013). Abb. 4 (S. 24) vergleicht die Verteilung der Jahresmitteltemperaturen der Jahre 1980–2009 mit der projektierten Verteilung für 2020–2049 in diesem Berggebiet. Das Maximum der Häufigkeitsverteilung (gestrichelte Kurven) verschiebt sich über die 40 Jahre zwischen den beiden Perioden um etwa ein Grad Celsius. Die Breite der Verteilung scheint

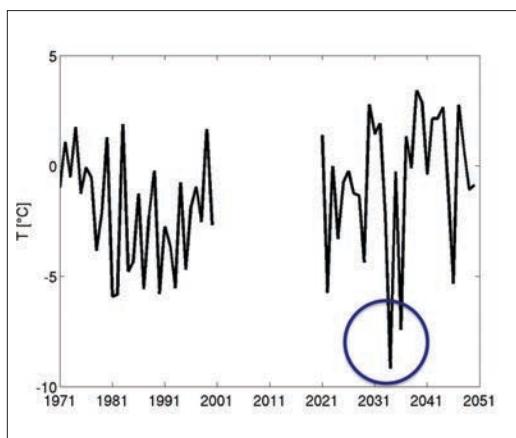
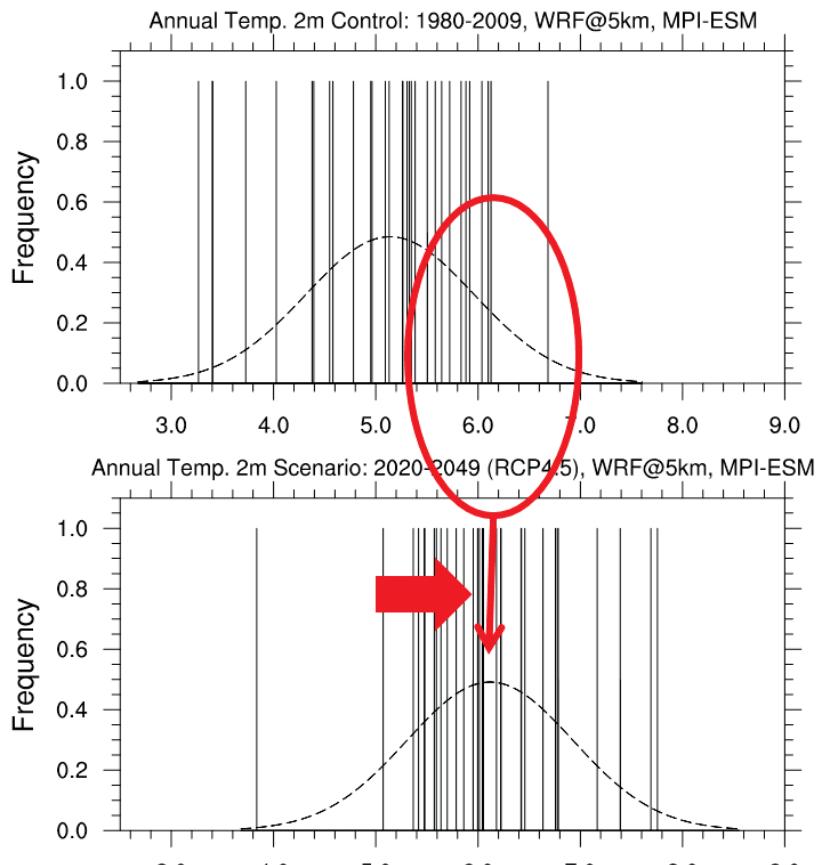


Abb. 2:
Modellierter Niederschlagsjahresgang für das bayerische Alpen- und Voralpengebiet. Gelbe Kurve: projektiert auf die Periode 2021–2050; im Vergleich zur historischen Periode 1971–2000. Roter Kreis: die stärkste Erhöhung wird im Spätwinter und Frühjahr erwartet. (basierend auf Regionalmodell WRF, 7 km Gitterabstand, globaler Hintergrund gerechnet mit ECHAM5; IPCC Emissionsszenario A1B).

Abb. 3: (unten)
Modellierter Verlauf d. Jan.-Temperaturen f. d. bayer. Alpen- u. Voralpengebiet f. d. Zeitperiode 2021–2050; im Vgl. z. hist. Per. 1971–2000. Blauer Kreis: aufgrund verstärkter und persistenter Extremwetterungseignisse (s. o.) werden auch weiterhin sehr kalte Winter möglich sein, wenn auch mit geringerer Häufigkeit. (basierend a. Regionalmodell WRF, 7 km Gitterabstand, globaler Hintergrund gerechnet mit ECHAM5; IPCC Emissionsszenario A1B).

Abb. 4:
Modellierte Verteilung der Jahrestemperaturen für das Gebiet des Nationalparks Berchtesgadener Land für die Zeitperiode 2020–2049; im Vergleich zur historischen Periode 1980–2009. Roter Pfeil und Oval: Die außergewöhnlich warmen Jahre der Gegenwart werden die durchschnittlichen Jahre der Zukunft. (basierend auf Regionalmodell WRF, 5 km Gitterabstand, globaler Hintergrund gerechnet mit MPI-ESM; IPCC Emissionsszenario RCP4.5).



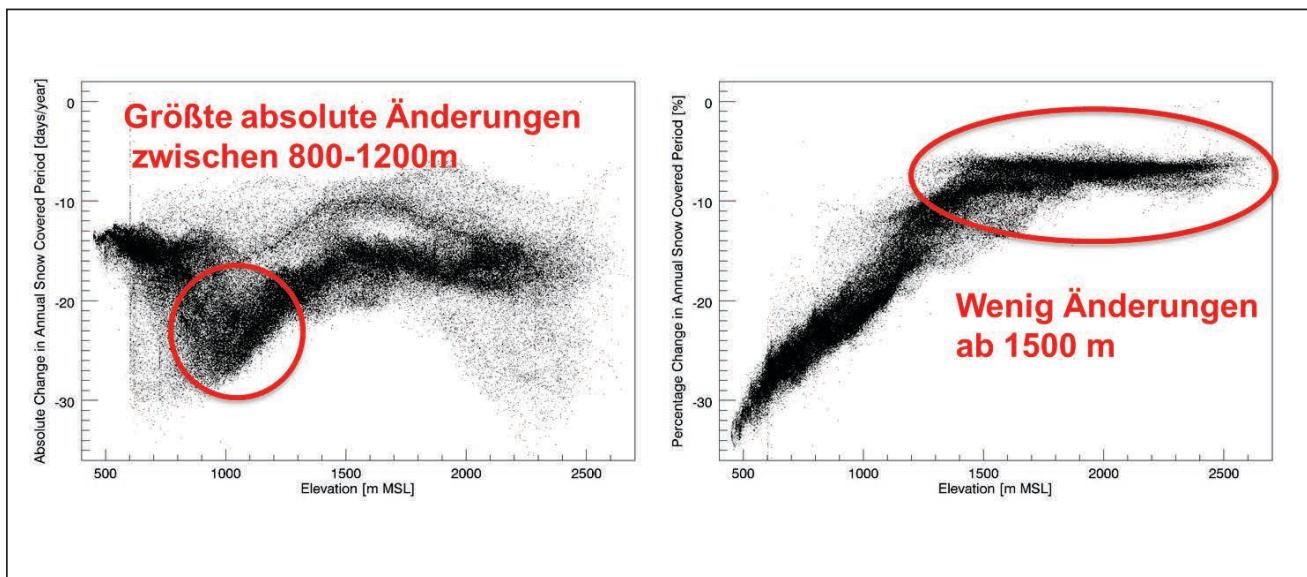
sich nicht stark zu verändern, aber bei nur je 30 Jahren, die in sich dem selben Trend unterworfen sind, wie der Vergleich zwischen den zwei klimatischen Perioden, kann darüber nicht viel ausgesagt werden. Die Modellresultate zeigen aber eindrücklich, dass die Temperaturen der außergewöhnlich warmen Jahre der Gegenwart den durchschnittlichen Jahren der Zukunft entsprechen werden.

Für die selbe Studie (Warscher 2015) zeigt Abb. 5 (S. 25) die Veränderung der natürlichen Schneebedeckungsdauer für jeden Modellgitterpunkt im Nationalpark Berchtesgadener Land in Abhängigkeit zur Höhenlage des jeweiligen Gitterpunktes. Auf der linken Seite ist die absolute Veränderung aufgezeichnet. Alle Werte zeigen eine Verkürzung der Schneebedeckungsperiode an, und nur wenige Punkte zeigen eine Verkürzung von weniger als 10 Tagen. Die größte absolute Verkürzung (rund 15–25 Tage) ist in der Höhenstufe von 800–1200 m ü. M. zu er-

warten. Unterhalb dieser Höhenstufe sind die Schneebedeckungsperioden bereits so kurz, dass sie sich nicht mehr deutlich verkürzen können, aber andererseits wirken sich Omegalagen wie im Februar 2018 oft bis ins Flachland aus. Die rechte Seite von Abb. 5 (S. 25) zeigt dieselben Resultate als relative Werte der Verkürzung im Verhältnis zur Länge der Schneebedeckungsperiode. Es wird deutlich, dass die relative Veränderung ungefähr linear zunimmt bis auf eine Höhenstufe von rund 1500 m ü. M. Oberhalb dieser Höhe sind die projektierten Veränderungen bis zur Mitte des Jahrhunderts gering (unter 10 %) und zeigen keine Höhenabhängigkeit.

Schneesport von morgen?

Bezogen auf den Schneesport vermitteln diese Modellresultate vordergründig eine klare Botschaft. Gebiete mit Höhenla-



gen über 1500 m ü. M. können auch bis über die Mitte des Jahrhunderts hinaus mit einer nur geringfügig verkürzten Periode der natürlichen Schneedeckung rechnen. Dies muss allerdings unter dem Vorbehalt von häufigeren saisonalen Witterungsextremen gesehen werden: auch wenn die Länge der Schneeperiode ungefähr gleich bleibt, muss mit großer Variabilität des Zeitpunktes (Früh-, Hoch-, Spätwinter) der Schneeperiode gerechnet werden.

Für Schneesportgebiete unter 1500 m ü. M. wird eine persistente natürliche Schneedecke zunehmend zum Ausnahmefall. Durch technisches Schneemanagement (Schneefarming und Beschneiung) kann diese Entwicklung wohl teilweise abgefangen oder verzögert werden. Allerdings bringen die häufigeren Witterungsextreme (nicht nur Kälteeinbrüche, sondern auch warm-nasse Perioden) erhebliche Risiken mit sich, ob sich dafür notwendige Investitionen als wirtschaftlich erweisen werden. Der von den Modellen projektierte Trend zu besonders starker Erwärmung im Spätwinter verschärft die Situation in niederen Lagen zusätzlich.

Eingangs wurde darauf hingewiesen, dass die größere Persistenz von Witterungslagen (hoffentlich in Kombination mit Fortschritten in saisonalen Vorhersagen) zu größerer Planungssicherheit führen kann. Dies kann sich durchaus zu einer Chance für den gesamten Wintersport, ob auf

Schnee oder Alternativen dazu, entwickeln. Eines ist aber in jedem Fall klar: Klimawandel verlangt Bereitschaft zu Veränderung in der Wintersportindustrie. Wer morgen Alternativen zum Standard von gestern bereit hält, wird sich die Zukunft sichern.

Die Hoffnung auf einen langen, stabilen und schneereichen Winter stirbt allerdings zuletzt – jedes Jahr von neuem!

Abb. 5: (oben)

Modellierte Veränderung der natürlichen Schneedeckungsperiode im Nationalpark Berchtesgadener Land für die Zeitperiode 2020–2049; im Vergleich zur historischen Periode 1980–2009. Linkes Bild: Absolute Veränderung der Schneeperiode. Die Veränderungen entsprechen für alle Höhenlagen eine Verringerung. Die grösste absolute Verringerung erfahren Lagen zwischen 800–1200 m ü. M. (roter Kreis). Rechtes Bild: Veränderung der Schneeperiode relativ zur Schneeperiode im Kontrollzeitraum. Oberhalb von ca. 1500 m ü. M. ist die Minderung gering und zeigt keine weiteren Höhenabhängigkeiten (rotes Oval). (Gezeigt werden die Werte aller Gitterpunkte in Abhängigkeit ihrer Höhe über Meer; basierend auf Regionalmodell WRF, 5 km Gitterabstand und hydrologischer Verfeinerung auf 50 m, globaler Hintergrund gerechnet mit MPI-ESM; IPCC Emissionsszenario RCP4.5).

Literatur- und Quellenangaben

- H. Kunstmann et al. (2004). Impact analysis of climate change for an Alpine catchment using high resolution dynamic downscaling of ECHAM4 time slices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6), S. 1030–1044
- H. Kunstmann et al. (April 2018). Very High Resolution Regional Climate Simulations for Germany and the Alpine Space: Optimized Model Setup, Performance in High Mountain Areas and Expected Future Climate. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 20, p. 8505)
- M. E. Mann et al. (2017). Influence of anthropogenic climate change on planetary wave resonance and extreme weather events. *Scientific Reports*, 7, 45242
- I. Ott et al. (2013). High-resolution climate change impact analysis on medium-sized river catchments in Germany: an ensemble assessment. *Journal of Hydrometeorology*, 14 (4), S. 1175–1193
- N. Pepin et al. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5 (5), S. 424
- G. Smiatek et al. (2009). Precipitation and temperature statistics in high resolution regional climate models: Evaluation for the European Alps. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114 (D19)
- S. Wagner et al. (2013). High resolution regional climate model simulations for Germany: part II—projected climate changes. *Climate Dynamics*, 40 (1–2), S. 415–427
- M. Warscher (2015). Performance of Complex Snow Cover Descriptions in a Distributed Hydrological Model System and Simulation of Future Snow Cover and Discharge Characteristics: A Case Study for the High Alpine Terrain of the Berchtesgaden Alps. Ph.D. Thesis, University of Augsburg. 162pp. <https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/3283>
- M. Warscher et al. (2013). Performance of complex snow cover descriptions in a distributed hydrological model system: A case study for the high Alpine terrain of the Berchtesgaden Alps. *Water Resources Research*, 49 (5), S. 2619–2637



DSV-Reise-Rücktrittskosten-Versicherung

Ganzjahres-Schutz bei allen Reisen

Exklusiv für DSV aktiv-Mitglieder

**Einmal abschließen – ein ganzes Jahr versichert!
Egal wie oft und wohin Sie reisen. Ab 30,50 € pro Jahr.**

DSV-Reise-Rücktrittskosten-Versicherung als optimaler Ganzjahresschutz. Versichert ist jede während der Vertragslaufzeit gebuchte Reise (außer Geschäftsreisen), bis zum jeweiligen Reisepreis, maximal jedoch bis zur versicherten Summe – und dies zu einem äußerst günstigen Beitrag.
Die DSV-Reise-Rücktrittskosten-Versicherung ist auch möglich bei Partner- und Familienmitgliedschaften.

Weitere Infos und die Möglichkeit zum
Versicherungsabschluss:
Telefon: +49 (0)89 85790-100
E-Mail: DSVaktiv@ski-online.de
Internet: www.ski-online.de



Klima und Schnee in Österreich

Beobachtete Vergangenheit und erwartete Zukunft

Themenbereich: Skisport und Umwelt

Marc Olefs, Roland Koch, Andreas Gobiet

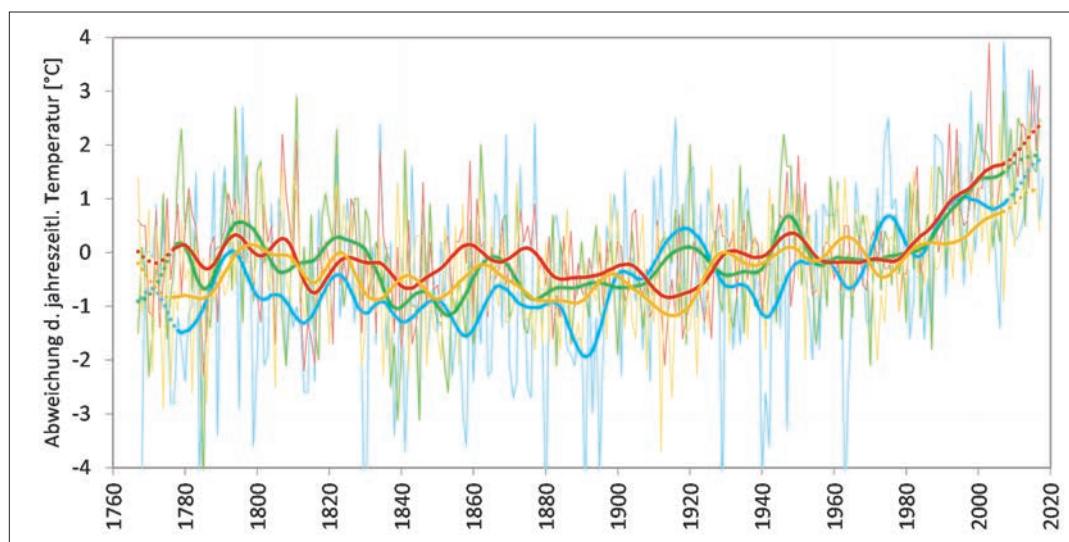
Zusammenfassung: Die beobachtete vergangene Schneedeckenentwicklung in Österreich zeigt seit 1961 insbesondere an Stationen im Westen des Landes und südlich des Alpenhauptkamms einen markanten, signifikant negativen Langzeittrend der Schneehöhe (-30 % bis -90 % bzw. -60% oberhalb 1000 m Seehöhe) und Schneedeckendauer (0 bis -70%; bzw. -25% > 1000 m Seehöhe)), der von starken kurz- (Jahr-zu-Jahr) bis mittelfristigen (bis zu ca. 20 Jahren) natürlichen Schwankungen überlagert wird, die es auch in Zukunft geben wird. Die Trends sind besonders bei der Schneedeckendauer stark von der Seehöhe abhängig. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird der Skibetrieb oberhalb ca. 1500 m Seehöhe in ähnlicher Form wie heute höchstwahrscheinlich weiterhin möglich sein, darunter wird der Aufwand für die technische Schneeproduktion allerdings weiter steigen. Für das Ende des Jahrhunderts entscheidet unser heutiges Handeln, wie stark die Skisaison selbst bis in Lagen oberhalb von 2000 m Seehöhe verkürzt sein wird.

Abstract: Past observations of the long-term snow cover development in Austria show a significant reduction in the depth of snow since 1961. This can be seen particularly at stations in the west of the country and south of the main ridge, with snow depths of -30% to -90% or -60% over 1000m above sea level and the snow cover duration in these areas, (0 to -70% or -25% > 1000m above sea level). This is superimposed with strong natural fluctuations over the short-term, (year to year), and medium-term, (up to about 20 years), which will continue to exist in the future. The trends, especially those concerning the snow cover duration, are highly dependent on altitude. By the middle of the century skiing activities over 1500 m above sea level will continue to be possible in a similar form to today, below this altitudinal limit the cost of technical snow production will continue to rise. As for the end of the century; today's climate actions decide how strong the skiing season will be shortened even above altitudes of 2000 m a.s.l.

Globale Erwärmung und Klimawandel in Österreich

Seit Ende des 19. Jahrhunderts ist die Lufttemperatur in Österreich und im Alpenraum um 2 Grad angestiegen, d.h. etwa doppelt so stark wie im globalen Mittel (APCC 2014). Hauptursache dafür ist, dass sich die Luft über Landflächen generell rascher erwärmt als über den thermisch trügeren Ozeanen. Mehr als die Hälfte der globalen Erwärmung seit 1950 ist hierbei auf den Einfluss der steigenden anthropogenen Treibhausgasemissionen zurückzuführen (IPCC 2014). Innerhalb Österreichs verliefen die Langzeitvaria-

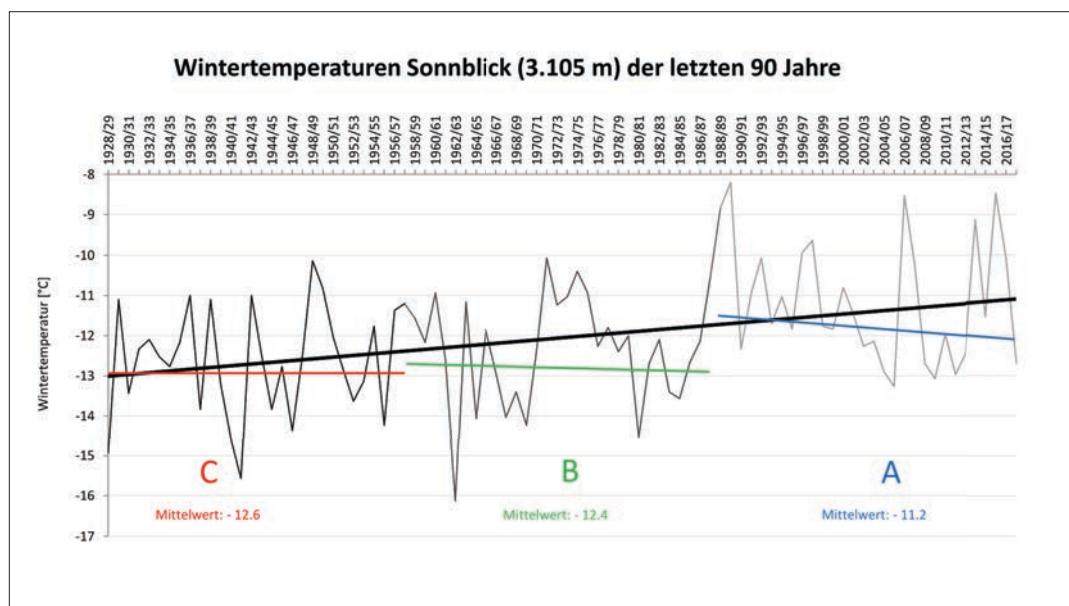
tionen des Temperaturverlaufs in großer räumlicher Übereinstimmung. Nennenswerte Unterschiede in der Temperaturentwicklung gab es weder in der Horizontalen noch in der Vertikalen: Auf dem Sonnblick in 3100 m Seehöhe z.B. hat sich die Atmosphäre seit dem Ende des 19. Jahrhunderts ebenso um etwa 2 °C erwärmt wie in Wien (Auer et al., 2007). Saisonal betrachtet ist diese Erwärmung im Sommer am stärksten, dicht gefolgt vom Frühjahr. Die Wintertemperaturen haben nach einer kurzen Abkühlungsphase zwischen 1995 und 2005 wieder deutlich zugenommen, im Herbst ist die Erwärmung von allen vier Jahreszeiten am schwächsten



(Abb. 1). Die hochalpinen Wintertemperaturen der Ostalpen nördlich des Alpenhauptkamms haben langfristig gesehen statistisch hochsignifikant zugenommen (z.B. +1.9 bis +2.4 °C an den Stationen Zugspitze, Sonnblick, Säntis, Obergurgl, Patscherkofel, Schmittenhöhe innerhalb

Abkühlung zeigen (A, B und C in Abb. 2). Dies bedeutet gleichzeitig, dass für diese kürzeren Zeiträume, in denen natürliche Klimaschwankungen dominieren, seriöse Vorhersagen für die Zukunft derzeit noch nicht möglich sind, ganz im Gegenteil zum langfristigen Erwärmungstrend.

Abb. 1:
Entwicklung
der mittleren
Winter- (blau),
Frühlings- (grün),
Sommer- (rot) und
Herbsttemperatur
(gelb) in Österreich
1767–2018. Dargestellt sind jährliche
Abweichungen
vom Mittel der
Jahre 1961–1990
(dünne Linien)
und deren geglättete Trends (dicke
Linien, 21-jähriger
Gauß'scher
Tiefpassfilter) (Auer
u.a. 2007).



der letzten 90 Jahre; Abb. 2). Gleichzeitig sind sie auch geprägt von der stärksten Variabilität aller vier Jahreszeiten (die mittleren Wintertemperaturen können von Jahr zu Jahr um bis zu 7 °C schwanken): die langfristige Erwärmung ist überlagert von kurz- bis mittelfristigen natürlichen Schwankungen des Klimas (Jahr-zu-Jahr bis zu ca. 20 Jahren) (Gobiet et al. 2017). Innerhalb dieser Phasen gibt es auch zufällige Perioden, die eine

Abgesehen von der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, die relativ niederschlagsreich ausfiel und der trockensten Phase der Messgeschichte in den 1860er Jahren, gestaltete sich das Niederschlagsklima über ganz Österreich hinweg gesehen, auch saisonal ohne ausgeprägte langfristige Schwankungen (Abb. 3, S. 30). Allerdings zeigen sich in einzelnen Regionen Österreichs unterschiedliche, teilweise sogar gegenläufige Niederschlagstrends, die

Abb. 2:
Wintertemperaturen
der Station Sonnblick
(3105 m) zwischen
1927/28 und
2017/18 (schwarz,
dünne Linie). Linearer Trend über die
gesamte Periode
(fett, schwarz) und
über die 30-jährigen
Teilperioden A,
B und C (farbig),
(Gobiet et al., 2017,
aktualisiert).

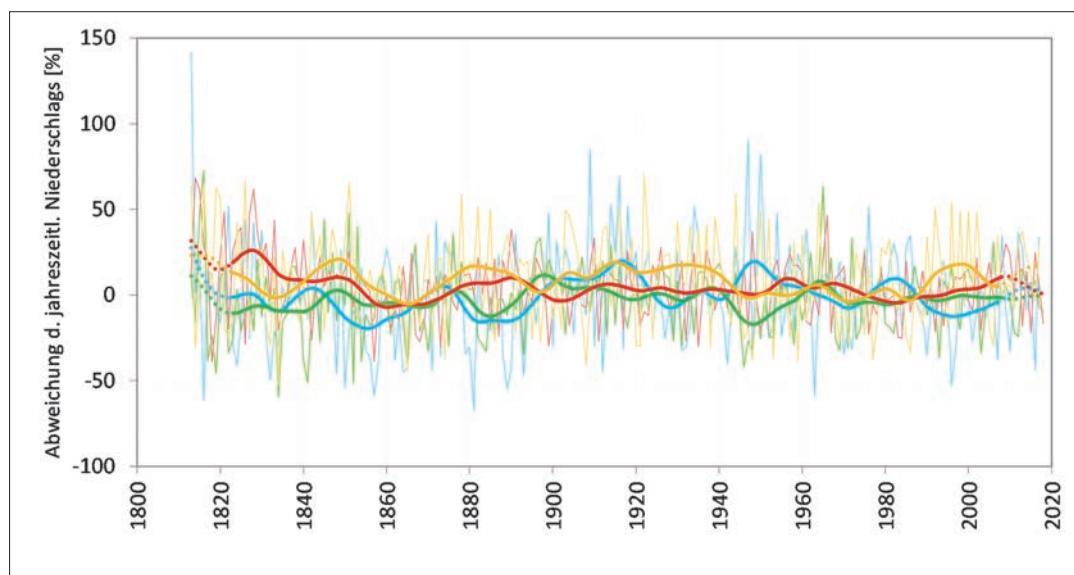
Verfasser

Dr. Marc Olefs
Mag. Roland Koch
Dr. Andreas Gobiet

Zentralanstalt für
Meteorologie und
Geodynamik (ZAMG)

Vollständige
Autorenangaben am
Ende des Artikels

Abb. 3:
Entwicklung
des mittleren
Winter- (blau),
Frühlings- (grün),
Sommer- (rot)
und Herbstnie-
derschlags (gelb)
in Österreich
1813–2018. Darge-
stellt sind jährliche
Abweichungen
vom Mittel der
Jahre 1961–1990
(dünne Linien)
und deren geglä-
tete Trends (dicke
Linien, 21-jähri-
ger Gauß'scher
Tiefpassfilter) (Auer
u. a. 2007).



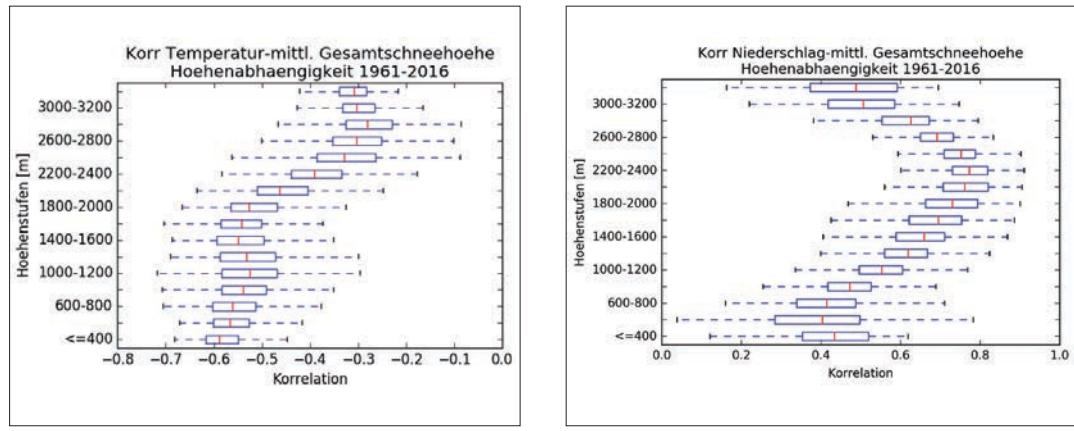
vor allem im Winter zu beobachten sind: In Westösterreich (Vorarlberg, Nordtirol) nahm der Niederschlag über den gesamten Zeitraum seit 1858 betrachtet um ca. 10–15 % zu, während er im Südosten Österreichs (Unterkärnten, West- und Oststeiermark, Südburgenland) über die letzten 200 Jahre hinweg abnahm.

Temperatur und Niederschlag als Hauptantriebe

Die Lufttemperatur und der Niederschlag sind vereinfacht gesagt die beiden meteorologischen Hauptverantwortlichen, wenn es um die atmosphärische Beeinflussung des Schnees geht. So führen steigende Temperaturen dazu, dass mehr Niederschlag als Regen anstatt Schnee fällt und dass bereits liegender Schnee schneller schmilzt. Abbildung 4 zeigt die Stärke des Zusammenhangs zwischen Schnee-

höhe und Lufttemperatur (links) sowie Schneehöhe und Niederschlag (rechts) in verschiedenen Höhenstufen basierend auf gegitterten Beobachtungsdaten der Vergangenheit. „0“ bedeutet: kein Zusammenhang. „1“ bzw. „-1“ bedeuten: sehr starker Zusammenhang. Man sieht, dass der Einfluss der Temperatur auf die mittlere Schneehöhe bis in Höhen von etwa 2.000 m mehr oder weniger konstant bleibt (Korrelationskoeffizient -0.5 bis -0.6) und darüber deutlich abnimmt. Andererseits ist der Einfluss des Niederschlags bereits ab ca. 1300 m größer als der der Temperatur (Korrelationskoeffizient 0.6). Für die Vergangenheit lässt sich also sagen: Schnee in Höhenlagen unter etwa 2000 m reagiert relativ empfindlich auf höhere Temperaturen, über etwa 1300 m kann das aber durch zusätzlichen Niederschlag (falls vorhanden) wettgemacht werden. Oberhalb von 2000 m spielt die Temperatur eine untergeordnete Rolle.

Abb. 4:
Korrelationsko-
effizient zwischen
mittlerer Gesamt-
schneehöhe (Nov.
bis Apr.) und
Temperatur (links)
bzw. Niederschlags-
summe (rechts) in
Österreich für den
Zeitraum 1961/62
bis 2016/17 nach
Höhenstufen.

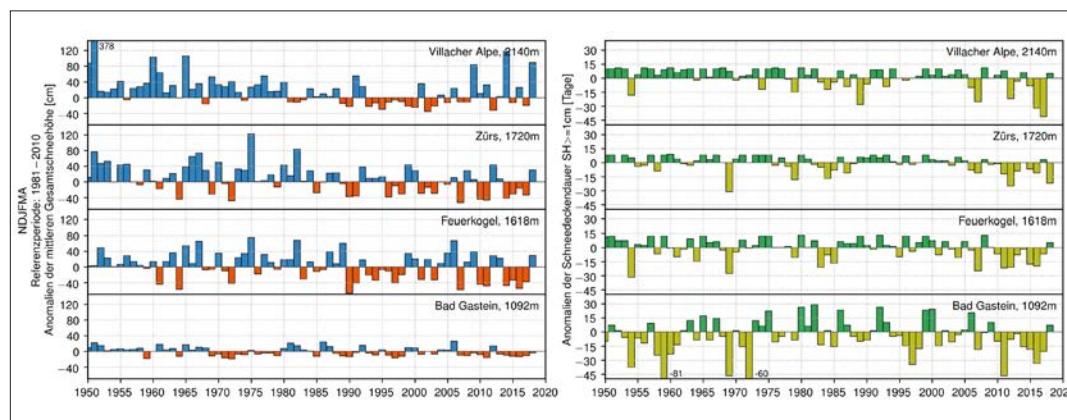


Vergangene Entwicklung des Schnees in Österreich

Die winterliche Schneedecke weist im allgemeinen große natürliche Schwankungen auf und reagiert innerhalb unterschiedlicher Höhenlagen und Regionen sensibel auf Klimaänderungen. Gebietsdifferenzierte Analysen haben verdeutlicht, dass die winterliche Schneedecke eine hohe zeitliche (Jahr zu Jahr) und räumliche (nördlich und südlich des Alpenhauptkammes, Alpenvorland, Flachland, West-Ost-Gefälle) Variabilität aufweist. Diese hohen Schwankungen der Schneedecke in Raum und Zeit überdecken das langfristige Klimasignal und können somit Aussagen betreffend der Klimaänderung erschweren.

Basierend auf den Ergebnissen des ACRP Projekts SNOWPAT (Schöner et al. 2018) und weiteren Arbeiten an der ZAMG wei-

sazionalen Schneehöhe betrifft alle Höhenlagen und die meisten Regionen in Österreich. Im Vergleich dazu war der letzte Winter 2017/18 wieder gekennzeichnet durch überdurchschnittliche Schneehöhen in Regionen oberhalb von 1500 m Seehöhe. Im Gegensatz zur Schneehöhe war die Schneedeckendauer (Anzahl der Tage mit einer mittleren Gesamtschneehöhe von größer gleich 1 cm) zwischen 1983 und 1991 meist unterdurchschnittlich (Abbildung 5, rechts). Speziell die Wintersaisonen 1988 bis 1991 waren trocken und warm. Danach haben sich wieder kältere Kernwinter (Dezember bis Februar, DJF) eingestellt. Auffallend ist das gehäufte Auftreten von aufeinander folgend negativen Anomalien in den letzten Jahren. Dies ist in allen Höhenlagen sowie nördlich und südlich des Alpenhauptkammes beobachtbar. Seit ca. Ende der 1980er Jahre gibt es eine Tendenz hin zu häufigeren warm-trockenen und warm-feuchten Wetterla-



sen die Schneedaten in Österreich, neben der markanten Jahr zu Jahr Variabilität, auch eine multi-dekadische Schwankung auf. Dies wird deutlich anhand der in Abbildung 5 dargestellten Anomalien (Abweichungen zum langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1981–2010) bezüglich der Wintersaisonen November bis April (NDJFMA). Zwischen 1961 und Mitte der 1980er Jahre waren die Winter durchwegs kalt und von einer meist überdurchschnittlichen Schneebedeckung geprägt. Ab Mitte/Ende der 1980er Jahre änderte sich dies schlagartig und vermehrt wurden Wintersaisonen mit einer unterdurchschnittlichen Schneehöhe beobachtet (Abbildung 5, links). Dieser Rückgang der

gen im Spätwinter (März, April). In den letzten Jahren hat auch die Temperatur in den Monaten November bis Februar wieder zugenommen (Abb. 1, S. 29).

Abbildung 6 zeigt die Trends von homogenisierten Schneezeitreihen für die Periode 1961 bis 2018. Die Signifikanz bezüglich eines 95 % Konfidenzintervalls wurde mit dem parameterfreien Trendtest nach Mann-Kendall abgeschätzt (Mann 1945, Kendall 1975). Im allgemeinen zeigen alle Zeitreihen eine Tendenz hin zu niedrigeren Werten. Trends in der mittleren Gesamtschneehöhe (Abb. 6, links, S. 32) sind vor allem im Westen und südlich des Alpenhauptkammes sig-

Abb. 5:
Anomalien der saisonalen (1. November bis 30. April) mittleren Gesamtschneehöhe (links) und Schneedeckendauer (rechts) für die Stationen Villacher Alpe (2140 m), Zürs (1720 m), Feuerkogel (1618 m) und Bad Gastein (1092 m) für die Wintersaisonen 1949/50 bis 2017/18. Die saisonale Schneedeckendauer ist definiert als die Anzahl der Tage mit einer täglichen mittleren Gesamtschneehöhe von größer gleich 1 cm innerhalb der Wintersaison.

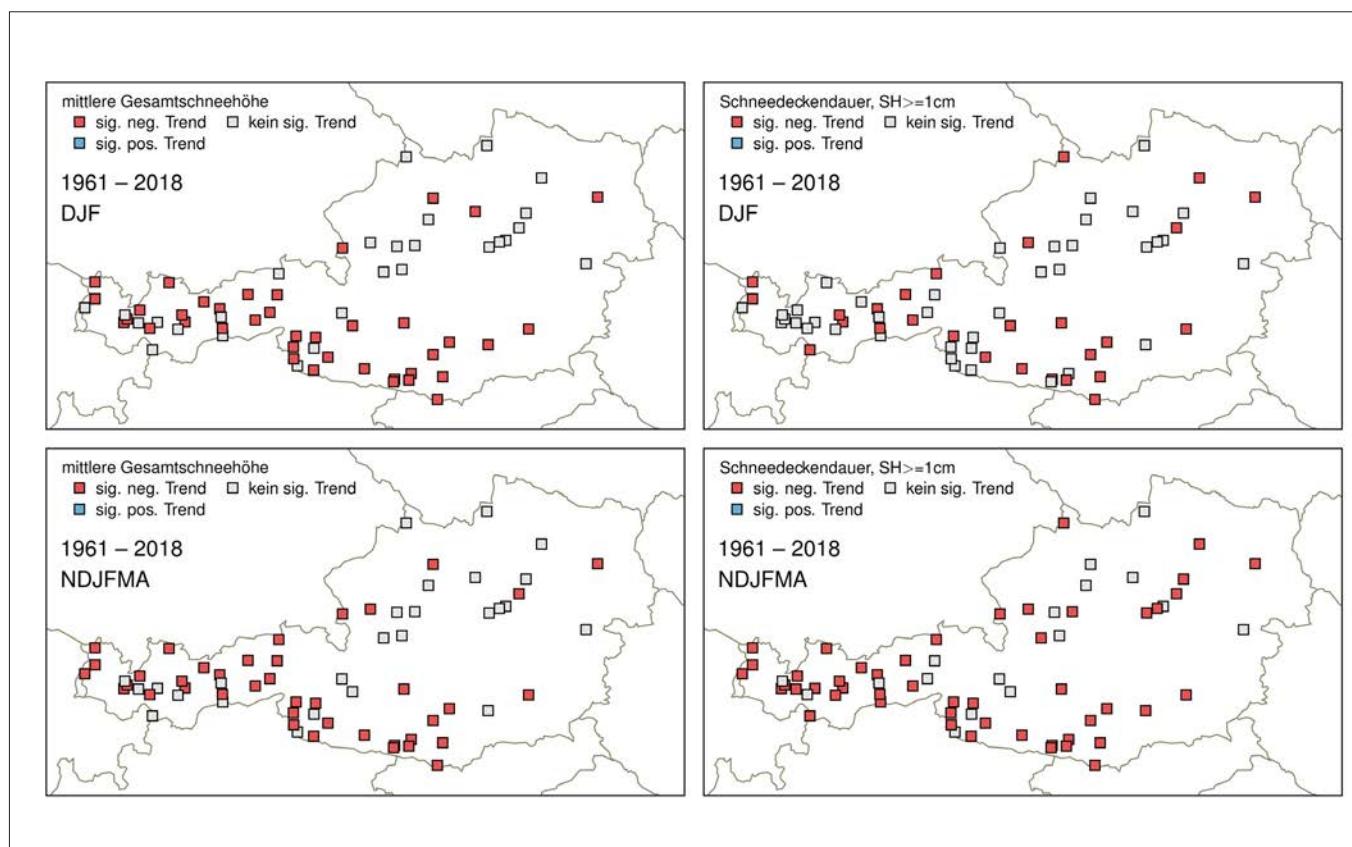
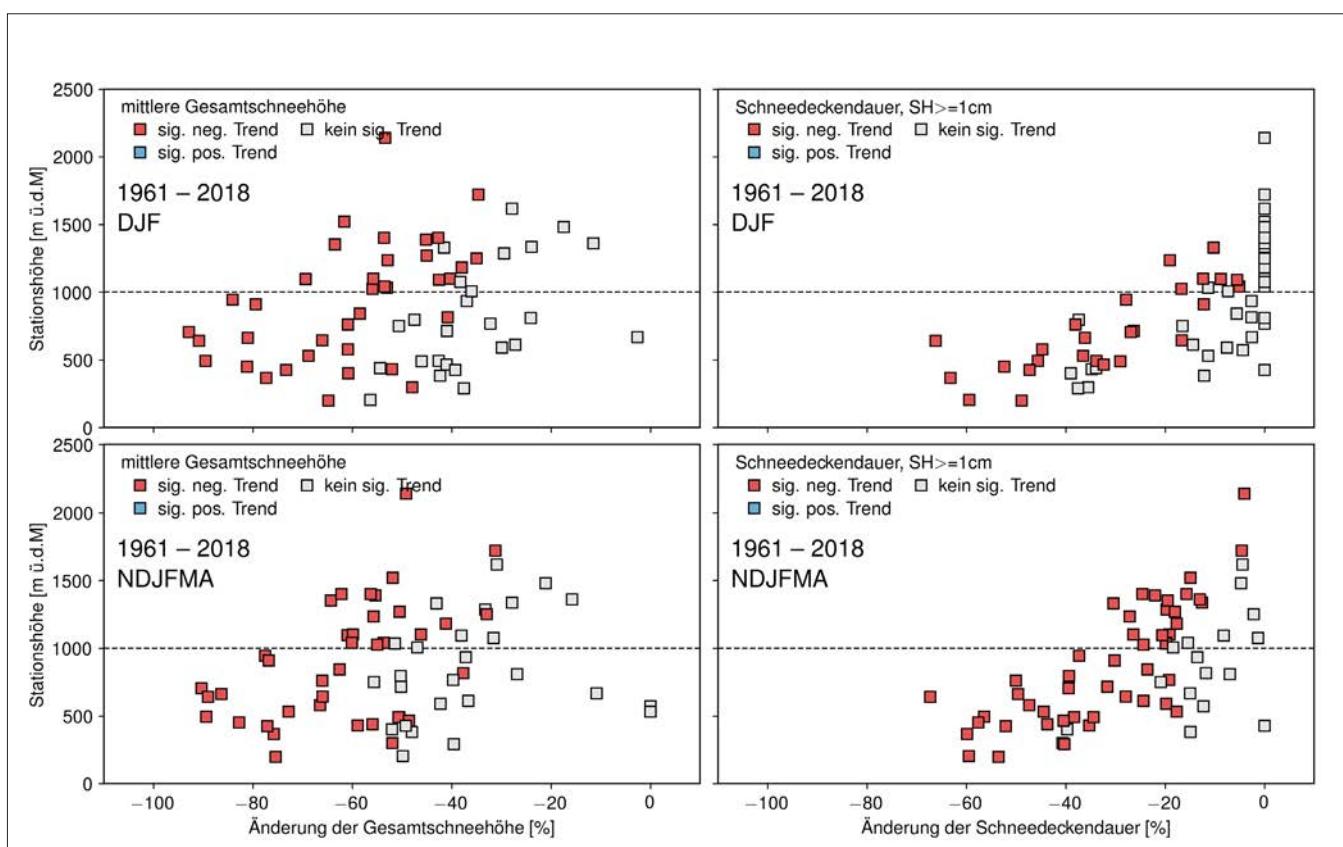


Abb. 6:
Trendanalyse nach
Mann-Kendall
(Signifikanzniveau = 0,05) der
saisonalen mittleren
Gesamtschneehöhe (links)
und der saisonalen Schneedeckendauer (rechts)
für die Wintersaisonen Dezember
bis Februar (oben) und November bis
April (unten). Der Test umfasst die
Wintersaisonen von 1961 bis 2018. Rot
(Blau) entspricht
signifikant negativ
(positiv) bezüglich
eines 95 % Konfidenzintervalls und
Grau kennzeichnet
keinen signifikanten
Trend.

nifikant negativ. Im Gegensatz dazu sind Trends in den Flachlandregionen im Norden und Nordosten meist nicht signifikant. Der Grund dafür ist, dass in diesen Regionen Schneefallereignisse seltener sind und im allgemeinen von sehr kalter Luft aus nördlichen Richtungen begleitet werden. Trends in der Schneedeckendauer (Abb. 6, rechts) sind für die Wintersaison NDJFMA bzw. den Kernwinter DJF an der Mehrheit bzw. nur an der Minderheit der Stationen signifikant negativ. Die Erklärung liefert Abbildung 7 (rechts): die Abhängigkeit der Trendstärke mit der Seehöhe zeigt, dass Veränderungen in der Schneedeckendauer im Kernwinter oberhalb von 1000 m bis 1500 m Seehöhe meist nicht signifikant und praktisch gleich 0 sind, unabhängig von der Region. Wird die Wintersaison von November bis April betrachtet, so kann auch in diesen Höhenlagen vermehrt eine signifikante Abnahme beobachtet werden. Ein Grund dafür ist die Temperaturerhöhung vor allem im Spätwinter/Frühjahr (Abb. 1, S. 29), die auch in größeren Höhenlagen zu einer verfrühten Schneeschmelze führt. Die größten Veränderungen in der Schneedeckendauer treten in den tem-

peratursensitiven Lagen zwischen 500 m und 1000 m auf (Abb. 7, rechts), unabhängig von der betrachteten Wintersaison. Die Bandbreite der relativen Änderungen der Schneedeckendauer für den Gesamtzeitraum 1961 bis 2018 liegt zwischen 0 und -70 %, wobei die maximalen Abnahmen oberhalb 1000 m Seehöhe bei -20 % (Kernwinter) bzw. -30 % (ganze Wintersaison) liegen. Die signifikanten Änderungen bei der mittleren Gesamtschneehöhe liegen im Bereich von -30% bis -90% über den Gesamtzeitraum, auch hier gibt es eine deutliche Abhängigkeit mit der Seehöhe, wenn auch nicht so deutlich wie bei der Schneedeckendauer: die Abnahmen oberhalb 1000 m Seehöhe sind auf ca. -60 % begrenzt. Abnahmen größer als 80 % werden nur an Stationen südlich des Alpenhauptkamms beobachtet. Hier spiegelt sich neben der langfristigen Erwärmung auch eine Reduktion der Intensität und/oder Häufigkeit von Südwest-Wetterlagen im Zeitraum von ca. Ende der 1980er Jahre bis 2003 wieder.

Grundsätzlich hängt die Schneedeckung im Winterhalbjahr auch stark von



der Lage und Ausprägung der großräumigen Wetterlagen ab. In den letzten ca. 60 Jahren hat es die größten Veränderungen in den 1980er und in den letzten Jahren gegeben. Diese markanten Veränderungen sind auch hauptverantwortlich für die meist negative Richtung der beobachteten Trends. Seit den 1980er Jahren hat die Temperatur im Spätwinter deutlich zugenommen, in abgeschwächter Form auch in der Vorwintersaison (Abb. 1, S. 29). Im Gegensatz dazu weist die Niederschlagssumme im Winterhalbjahr keine wesentliche langfristige Veränderung auf (Abb. 3, S. 30). Viel mehr wechseln sich niederschlagsreiche und trockene Perioden ab. Auch ist in der Häufigkeit von Starkniederschlägen kein eindeutiger Trend erkennbar.

Zur Aufrechterhaltung des Skibetriebes im Winter spielt die technische Schneeproduktion eine wesentliche Rolle. Modellsimulationen mit dem Schneedeckenmodell SNOWGRID (Olefs et al. 2013, 2017) haben ergeben, dass mit Hilfe der technischen Schneeproduktion die Dauer der Skisaison (Anzahl der Tage, an denen ein Skibetrieb möglich ist) entscheidend

verlängert werden kann. Hierbei wurde für einen Punkt in den Ostalpen nördlich des Alpenhauptkammes die Schneebedeckung mit und ohne technische Schneeproduktion modelliert. Anhand von Abbildung 8 wird der positive Einfluss der technischen Beschneiung und ihre Bedeutsamkeit in der Vergangenheit deutlich. Vor allem in den schneearmen Wintersaisonen wird die Dauer der Skisaison deutlich erhöht. Zwei interessante Schlüsse lassen sich aus den beiden Kurven ebenfalls ableiten: (1) Die langfristige Tendenz hin zu niedrigeren Werten bleibt trotz technisch erzeugtem Schnee erhalten, (2) aufgrund der starken natürlichen Variabilität der Schneedecke wäre die technische Schneerzeugung in der Vergangenheit zur kontinuierlichen Sicherung des Skibetriebs auch ohne den langfristigen Effekt des Klimawandels notwendig gewesen.

Ein Blick in die Zukunft

Im Rahmen des Projektes ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich – (Chimani et al. 2016) wurden gegitterte Klimadaten-

Abb. 7: Prozentuelle Änderung (abgeleitet a. d. linearen Trends (Theil-Sen Slope)) im Zeitraum 1961–2018 in Abhängigkeit der Seeöhöhe der saisonalen mittleren Gesamtschneehöhe (links) und der saisonalen Schneedeckendauer (rechts) für die Wintersaisonen Dez. bis Feb. (oben) und November bis April (unten). Die Trendspezifität bezüglich eines 95% Konfidenzintervalls wurde nach Mann-Kendall abgeschätzt. Rot (Blau) entspricht signifikant negativ (positiv) und Grau kennzeichnet keinen signifikanten Trend.

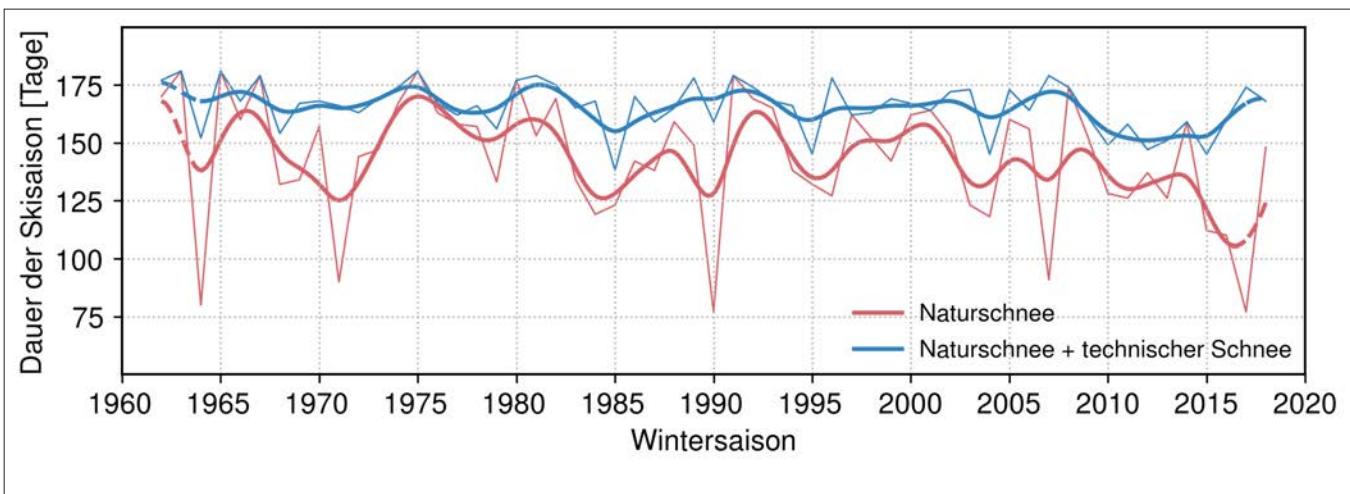
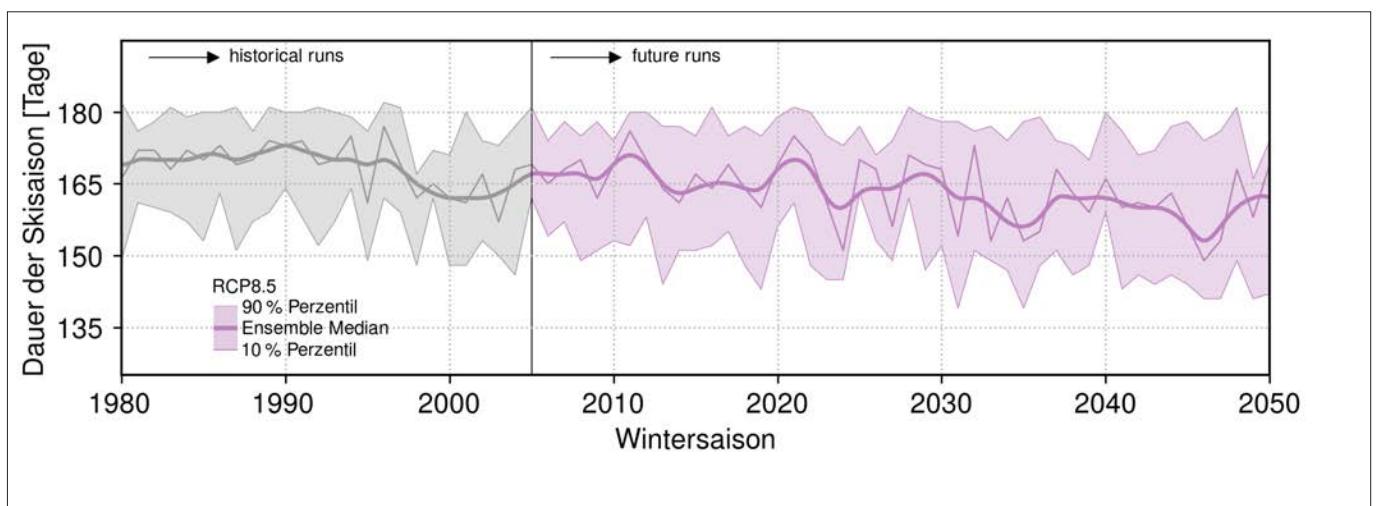


Abb. 8:
Modellierte (Snowgrid) Dauer der Skisaison (innerhalb der Periode 1. November bis 30. April) basierend auf Naturschnee (Rot) und Naturschnee plus technischer Schneeproduktion (Blau) für einen exemplarischen Punkt (1700 m Seehöhe) nördlich des Alpenhauptkamms in den Ostalpen. Die Zeitreihen wurden mit einem Gauß-Tiefpassfilter geglättet (dicke Linien). (Annahme für die historische Berechnung der technischen Schneeproduktion ist die heutige Beschneiungstechnologie).

sätze und Emissionsszenarien für die österreichische Klimaforschung aufbereitet. Das verwendete Ensemble beinhaltet 13 EURO-CORDEX (www.euro-cordex.net) Klimamodelle (Ensemble-Mitglieder) und zwei unterschiedliche Treibhausgasszenarien RCP4.5 („mittleres Klimaschutzszenario“) und RCP8.5 („Weitermachen wie bisher“-Szenario). In dem Emissionsszenario RCP8.5 wird die winterliche Temperatur bis zur Mitte bzw. Ende des 21. Jahrhunderts um weitere 2°C bzw. 4°C im Vergleich zu heute zunehmen. Auch zeigt RCP8.5 eine Tendenz hin zu höheren Niederschlagssummen. Basierend auf RCP8.5 kann davon ausgegangen werden, dass die zu erwartende Temperaturerhöhung nicht nur zu einem späteren Einschneien im Frühwinter führen wird, sondern auch zu einer Verfrühung der Schneeschmelze im Spätwinter. Des Weiteren wird durch die Temperaturzunahme der Anteil des festen Niederschlags geändert werden. Für die technische Schneeproduktion bedeutet die Zunahme in tiefen und mittleren Höhenlagen aber auch gleichzeitig eine Abnahme der Anzahl der möglichen Beschneiungsstunden. Die Wintersaisonen werden somit tendenziell kürzer, wobei die Veränderungen je nach Region und Seehöhe sehr individuell sein können. Abbildung 9 (S. 35) zeigt exemplarisch die mittels Snowgrid modellierte Dauer der Skisaison (Naturschnee plus technische Schneeproduktion), basierend auf den ÖKS15 Eingangsdaten (RCP8.5) bis zum Jahr 2050. Dargestellt ist der Ensemble-Median sowie die 10 % und 90 % Perzentile. Die Perzentile ge-

ben hierbei die Bandbreite (Unsicherheit, Streuung der Ensemble-Mitglieder) der Modellläufe an. Neben der hohen Bandbreite zeigt der Ensemble-Median eine Tendenz hin zu niedrigeren Werten. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch bis zur Mitte des Jahrhunderts der Skibetrieb in höheren Lagen unter ähnlichen Bedingungen wie heute möglich sein wird. In tiefen und mittleren Lagen (unterhalb ca. 1500 m Seehöhe) werden die Anforderungen an die technische Schneeproduktion und die damit verbundenen Kosten allerdings steigen. Für die zweite Hälfte des Jahrhunderts hängt es dann vor allem von unserem heutigen Handeln ab wie stark die Veränderungen des Schnees sein werden. Die Bandbreite bis zum Ende des Jahrhunderts reicht hierbei von ca. -25% bis -45 % Schneefall (RCP 4.5 bzw. 8.5) im Mittel über alle Höhenstufen und den gesamten Alpenraum (Frei et al., 2018). Generell sind Szenarien für die zukünftige Entwicklung der Schneelage vor allem in Höhenlagen sinnvoll, in denen ein direkter Zusammenhang mit der Temperatur besteht (d. h. in tiefen und mittleren Lagen unterhalb von ca. 1500 m Seehöhe), denn die Temperatur gilt als zuverlässigster Parameter der Klimamodelle. Im Hochgebirge ist es im Winter hingegen ohnehin meistens kalt genug für Schneefall. Hier hängt die Schneelage auch in Zukunft mehr vom Niederschlag ab und damit von den Wetterlagen. Zukunftsszenarien von Klimamodellen zeigen tendenziell mehr Niederschlag im Winter, was im Hochgebirge sogar zu mehr Schnee



führen könnte (z. B. Gobiet et al. 2014). Diese Niederschlagsszenarien sind aber mit sehr großen Unsicherheiten behaftet.

Im Rahmen des derzeit laufenden, vom ACRP geförderten Forschungsprojekts FuSE-AT wird die zukünftig erwartete Schneedeckenentwicklung für Österreich auf Basis von ÖKS15 (mit bzw. ohne Klimaschutzmaßnahmen) unter Berücksichtigung der technischen Beschneidung regional umfassend abgeschätzt. Detaillierte Projektergebnisse sind für das Jahr 2020 geplant.

Abb. 9:
ÖKS15 Emissions-szenario RCP8.5:
Modellierte (Snow-grid) Dauer der
Skisaison (innerhalb der Periode 1.
November bis 30.
April) basierend
auf Naturschnee
plus technischer
Schneeproduktion
für einen exemplarischen Punkt
(1700 m Seehöhe)
nördlich des Alpen-hauptkamms in
den Ostalpen. Die
dicke Linie gibt den
Ensemble Median
an (geglättet mit
einem .Gauß-Tiefpassfilter). Die
schattierten Flä-
chen umfassen das
10 % und 90 %
Perzentil. Grau:
historischer Lauf.



Literatur- und Quellenangaben

- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2
- I. Auer et al. (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760–2003. International Journal of Climatology 27, S. 17–46, doi: 10.1002/joc.1377
- Barbara Chimani et al. (2016). Endbericht ÖKS15 – Klimaszenarien Für Österreich – Daten – Methoden – Klimaanalyse. Projektbericht. CCCA Data Centre. <https://data.ccca.ac.at/dataset/a4ec86ca-eeae-4457-b0c7-78eed6b71c05>
- P. Frei et al. (2018): Future snowfall in the Alps: projections based on the EURO-CORDEX regional climate models, The Cryosphere, 12, S. 1–24, <https://doi.org/10.5194/tc-12-1-2018>
- Andreas Gobiet et al. (2014). 21st century climate change in the European Alps-A review. Science of the Total Environment, 493, S. 1138–1151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>
- Andreas Gobiet et al. (2017). Langfristige Entwicklung Hochalpiner Wintertemperaturen. ZAMG-Newsletter (https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_news/2017/gobiet_etal-2017-hochalpinewintertemperaturen/at_download/file)
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- M.G. Kendall (1975). Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London
- H.B. Mann (1945). Non-parametric tests against trend, Econometrica 13:163–171
- Marc Olefs et al. (2013): SNOWGRID – A new operational snow cover model in Austria, Proceedings of the international snow science workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc, 7–11 Oct 2013, France. <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item/1785>
- Marc Olefs et al. (2017). An area-wide snow climatology for Austria since 1961 based on newly available daily precipitation and air temperature grids. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-12249, EGU General Assembly 2017. Wien, Österreich, 23.–28.4.2017. (PDF-Datei; 35 KB)
- Wolfgang Schöner et al. (2018). "Spatiotemporal Patterns of Snow Depth within the Swiss-Austrian Alps for the Past Half Century (1961 to 2012) and Linkages to Climate Change." International Journal of Climatology, October. <https://doi.org/10.1002/joc.5902>

Verfasser

Dr. Marc Olefs

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG),
Abt. Klimaforschung

Hohe Warte 38
A-1190 Wien

Mag. Roland Koch

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG),
Abt. Klimaforschung

Hohe Warte 38
A-1190 Wien

Dr. Andreas Gobiet

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG),
Kundenservice Steiermark

Hohe Warte 38
A-1190 Wien



DSV aktiv 4-Jahreszeiten-Combi



Da DSV aktiv-Mitglieder nicht nur Wintersport treiben, ist die „4-Jahreszeiten-Combi“ das Richtige für Sie – sie garantiert 365 Tage im Jahr die bewährte DSV-Sicherheit.

Unfallversicherung das ganze Jahr auch bei Freizeit-Unfällen, die sich z. B. zu Hause oder bei sportlichen Aktivitäten ohne Übernachtung ereignen.

Werten Sie z. B. Ihr „DSV CLASSIC-Paket“ um eine „4-Jahreszeiten-Combi“ für nur 8,25 Euro pro Jahr auf.

Interesse? Dann schreiben Sie uns eine Mail oder rufen uns am besten gleich an!

**Mehr als eine
Skiversicherung**



+49 (0)89 8 57 90-100



dsvaktiv@ski-online.de



www.facebook.com/DSV360



www.ski-online.de

Das Alpenklima im Wandel

Winterliche Schneefallmengen werden abnehmen, in tiefen Lagen ist fast komplettes Verschwinden der Schneedecke möglich

Themenbereich: Skisport und Umwelt

S. Kotlarski, A. Gobiet, P. Frei, S. Morin, J. Rajczak, S. Scherrer, D. Verfaillie

Zusammenfassung: Das Klima des Alpenraums befindet sich im Wandel. Seit Beginn systematischer Temperaturmessungen Mitte des 19. Jahrhunderts sind die Temperaturen bereits um circa 2°C gestiegen und damit doppelt so stark wie im globalen Mittel. Deutliches Zeichen für diese bereits erfolgte Erwärmung ist der kontinuierliche Rückzug der Alpengletscher. Die natürliche alpine Schneedecke hat sich vor allem seit den 1960er Jahren deutlich reduziert, mit entsprechenden Auswirkungen auf den Wintertourismus. In Zukunft steuern wir auf eine fortgesetzte Erwärmung zu. Je nach Entwicklung der menschlichen Treibhausgasemissionen wird diese Erwärmung mehr oder weniger stark ausfallen. Selbst bei Annahme eines sehr optimistischen Emissions-Szenarios wird die weitere Temperaturerhöhung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mindestens 1°C betragen. Steigen die Emissionen ungebremst weiter, müssen wir uns auf weitere +4°C oder sogar mehr einstellen. Trotz einer projizierten Erhöhung der Winterniederschläge werden die winterlichen Schneefallmengen deutlich abnehmen, und damit auch die natürliche alpine Schneedecke. In tiefen Lagen ist ein fast komplettes Verschwinden der Schneedecke möglich.

Abstract: The climate of the European Alps is changing. Temperatures have risen by about 2°C since the start of systematic measurements in the mid of the 19th Century. This is almost twice as much as the global mean temperature increase. A clear and unequivocal sign of the past Alpine warming is the widespread retreat of mountain glaciers. Natural snow cover has decreased likewise with consequences on winter tourism. In the future, the Alpine climate will continue to warm. The amount of further warming will strongly depend on the future evolution of anthropogenic greenhouse gas emissions. State-of-the-art climate projections indicate a further temperature increase of at least 1°C by the end of the 21st Century, even for the most optimistic emission scenario. In the absence of considerable emission cuts, temperatures in the Alps might even rise by 4°C or more. Winter precipitation is projected to slightly rise, but the temperature effect on snowfall is dominating and total winter snowfall sums will considerably decrease. Among others, this will lead to a strong reduction of natural snow cover in the Alps. Low elevations might lose their snow coverage almost completely by the end of the Century.

Einleitung

Der Alpenraum ist geprägt durch seine hohe geographische und klimatische Vielfalt. Letztere wird gesteuert durch die ausgeprägte Topographie der Region sowie durch den Einfluss unterschiedlicher großräumiger Zirkulationsmechanismen. So finden sich inneralpine Trockentäler mit hohen sommerlichen Temperaturen und jährlichen Niederschlagssummen von wenigen hundert Millimetern in direkter Nachbarschaft zu glazial geprägten, schneereichen Hochgebirgsregionen. Die-

se klimatische Variabilität ist einzigartig. Seit jeher bestimmt sie das Leben und Wirtschaften im Alpenraum. Dies wird auch in Zukunft so sein, und die Abschätzung der Ausprägung des zukünftigen globalen Klimawandels im Alpenraum sowie die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen spielen eine zentrale gesellschaftliche Rolle.

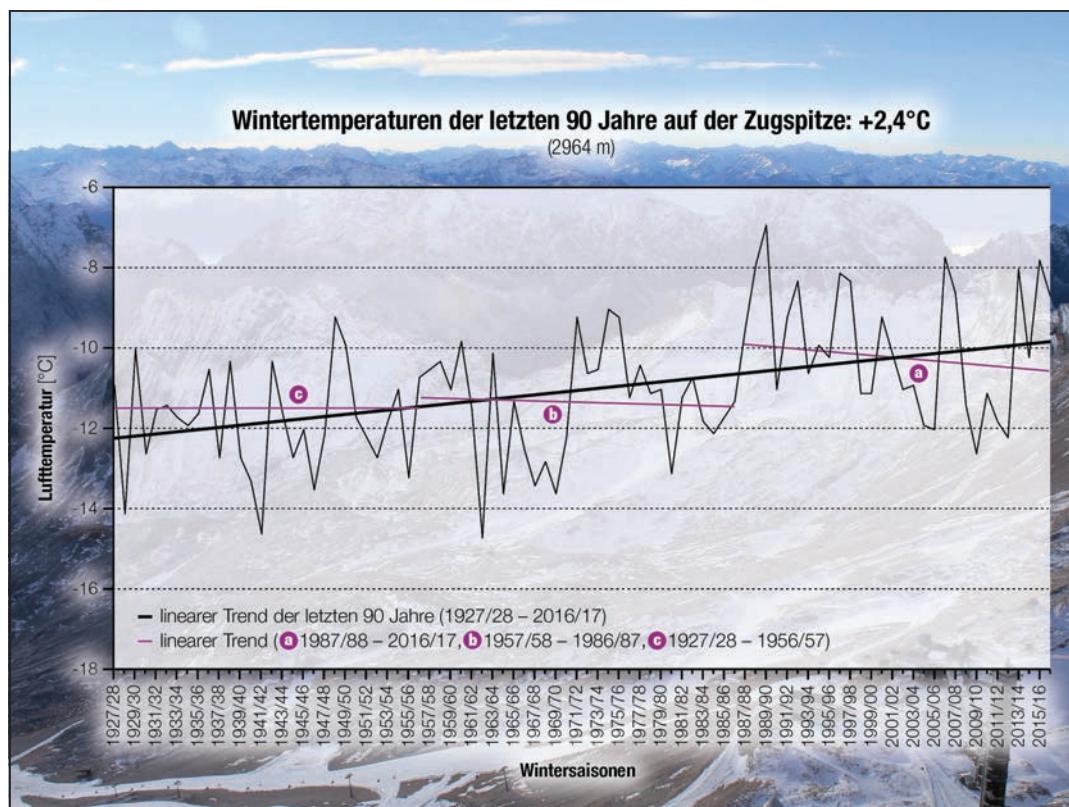
Im vorliegenden Beitrag beleuchten wir die wesentlichen Charakteristiken des bereits beobachteten alpinen Klimawandels und stellen aktuelle Projektionen des Al-

penklimas für das 21. Jahrhundert vor. Es zeigt sich, dass wir mit umfassenden klimatischen Veränderungen zu rechnen haben. Diese werden unter anderem auch einen deutlichen Einfluss auf die natürliche Schneedecke des Alpenraums haben.

Was wurde bisher beobachtet?

Seit dem Beginn systematischer Temperaturmessungen gegen Mitte des 19. Jahrhunderts hat sich die global gemittelte bodennahe Lufttemperatur um fast 1°C erhöht (IPCC 2013). Besonders seit 1950 ist der grösste Teil dieses Tempe-

(Auer et al. 2007), also um etwa das Doppelte, verglichen mit dem globalen Mittelwert. Gründe für diesen stärkeren Temperaturanstieg im Alpenraum sind unter anderem die kontinentale Lage des Alpenraums (d.h. die Entfernung zu sich langsamer erwärmenden Ozean-Oberflächen), die relative Nähe zu den sich ebenfalls stärker erwärmenden Polarregionen sowie mögliche regionale Rückkopplungseffekte (z.B. über einen Rückgang der alpinen Schneedecke, siehe unten). Abbildung 1 zeigt hierzu beispielhaft die Entwicklung der mittleren winterlichen Temperaturen an der Zugspitze seit Ende der 1920er Jahre. Im betrachteten Zeitraum sind die Wintertemperaturen hier



raturanstiegs durch den anthropogenen Treibhauseffekt, also durch die Zunahme atmosphärischer Treibhausgaskonzentrationen infolge menschlichen Handelns bedingt. Natürliche Faktoren allein können den beobachteten Anstieg nicht erklären (IPCC 2013).

Auch der Alpenraum ist von dieser Erwärmung betroffen. Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts sind die Temperaturen in den Alpen um circa 2°C gestiegen

um 2.4°C gestiegen. Dieser generelle und langfristige Trend wurde durch kürzer skalige natürliche Variationen überlagert, so dass einzelne Teilzeiträume auch leichte Abkühlungen auswiesen. Deutliche und gut dokumentierte Folge dieser beobachteten Erwärmung ist der Rückzug der Alpengletscher (für Österreich zum Beispiel dokumentiert im jährlichen Gletscherbericht des Alpenvereins: <https://www.alpenverein.at/portal/service/presse/2018/gletscherbericht.php>

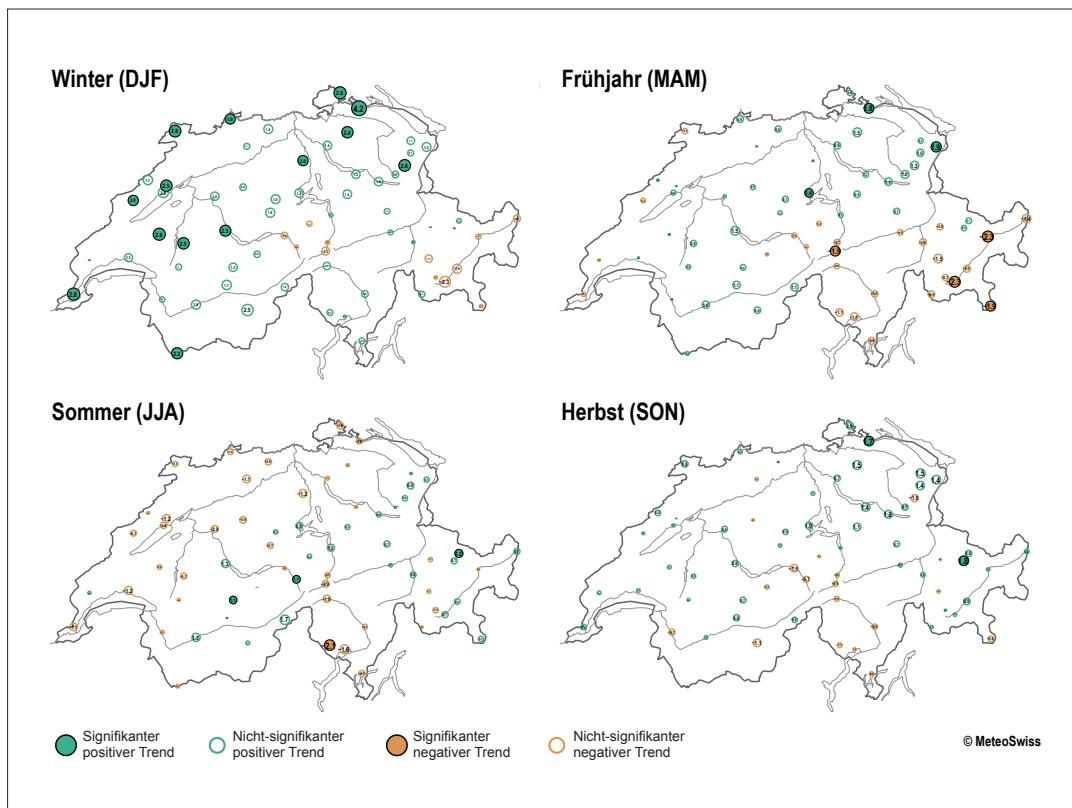
Abb. 1:
Beobachtete
Entwicklung der
Wintertemperaturen
auf der Zugspitze
(2964 m) seit 1927.
Quelle: Deutscher
Wetterdienst, Foto:
www.foto-webcam.eu,
Datenaufbereitung: ZAMG/
Riegler.

Verfasser

Dr. Sven Kotlarski
Dr. Andreas Gobiet
Prisco Frei
Dr. Samuel Morin
Dr. Jan Rajczak
Dr. Simon Scherrer
Dr. Deborah Verfaillie

Vollständige
Autorenangaben am
Ende des Artikels

Abb. 2:
Beobachtete Trends (1901–2017) der jahreszeitlichen Niederschlagssumme an Schweizer Messstationen (%/Dekade). Positive Trends sind in türkis, negative Trends in orange dargestellt. Signifikante Trends (5% Irrtums-Wahrscheinlichkeit) sind durch gefüllte Symbole gekennzeichnet. Die Grösse der Symbole zeigt qualitativ die Grösse der abgeleiteten Trends (Zahlen in den Symbolen) an. Quelle: MeteoSchweiz.

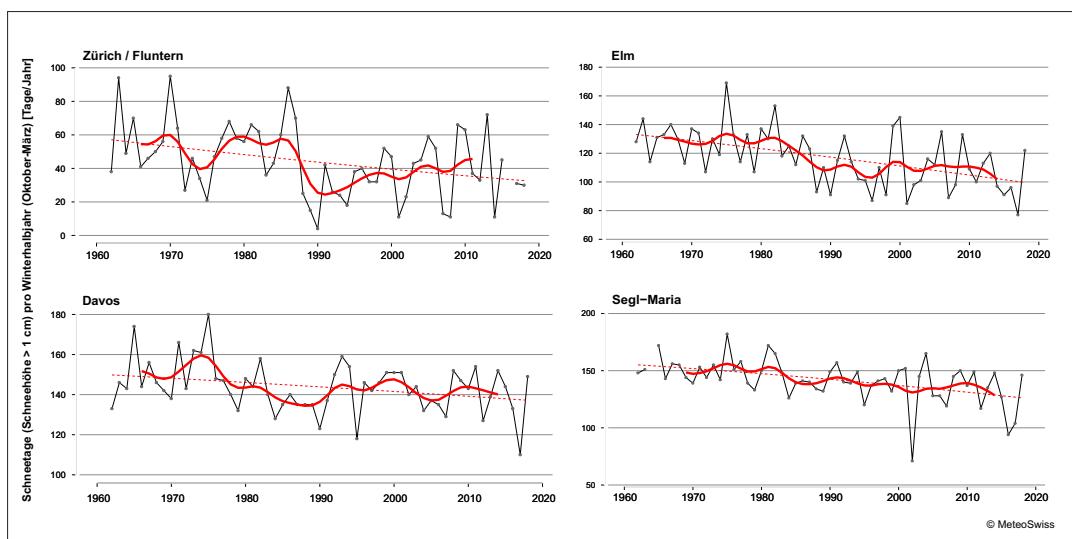


Im Gegensatz zur Temperatur weisen beobachtete Trends des Niederschlags eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität auf und sind in vielen Fällen nicht signifikant. Abbildung 2 zeigt dies exemplarisch anhand der saisonalen Niederschlags-Trends seit 1901 im Messnetz des Schweizer Wetter- und Klimadienstes MeteoSchweiz. Deutliche und signifikante Niederschlags-Zunahmen waren lediglich in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) nördlich des Alpenbogens zu beobachten. Im Frühjahr kam es zu leichten Abnahmen in den süd-östlichen

Regionen. Für die übrigen Jahreszeiten und Regionen lassen sich hingegen keine systematischen und signifikanten Änderungen ableiten. Zudem sind die abgeleiteten Trends generell stark abhängig vom jeweils gewählten Analysezeitraum, was auf einen deutlichen Einfluss natürlicher klimatischer Variabilität (zum Beispiel bedingt durch Variabilitäten in den grossräumigen Zirkulationsmustern) hindeutet.

Trotz der leichten Zunahme der winterlichen Niederschlagsmengen in einigen Regionen

Abb. 3:
Beobachtete Entwicklung der winterlichen Anzahl an Schneetagen (Schneedecke > 1cm) an vier Schweizer Messstationen. Schwarz: Jährliche Häufigkeiten. Rot durchgezogen: 11-jähriger Gauss-Tiefpassfilter. Rot gestrichelt: Linearer Trend. Quelle: MeteoSchweiz.



der Alpen weist die Entwicklung der natürlichen Schneedecke im Alpenraum vor allem seit Mitte des 20. Jahrhunderts einen deutlichen negativen Trend auf, der zum Teil durch starke dekadische Variabilitäten überlagert wird (Scherrer et al. 2013). Der negative Trend ist in erster Linie durch die beobachtete Erwärmung hervorgerufen: Bei höheren Temperaturen fällt Niederschlag zu Beginn und am Ende des Winter sowie in tiefen bis mittelhoch gelegenen Regionen vermehrt als Regen denn als Schnee. Zudem beschleunigen höhere Temperaturen die Schneeschmelze im Frühjahr. Abbildung 3 (S. 40) zeigt hierzu die Entwicklung der Anzahl winterlicher Schneetage mit einer natürlichen Schneedeckenmächtigkeit von mehr als 1 cm seit Mitte des 20. Jahrhunderts an vier Schweizer Messstationen. Von diesen befindet sich eine Station (Zürich/Fluntern) im tiefelegenen Alpenvorland, eine weitere in mittelhoher Lage (Elm) sowie zwei Stationen auf hochgelegenen alpinen Talböden (Davos, Segl-Maria). Während die absolute Anzahl an Schneetagen mit zunehmender Meereshöhe deutlich steigt (Zürich/Fluntern -> Elm -> Davos und Segl-Maria) weisen alle vier Stationen einen deutlichen negativen Trend auf, der jedoch wiederum durch kurzzeitige Variabilitäten überlagert ist. Letztere haben auch in den vergangenen Jahren immer wieder zu relativ schneereichen Wintern geführt.

Was bringt die Zukunft?

Die im vorherigen Kapitel umrissenen klimatischen Änderungen im Alpenraum waren zum Teil mit deutlichen Einflüssen auf klimaabhängige Sektoren verbunden. Neben dem Rückzug der alpinen Gebirgs- gletscher und seinen Konsequenzen für Naturgefahren und Wasserkraft gilt dies auch für den Wintertourismus. Dieser hatte sich in vielen Regionen an eine reduzierte natürliche Schneedecke anzupassen und wird dies auch in Zukunft tun müssen. Hierfür sind Abschätzungen des zukünftigen Klimawandels im Alpenraum und seines Einflusses auf die natürliche Schneedecke notwendig. Grundlage solcher Abschätzungen sind Klimaprojektionen, die unter Annahme eines bestimmten Treibhausgas-Emissionsszenarios und mit Hilfe globaler und regionaler Klimamodelle das Klima der Alpen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus beschreiben.

Wir geben im Folgenden einen kurzen Überblick des derzeitigen Wissensstandes zum zukünftigen alpinen Klimawandel. Hierzu verwenden wir regionale Klimaprojektionen der EURO-CORDEX Initiative (www.euro-cordex.net), die den derzeit umfassendsten Modelldatensatz zum europäischen Klima und zum Alpenklima des 21. Jahrhunderts zur Verfügung stellt. Wir stützen uns dabei auf circa 80 unterschiedliche Kombinationen globaler und regionaler Klimamodelle und auf drei verschiedene Treibhausgas-Szenarien, sogenannte

Abb. 4:
Projizierte
Entwicklung der
winterlichen (oben)
und sommerlichen
(unten) Lufttempe-
ratur im nordöstli-
chen Alpenraum für
drei Treibhausgas-
Szenarien (RCP2.6,
RCP4.5, RCP8.5),
dargestellt als abso-
lute Abweichung
zur Referenzperiode
1981–2010. Dünne
Linien: Einzel-
simulationen. Dicke
Linien: Ensem-
ble-
Mittelwerte für
das jeweilige
Treibhausgas-Sze-
nario. Datenquelle:
EURO-CORDEX.

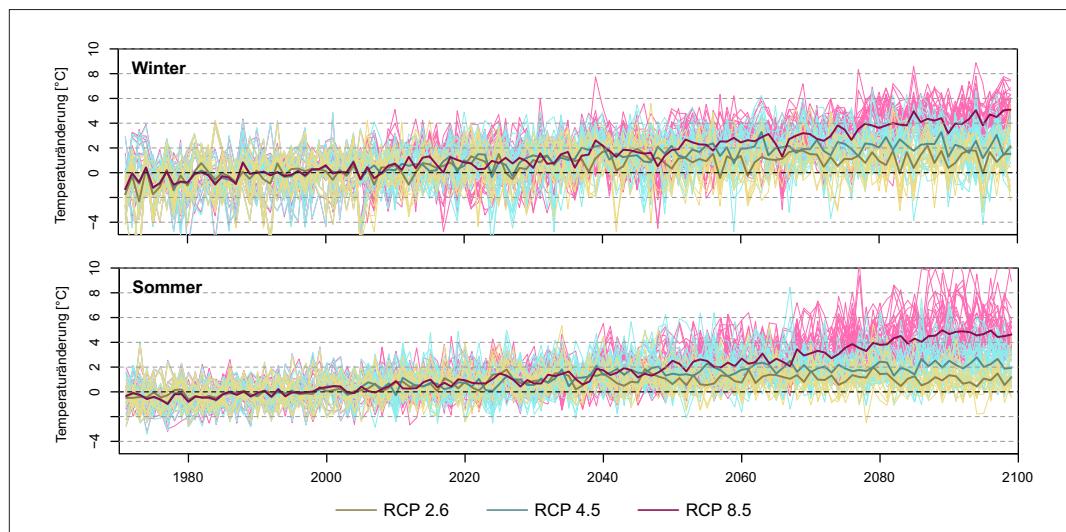
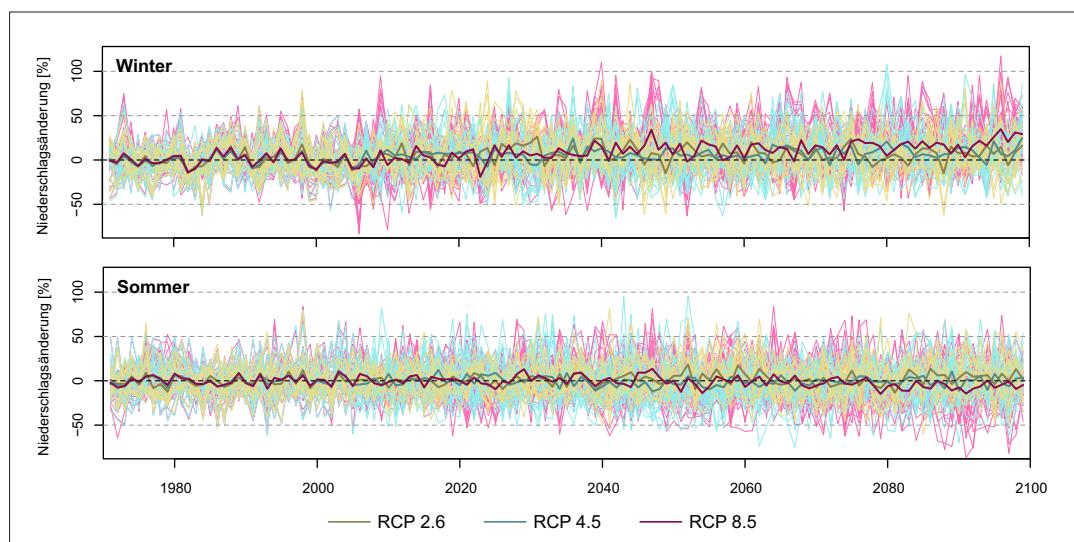


Abb. 5:

Wie Abb. 4, jedoch für die projizierte Niederschlagsänderung in [%] gegenüber dem Referenzzeitraum 1981–2010. Datenquelle: EURO-CORDEX.



Representative Concentration Pathways (RCPs). Während RCP8.5 von einem weiterhin ungebremsten Treibhausgas-Ausstoß durch den Menschen ausgeht, sind für das optimistischere RCP4.5 Szenario deutliche Emissions-Reduktionen spätestens ab Mitte des 21. Jahrhunderts notwendig. Das sehr optimistische RCP2.6 Szenario geht schließlich von deutlichen Emissions-Reduktionen bereits zu Beginn der 2020er Jahre aus und begrenzt die global gemittelte Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung auf circa 2 °C und entspricht somit angenähert dem Pariser Klimaziel. Weitere Details zur Technik und zu den Annahmen regionaler Klimaprojektionen sind zum Beispiel Kotlarski und Truhetz (2017) zu entnehmen. In der Vorstellung der Resultate werden wir uns auf den nordöstlichen Alpenraum konzentrieren (bayerische und österreichische Alpen und Voralpen), für andere Regionen ergeben sich leicht unterschiedliche aber qualitativ ähnliche Ergebnisse.

Abbildung 4 (S. 41) zeigt zunächst die für die drei Emissions-Szenarien projizierte Temperaturrentwicklung im nordöstlichen Alpenraum im Sommer (Juni-August) und Winter (Dezember-Februar) bis zum Jahr 2100. Für die beiden stärkeren Szenarien (RCP4.5 und RCP8.5) ist in beiden Jahreszeiten ein deutlicher und sich fortsetzender Erwärmungstrend zu erkennen, der durch starke Jahr-zu-Jahr-Variationen überlagert ist. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts werden bei Annahme des RCP8.5 Szenarios sowohl die Winter- als auch die Sommer-

temperaturen um mehr als 4 °C gegenüber heute steigen. Für das RCP4.5 Szenario werden circa +2 °C erreicht. Projektionen für das optimistische RCP2.6 Emissions-Szenario stagnieren ab ungefähr Mitte des 21. Jahrhunderts bei einer mittleren Erwärmung von circa 1 °C. Diese fällt dabei im Winter tendenziell etwas höher aus als im Sommer.

Beim Niederschlag (Abb. 5) sind die projizierten Änderungssignale weit weniger deutlich. Die zukünftige Entwicklung ist stark durch kurzzeitige Variationen beeinflusst. Für alle drei Emissions-Szenarien zeigt sich jedoch eine Tendenz zu leichten Niederschlagszunahmen im Winter. Diese können bis zum Ende des Jahrhunderts für das RCP8.5 Szenario mehr als 15 % betragen. Im Sommer zeichnet sich für dieses Emissions-Szenario zudem eine mittlere Abnahme der sommerlichen Niederschlagsmengen um circa 10 % ab. Die schwächeren RCP2.6 und RCP4.5 Szenarien zeigen hingegen keine systematische Änderung der sommerlichen Niederschlagsmengen.

Abbildung 6 (S. 43) zeigt zusammengefasst die mittleren Temperatur- und Niederschlags-Änderungssignale für den nordöstlichen Alpenraum bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Die Abbildung erlaubt eine explizite Bewertung der Projektionsunsicherheiten infolge der Verwendung unterschiedlicher Klimamodell-Kombinationen (farbige Balken). Im Falle der Lufttemperatur sind die Änderungssignale für

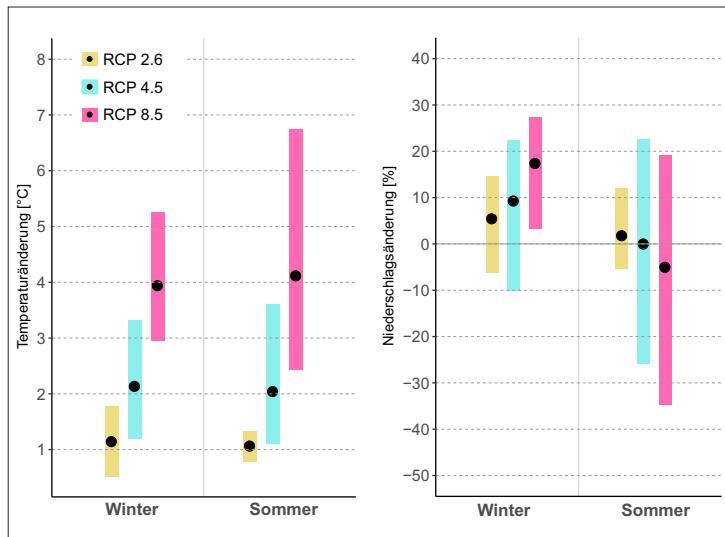


Abb. 6: Übersicht der mittleren sommerlichen und winterlichen Klimaänderungssignale von Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) im nordöstlichen Alpenraum bis zum Zeitraum 2070–2099 gegenüber der Referenzperiode 1981–2010 für drei Emissions-Szenarien. Punkte: Ensemble-Mittelwerte der Änderungssignale. Balken: Unsicherheitsbereich der simulierten Änderungssignale aller Simulationen für das entsprechende Emissions-Szenario. Datenquelle: EURO-CORDEX.

alle Emissions-Szenarien und für alle Modellsimulationen positiv: Wir haben uns auf höhere Temperaturen einzustellen. Für das optimistische RCP2.6 Szenario beträgt die projizierte Erwärmung in beiden Jahreszeiten im Mittel circa 1°C, wobei einzelne Simulationen leicht darüber oder darunter liegen können. Bei Annahme stärkerer Emissions-Szenarien wächst tendenziell auch die Modellunsicherheit. Während wir für das RCP8.5 Szenario in beiden Jahreszeiten ein mittleres Ände-

winterlichen Niederschlagszunahmen und leichten sommerlichen Niederschlagsabnahmen. Diese Änderungen fallen umso stärker aus, je stärker das angenommene Emissions-Szenario ($\text{RCP2.6} < \text{RCP4.5} < \text{RCP8.5}$).

Was bedeuten diese projizierten Änderungen von Temperatur und Niederschlag nun für die natürliche Schneedecke im Alpenraum? Kann die leichte Erhöhung der Winterniederschläge die erwartete Tempera-

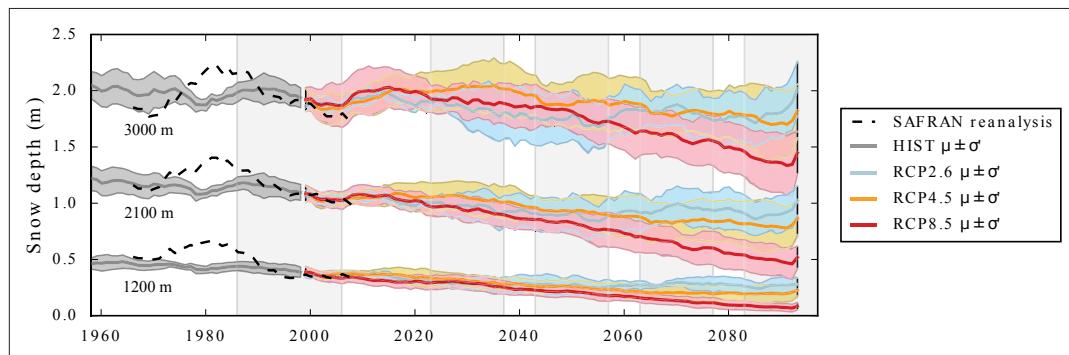


Abb. 7: Projizierte Entwicklung der mittleren Schneedecke in verschiedenen Höhenstufen im Haute Tarantaise Massiv der französischen Alpen. Durchgezogene Linien: Simulierte Ensemble-Mittelwerte. Farbige Bereiche: Unsicherheitsintervalle. Gestrichelte Linie: Schneedeckenmächtigkeit abgeleitet aus der SAFRAN Re-Analyse. Grau hinterlegte Bereiche: Auswerteziträume. Die Daten basieren auf der Arbeit von Verfaillie et al. (2018).

rungs-Signal von circa +4°C erhalten, können einzelne Simulationen um mehr als 1°C darüber oder darunter liegen. Der generelle Trend zu höheren Temperaturen ist jedoch klar und robust. Für den Niederschlag ist die Modellunsicherheit hingegen deutlich größer. Außer dem robusten Signal einer winterlichen Niederschlagszunahme für das RCP8.5 Szenario deckt der Unsicherheitsbereich in allen anderen Fällen sowohl Niederschlagszunahmen als auch Niederschlagsabnahmen ab. Es ergibt sich jedoch eine generelle Tendenz zu

turerhöhung kompensieren?

Die Antwort ist ein klares Nein. In einer aktuellen Studie haben Frei et al. (2018) zum Beispiel gezeigt, dass die Schneefallmengen im Alpenraum deutlich abnehmen werden, der Temperatureffekt also dominiert. Lediglich in der Mitte des Winter (Januar/Februar) und in grossen Höhen über 3000 m sind leichte Zunahmen möglich. Verbunden mit dem rascheren Abschmelzen der Schneedecke im Frühjahr wird dies zu einem deutlichen Rückgang der natürli-

chen Schneedeckung im Alpenraum führen. Abbildung 7 zeigt dies beispielhaft für das Gebiet Haute Tarentaise in den französischen Alpen. In allen Höhenlagen und für alle drei Emissions-Szenarien wird sich die mittlere Schneedecken-Mächtigkeit deutlich reduzieren. Der relative Rückgang der Schneedecke ist dabei deutlich höhenabhängig und ist in tiefen Lagen am stärksten. Für das RCP8.5 Emissionsszenario beträgt er zum Beispiel für Höhenlagen um 1200 m und bis zum Ende des 21. Jahrhunderts circa 83 % (Rückgang von 0.4 auf 0.07 m Schneehöhe, gleichbedeutend mit einem fast vollständigen Verlust der natürlichen Schneedecke). Für Höhen um 3000m wird hingegen ein Rückgang der mittleren Schneedeckung von 32 % projiziert (1.95 auf 1.33 m Schneehöhe). Diese Zahlen stimmen gut mit alpenweiten Änderungs-Signalen aus weiteren Studien (zum Beispiel Steger et al. 2013) überein.

Für weiterführende Informationen zum zukünftigen alpinen Klimawandel verweisen wir auf die umfassenden nationalen Klima-Szenarien für Österreich (ÖKS15 2015) und die Schweiz (CH2018 2018) und auf die Review-Studie von Gobiet et al. (2014).

Danksagung

Vielen Dank den KlimamodelliererInnen der EURO-CORDEX-Initiative für die Bereitstellung der Resultate ihrer Klimamodelle. Die Haute-Tarentaise-Studie wurde im Rahmen der Projekte ADAMONT (GICC), Clim'Py (INTERREG OPCC2) und Trajectories (CDP, Univ. Grenoble Alpes IDEX) erstellt. Die Auswertung der alpinen Klimaszenarien wurde von der CH2018-Initiative (Neue Schweizer Klima-Szenarien; www.klimaszenarien.ch) unterstützt.

Schlussfolgerungen

Das Klima der Alpen befindet sich im Wandel und wird sich auch im Laufe dieses Jahrhunderts weiter ändern. Trotz aller verbleibenden Modellunsicherheiten steuern wir auf eine weitere Erwärmung im Alpenraum zu. Im günstigsten Fall, d.h. für das sehr optimistische RCP2.6 Emissions-Szenario, wird diese Erwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts noch ein weiteres Grad betragen. Schaffen wir es jedoch nicht, die globalen Treibhausgas-Emissionen bald und drastisch zu senken, ist ein Temperaturanstieg von 4 °C und mehr möglich. Ein solches Klima wäre trotz leichter winterlicher Niederschlagszunahmen mit einer deutlichen Reduktion der natürlichen alpinen Schneedecke und mit einer Verkürzung der natürlichen Schnee-Periode verbunden. Für den Wintertourismus und weitere Sektoren, die von der Verfügbarkeit von natürlichem Schnee abhängen (zum Beispiel Wasserkraft-Produktion, Schiffahrt usw.), wird dies grundlegende Einschnitte nach sich ziehen und erfordert die zeitnahe Planung und Durchführung von Anpassungsmaßnahmen.

Literatur- und Quellenangaben

- I. Auer et al. (2007). HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. International Journal of Climatology, 27, S. 17–46, DOI:10.1002/joc.1377
- CH2018 (2018). CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland. Technical Report. National Centre for Climate Services. Zurich. S. 271 pp
- P. Frei et al. (2018). Future snowfall in the Alps: Projections based on the EURO-CORDEX regional climate models. The Cryosphere. 12. S. 1–24. DOI: 10.5194/tc-12-1-2018
- A. Gobiet et al. (2014). 21st Century Climate Change in the European Alps – A Review. Science of the Total Environment. 493. S. 1138–1151. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA

- S. Kotlarski, H. Truhetz (2017). Regionale Klimaprojektionen. Kapitel 12 in: Regionale Klimamodellierung I – Grundlagen. promet. Heft 99. Deutscher Wetterdienst. Erhältlich über https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_promet/I_promethefte/99p.html?nn=375050&lsbId=370522
- ÖKS15 (2015). Endbericht ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten – Methoden – Klimaanalyse. Erhältlich über https://www.bmvt.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/anpassungsstrategie/klimaszenarien.html
- S. C. Scherrer et al. (2004). Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability, Geophysical Research Letters, 31, L13215. DOI: 10.1029/2004GL020255.
- S. C. Scherrer et al. (2013). Snow variability in the Swiss Alps 1864–2009. International Journal of Climatology, 33 (15). S. 3162–3173. DOI: 10.1002/joc.3653.
- C. Steger et al. (2013). Alpine snow cover in a changing climate: A regional climate model perspective. Climate Dynamics, 41. S. 735–754. DOI: 10.1007/s00382-012-1545-3
- D. Verfaillie et al. (2018). Multicomponent ensembles of future meteorological and natural snow conditions for 1500 m altitude in the Chartreuse mountain range. Northern French Alps. The Cryosphere, 12. S. 1249–1271. DOI: 10.5194/tc-12-1249-2018

Verfasser

Dr. Sven Kotlarski

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Dr. Andreas Gobiet

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG

Prisco Frei

E-Mail:
prisco.f@hotmail.com

Dr. Samuel Morin

Centre d'Etudes de la Neige - Centre National de Recherches Météorologiques CNRM, Domaine Universitaire

Dr. Jan Rajczak

MeteoSchweiz

Dr. Simon Scherrer

MeteoSchweiz

Dr. Deborah Verfaillie

Barcelona Supercomputing Center

Schnee und Klimawandel im Hochgebirge

Prozessverständnis, Vorhersagen und Anpassungsmaßnahmen

Themenbereich: Skisport und Umwelt

Michael Lehning, Pirmin Philipp Ebner, Hansueli Rhyner

Zusammenfassung: Schnee und Eis nehmen rasant und weltweit ab. Es gibt einige Ausnahmen z.B. in Karakorum oder auf dem ostantarktischen Eisschild. Im Europäischen Bergland und besonders in den Alpen haben die Temperaturen bereits stärker zugenommen, und Schnee und Eis haben stärker abgenommen als im globalen Mittel. Diese Trends werden sich in den kommenden Jahren und Jahrzehnten fortsetzen. In unserem Beitrag fassen wir den Stand des Wissens über die natürliche Variabilität der Schneedecke im Bergland und über die zukünftige Entwicklung zusammen. Ausgehend von diesem Wissen werden spezifische Anpassungsmöglichkeiten für Skigebiete diskutiert. Aufgrund der hohen Variabilität (in Raum und Zeit) von Naturschnee, die mit der erwarteten Zunahme von persistenten Wetterlagen noch ausgeprägter wird, wird es immer wichtiger, dass sich Skigebiete mit technischen Mitteln wie Schneelagerung und Schneeproduktion absichern. Die höheren Temperaturen führen aber auch zu immer kürzeren Zeitfenstern für die Schneeproduktion. Deshalb sollten Anpassungsmassnahmen auch auf lokale Prognosen von Wetter und Schnee über Mittelfristzeiträume von mehreren Wochen zurückgreifen.

Abstract: Snow and ice are decreasing worldwide and rapidly with a few exceptions e.g. in some high mountains (Karakoram) and in some locations in East Antarctica. The European mountains and in particular the Alps have already experienced larger temperature increase and a stronger decrease of snow and ice than the global average and these trends will continue over the coming years and decades. In this contribution, we review the state of knowledge regarding the variability of the natural snow cover and its predicted changes. Based on this knowledge specific adaptation techniques for ski areas are discussed. Because of the high variability (in space and time) of natural snow, which includes an expected increase in persistent weather types, it will be increasingly important for ski areas to rely on technical adaptation measures such as snow farming and technical snow production. However, higher temperatures will also decrease the time that can be used for snow production. Therefore, potential adaptation should rely on improved local prediction of snow and weather especially if those predictions can be made for several weeks in advance.

Einleitung

Das Klima erwärmt sich im Alpenraum stark mit erheblichen Konsequenzen für Ökologie und Tourismus (Klein et al. 2018, Serquet and Rebetez 2011). Insbesondere der Wintertourismus leidet, wenn der Schnee fehlt (Schmucki et al. 2017). Deshalb rüsten Skigebiete mit Schneekanonen auf und entwickeln Methoden, um den Schnee zu übersommern und im Herbst dann frühzeitig Loipen oder Pisten zu präparieren (Grünewald et al. 2018). Diese Anpassungsmaßnahmen sind aber teuer, und viele Skigebiete geraten in

wirtschaftliche Bedrängnis. Ein wichtiger Faktor dabei ist, dass Wintersport ohne eine schneebedeckte Landschaft nicht die gleiche Attraktivität aufweist und insbesondere der Nachwuchs im Wintersport nicht mehr in der Quantität in die Berge drängt, wie das früher der Fall war.

In dieser Situation ist es wichtig, sich sowohl mit den jetzigen Bedingungen und den zukünftigen Entwicklungen der natürlichen Schneedecke in den Bergen als auch mit der Pisten- und Loipenpräparation zu befassen. Dieser Beitrag beleuchtet den Stand des Wissens zur Variabilität der

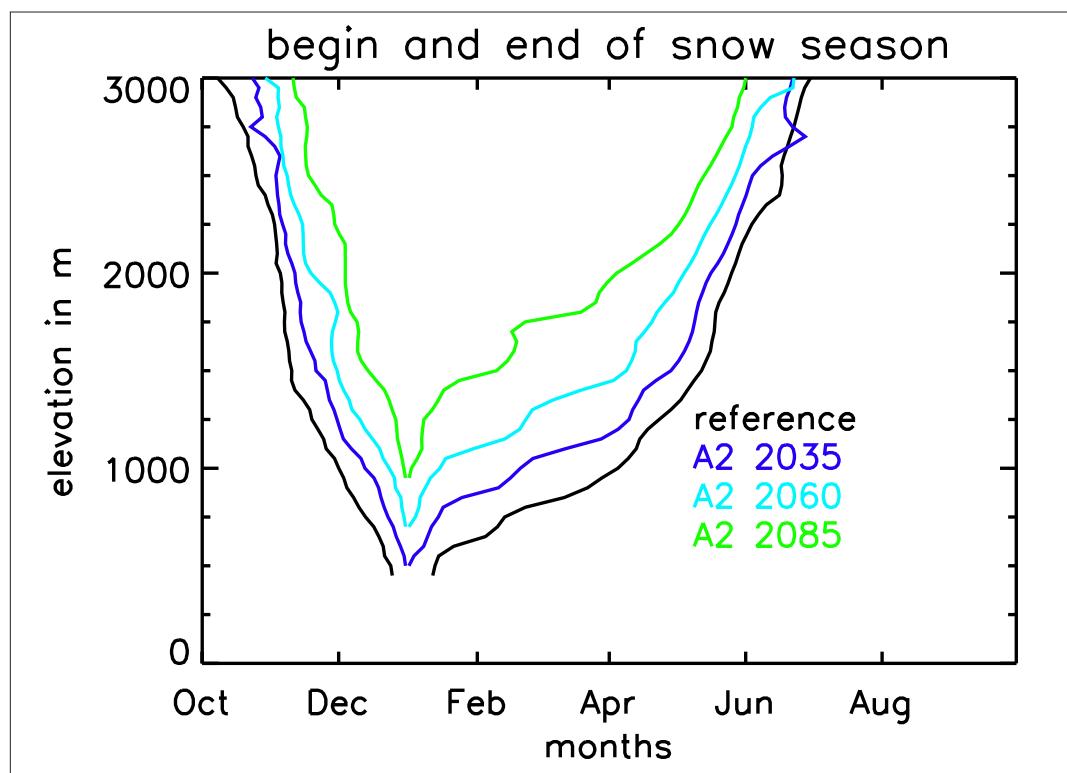


Abb. 1:
Dauer einer zusammenhängenden Schneedecke im Aare Einzugsbecken in der Schweiz.
Die Kurve zeigt die Schneebedeckung über die Höhenstufen für die Gegenwart (reference) und die farbigen Kurven für die drei Zeiträume in der Zukunft.

natürlichen Schneedecke heute und in der Zukunft. Anpassungsmaßnahmen werden auch im Hinblick auf die zukünftige Klimaentwicklung analysiert

der räumlichen Schneeverteilung zu machen (Vögeli et al. 2016).

Durch eine Kombination von modernen Radarmessungen und hoch aufgelösten Simulationen mit Wettermodellen wird es ferner möglich, die gesamte Prozesskette von der Niederschlagsbildung in den Wolken bis hin zur beobachtbaren Schneeverteilung am Boden vollständig zu entschlüsseln und dadurch auch die Schneefälle im Hochgebirge quantitativ richtig vorherzusagen (Gerber et al. 2018). Dies ist eine unabdingbare Voraussetzung, um auch die Vorhersagen für eine zukünftige Schneedecke zuverlässiger zu machen.

Natürliche Variabilität der Schneedecke und Konsequenzen

Die natürliche Schneedecke hat eine grosse Variabilität in Zeit und Raum. Die räumliche Variabilität führt dazu, dass die Gesamtniederschlagsmengen im Hochgebirge nicht gut bekannt sind, weil 1) eine Punktmessung wenig über den Schneefall im Gebiet aussagt (Wirz et al. 2011) und 2) sich tatsächliche Schneeniederschlagsmengen räumlich sehr stark unterscheiden (Blanchet et al. 2009). Dazu kommt, dass Schnee sehr oft noch verblasen wird, was es schwierig macht, gute Vorhersagen über die Mächtigkeit der Schneedecke zu machen. Allerdings hat man mit der Fernerkundung so gute Fortschritte gemacht, dass Schneehöhen vom Helikopter oder Flugzeug aus mit guter Genauigkeit und hoher Auflösung gemessen werden können. Diese Informationen können genutzt werden, um genauere Modellvorhersagen

Die natürliche Hochgebirgsschneedecke in der Zukunft

Die Winter in den Alpen werden kürzer und schneeärmer (Klein et al. 2016). Die Abnahme der Schneedecke ist dabei durch die steigende Temperatur bedingt. Obwohl die Winterniederschläge im Mittel eher zunehmen, fällt sehr viel mehr Niederschlag als Regen und es wird im Mittel keine Zunahme der Schneehöhen geben, auch nicht in den

Verfasser

Prof. Dr.
Michael Lehning

WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF),
Eidg. Technische Hochschule Lausanne

Dr. Pirmin Ebner

SLF,
Forschungsgruppe Industrieprojekte und Schneesport

Hansueli Rhyner

SLF,
Forschungsgruppe Industrieprojekte und Schneesport

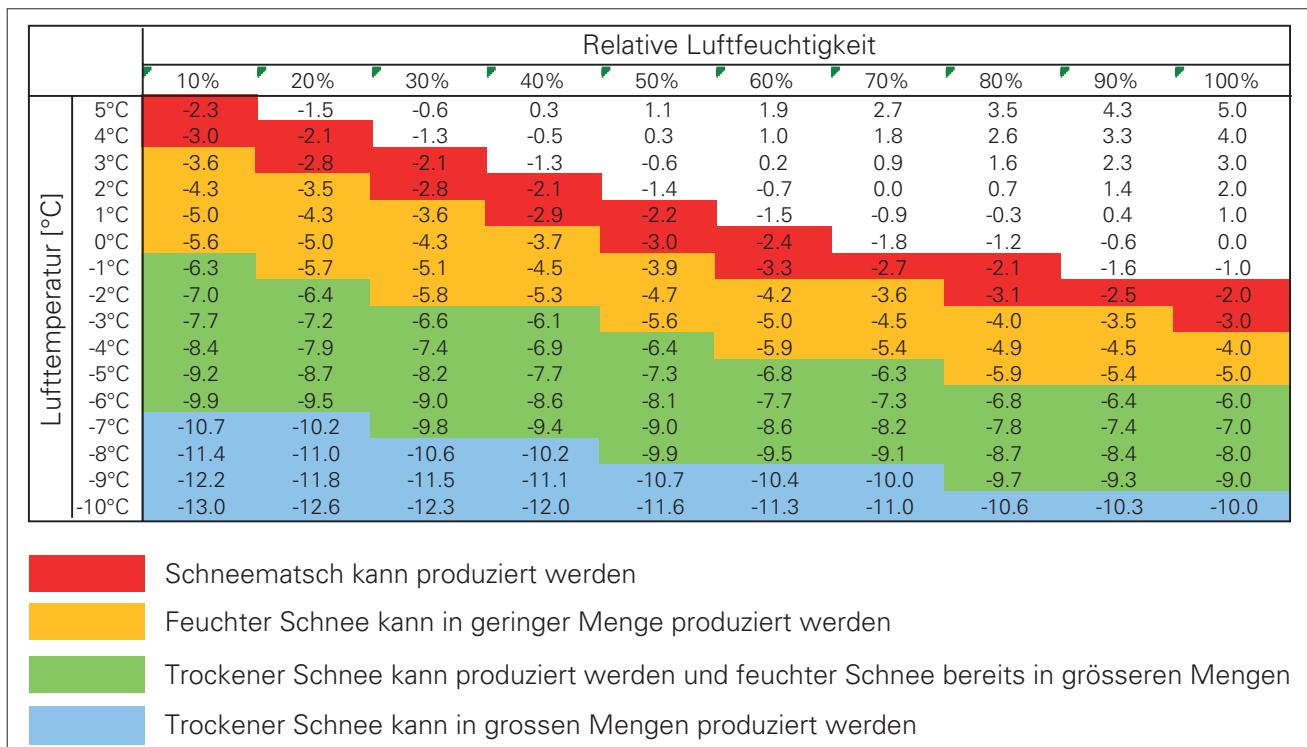


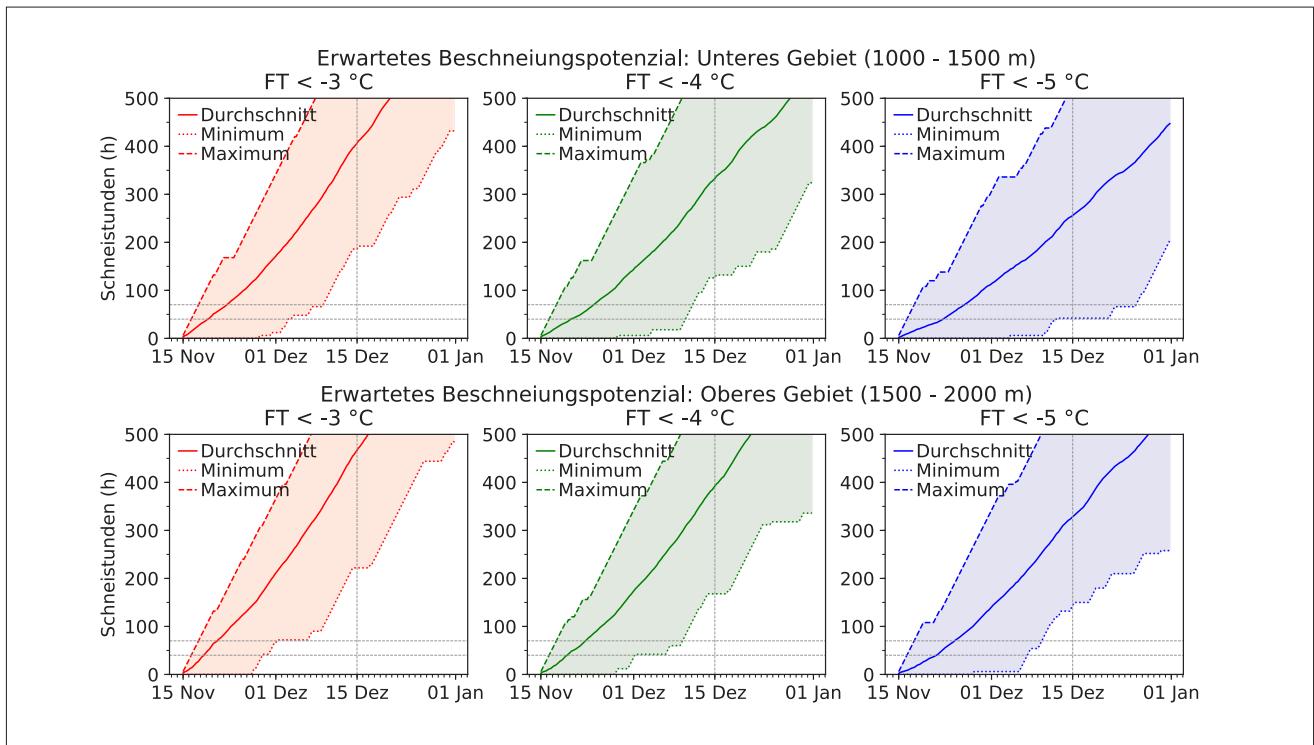
Abb. 2:
Einsatzbereich für
Schneemaschinen
(Düsentechnik)
als Funktion von
Lufttemperatur und
Luftfeuchte.

Hochalpen über 2500 m Meereshöhe. In den grossen Höhen kompensiert der steigende Niederschlag jedoch die höheren Temperaturen und der erwartete Schnee wird in etwa dem klimatologischen Mittel der vergangenen 30 Jahre entsprechen. Das gilt für die kommenden 10 bis 20 Jahre. In mittleren Lagen zwischen ca. 1000 m und 2000 m Meereshöhe wird die Schneedecke markant abnehmen (Schmucki et al. 2015). Abbildung 1 (S. 47) zeigt stellvertretend für das Aare-Einzugsgebiet, wie sich die Winterlänge, definiert als die Zeit einer zusammenhängenden Schneedecke von mehr als 10 cm, für das A2-Emissionsszenario verkürzen wird. Das A2-Szenario ist ein Emissionsszenario mit Bevölkerungswachstum aber geringem wirtschaftlichem Wachstum und ist deshalb weniger extrem als das Szenario RCP8.5 des 5. IPCC-Zustandsberichts. Für die Modellläufe wurde das A2-Szenario auf die Schweiz angepasst (Zubler et al., 2014).

Technische Anpassungsmassnahmen

In der Schweiz wird ca. die Hälfte der Pisten beschneit, in Österreich sollen es

zwischen 70 und 75 Prozent sein und in Italien sogar 80–90 Prozent. Eingesetzt wird dabei die Düsentechnik, bei der entweder mit sogenannten Propellermaschinen, oder mit Schneelanzen kleine Wassertropfen in die Luft gesprührt werden, die auf dem Flug bis zum Boden mehr oder weniger zu kleinen Eiskörnchen gefrieren. Damit die Wassertropfen in dieser kurzen Zeit gefrieren können, muss die sogenannte Feuchtkugeltemperatur unter null Grad liegen. Die Feuchtkugeltemperatur ist eine Kombination zwischen Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Je trockner die Luft ist und je tiefer die Lufttemperatur, desto schneller gefrieren die Wassertropfen auf ihrem Flug durch die Luft. Im Normalfall werden die Schneemaschinen ab minus drei bis minus vier Grad Feuchtkugeltemperatur eingeschaltet. Je tiefer die Feuchtkugeltemperatur ist, desto trockener wird der Schnee und desto mehr Wasser kann zu Schnee gefrieren. Die Schneekörner aus den Maschinen sind um ein Vielfaches kleiner als Naturschneekörner, was dazu führt, dass die Dichte entsprechend höher ist. Während Naturschnee mehrmals mit den Pistenmaschinen verdichtet werden muss, hat der Technische Schnee bereits bei der



Produktion die für eine Piste erforderliche Dichte von 300 bis 500 kg/m³. Die hohe Dichte ist einer der Gründe, warum sich der technisch hergestellte Schnee für den Bau einer Skipiste besser eignet als Naturschnee. Der Einsatzbereich von Schneemaschinen mit der Düsentechnik wird als Funktion von Temperatur und Luftfeuchte in der Abbildung 2 gezeigt.

Technische Beschneiung und Klimawandel

Mit dem Klimawandel werden auch die Zeiträume kürzer, bei denen die Feucht-kugeltemperatur unter null Grad liegt als Voraussetzung für die Schneeproduktion mit der Düsentechnik. Das heisst, die Anzahl der „Schneistunden“ nimmt ab. Betroffen sind dadurch vor allem die tieferen Regionen. Sind Messdaten der vergangenen Jahre vorhanden, kann daraus die Anzahl Schneistunden der letzten Jahre analysiert werden. Aus den Klimaszenarien können die zu erwartenden Schneistunden für die nächsten Jahrzehnte berechnet werden. Je weniger Schneistunden zur Verfügung ste-

hen, desto leistungsfähiger muss die Beschneiungsanlage sein. Ob ein Skigebiet die notwendig werdende Aufrüstung der Beschneiungsanlagen tätigen will, werden in erster Linie unternehmerische und wirtschaftliche Überlegungen entscheiden. Abbildung 3 zeigt die Berechnung des Beschneipotenzials für ein beispielhaftes Skigebiet in den Alpen. Die Resultate basieren auf den gemessenen Wetterdaten der letzten 15 Jahre. Aufsummierte mittlere, minimale und maximale erwartete Schneistunden für den unteren (1000–1500 m) und den oberen (1500–2000 m) Teil eines Skigebiets in den nächsten 15 Jahren sind dargestellt. Wenn man davon ausgeht, dass sich das Klima um 1°C oder 2°C erwärmt, landet man bei den Schneistunden die in der Abbildung für die Feuchtkugeltemperatur (FT) -4°C (grün) beziehungsweise -5°C (blau) dargestellt sind. Die grauen horizontalen Linien markieren 40 und 70 Schneistunden. Während im oberen Teil für eine Beschneiung der Pisten noch 150 Stunden zur Verfügung stehen, hat die Anlage im unteren Teil bei einer Erhöhung der Temperatur um zwei Grad gerade mal noch 40 Stunden Zeit, um die Pisten bis Mitte Dezember einzuschneien.

Abb. 3:
Schneipotenzial
für ein Skigebiet
in mittlerer Lage. Die
farbigen Flächen
zeigen die Unsi-
cherheit, die durch
verschiedene Win-
terwetter ausgelöst
wird.

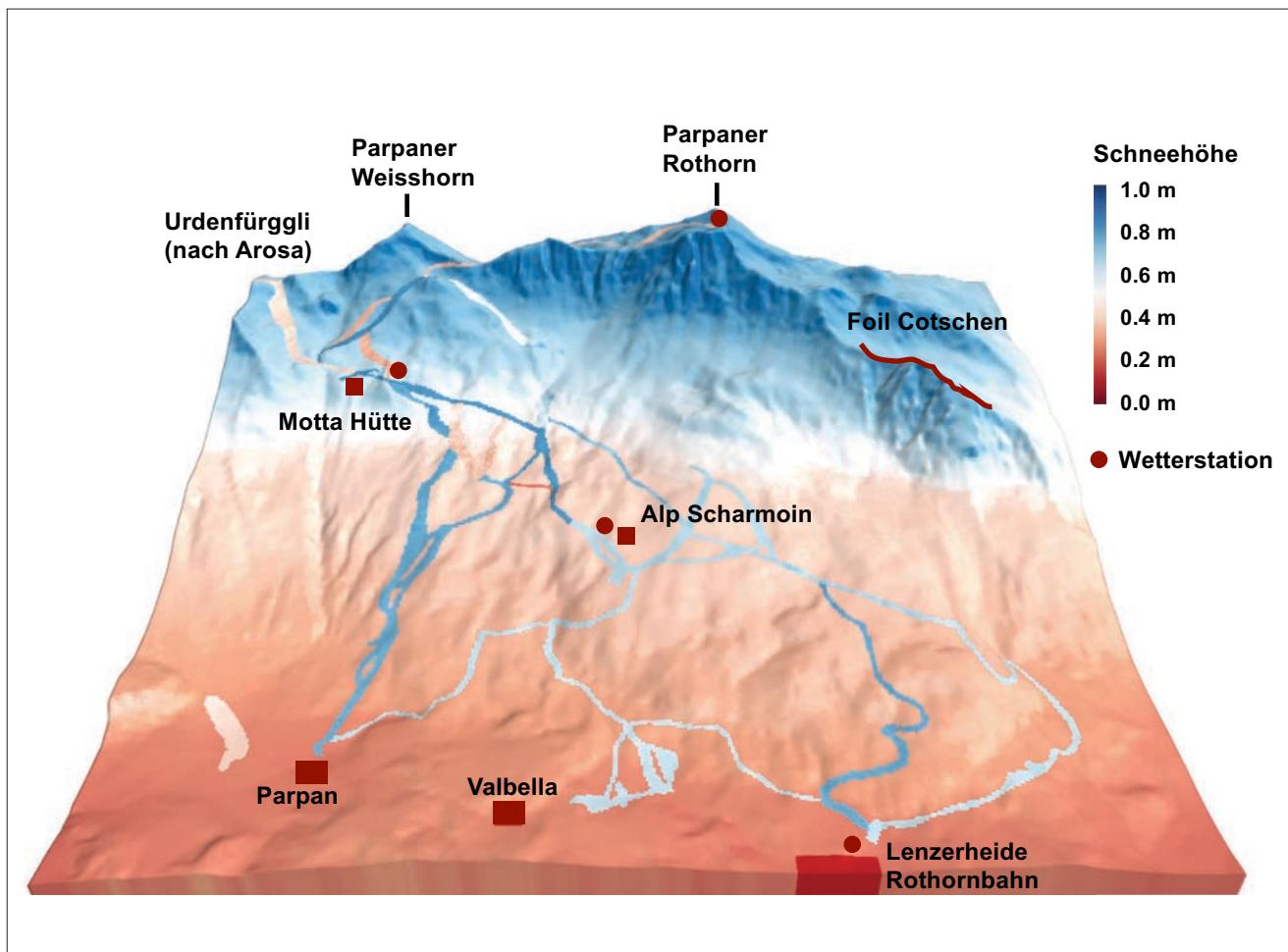


Abb. 4:
Simulierte Schneehöhe mit SNOWPACK/Alpine3D (10 m Auflösung) f. d. Skigebiet Lenzerheide-Ost am 24. Dez. 2012 basierend auf Stationsdaten, die das Wetter u. d. Beschneiung beinhaltet. Über statistische Anpassungsrechnungen werden im PROSNOW Projekt dann saisonale Vorhersagerechnungen f. versch. Beschneigungsszenarien möglich. Der niedrigste Punkt liegt bei 1500 a.s.l. u. der höchste bei 2530 a.s.l.

Anpassung und Zukunftsaussichten

Um für einen bestimmten Zeitpunkt oder Anlass eine Schneegarantie zu erreichen, wird vielerorts heute schon Schneelagerung (Lagern und Übersommern von Schneehaufen) betrieben (Grünwald et al. 2018). Zahlreiche Untersuchungen und die Erfahrungen aus den letzten Jahren zeigen, dass verschiedene Methoden für das Übersommern von Schneehaufen funktionieren. Schneelagerung eignet sich jedoch nur für lokale Schneengänge, z.B. für eine Trainings- oder Übungspiste, eine kurze Loipe oder eine Sprungschanze. Die Abdeckung eines ganzen Skigebietes durch Schnee aus gelagertem Schnee ist aus heutiger Sicht nicht rentabel. Technischer Schnee kostet 3–5 €/m³. Schnee, der über den Sommer gelagert wird, ungefähr das Dreifache. Der grösste Kostentreiber dabei ist das Aus-

bringen des Schnees. Ob der Schnee mit Lastwagen auf eine Loipe transportiert oder mit den Pistenmaschinen auf der Piste verteilt wird, die Kosten steigen massiv.

Das Gleiche gilt auch für die neuen, witterunabhängigen Beschneiungsanlagen. Ob mit Scherbeneisanlagen, Vakuummaschinen, oder durch Beimischen von kryogenen Mitteln Schnee produziert wird, der Schnee wird an einem Ort hergestellt und muss anschliessend auf die Piste oder Loipe transportiert und dort verteilt werden. Solche technischen Adaptionen sind mit grossen Investitionen und Betriebskosten verbunden.

Deshalb wird in Zukunft auch die Prognose in Skigebieten immer wichtiger. Das insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass es gute Gründe gibt anzunehmen, dass Wetterlagen immer persistenter werden.

D.h. dass ein Winter entweder sehr niederschlagsreich sein kann, oder aber sehr trocken. Diese Zunahme der Persistenz ist für Skigebiete problematisch, weil entweder sehr viel oder sehr wenig Kunstschnne produziert werden muss. Andererseits erhöht die Persistenz auch die Treffsicherheit von meteorologischen Langfristprognosen. Gerade auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten liegt hier eine Chance, die Anpassung an den Klimawandel mit lokalen Schnee- und Schneiprognosen zu unterstützen. Dabei werden die Bedingungen für die Schneeproduktion und die erwartete Schneedeckung auf Pisten und im freien Skigelände für die kommenden Wochen vorhergesagt. Im EU Projekt PROSNOW (www.prosnow.org) wird so ein System aufgebaut und getestet. Abbildung 4 zeigt für das Skigebiet Lenzerheide eine mit dem Modellsystem Alpine3D (Lehning et al. 2008) simulierte Schneeverteilung. Solche Prognosen können helfen, die Produktion von zu viel (teurem) oder zu wenig Kunstschnne im Herbst zu vermeiden.

Literatur- und Quellenangaben

- J. Blanchet, C. Marty, M. Lehning (2009). Extreme value statistics of snowfall in the Swiss Alpine region. *Water Resources Research.* 45, doi:W05424 10.1029/2009wr007916
- F. Gerber et al. (2018). Spatial variability in snow precipitation and accumulation in COSMO-WRF simulations and radar estimations over complex terrain, *Cryosphere.* 12 (10), S. 3137–3160, doi:10.5194/tc-12-3137-2018
- T. Grünewald, F. Wolfsperger, M. Lehning (2018). Snow farming: conserving snow over the summer season, *Cryosphere.* 12 (1). S. 385–400, doi:10.5194/tc-12-385-2018
- G. Klein et al. (2018). Unchanged risk of frost exposure for subalpine and alpine plants after snowmelt in Switzerland despite climate warming. *Int J Biometeorol.* 62 (9). S. 1755–1762, doi:10.1007/s00484-018-1578-3
- G. Klein et al. (2016). Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. *Climatic Change.* 139 (3–4), S. 637–649. doi:10.1007/s10584-016-1806-y
- M. Lehning et al. (2008). Inhomogeneous precipitation distribution and snow transport in steep terrain. *Water Resources Research.* 44 (7). doi:W07404 10.1029/2007wr006545
- E. Schmucki et al. (2015). Simulations of 21st century snow response to climate change in Switzerland from a set of RCMs. *International Journal of Climatology.* 35 (11), S. 3262–3273, doi:10.1002/joc.4205
- E. Schmucki et al. (2017). Impact of climate change in Switzerland on socioeconomic snow indices. *Theoretical and Applied Climatology.* 127 (3–4), S. 875–889, doi:10.1007/s00704-015-1676-7
- G. Serquet, M. Rebetez (2011). Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperatures associated with climate change. *Climatic Change.* 108 (1–2), S. 291–300. doi:10.1007/s10584-010-0012-6
- C. Vögeli et al. (2016). Scaling Precipitation Input to Spatially Distributed Hydrological Models by Measured Snow Distribution. *Frontiers in Earth Science.* 4. doi:10.3389/feart.2016.00108
- V. Wirz et al. (2011). Spatio-temporal measurements and analysis of snow depth in a rock face. *Cryosphere.* 5 (4). S. 893–905, doi:10.5194/tc-5-893-2011
- E. M. Zubler et al. (2014). Localized climate change scenarios of mean temperature and precipitation over Switzerland. *Climatic Change.* 125 (2), S. 237–252. doi:10.1007/s10584-014-1144-x

Das Modell AMUNDSEN

Flächenverteilte Simulation technischer Beschneiung

Themenbereich: Skisport und Umwelt

Ulrich Strasser, Michael Warscher, Florian Hanzer, Michael Rothleitner

Zusammenfassung: Die Skibedingungen auf den Pisten alpiner Wintersportdestinationen sind das Ergebnis eines komplexen Wechselspiels aus natürlichen Wetterbedingungen und technischen Schneemanagement-Maßnahmen. In jüngster Zeit wurden Entscheidungsunterstützungs-Systeme entwickelt, um ein verbessertes Schneemanagement durch Simulation ökonomischer und ökologischer Optimierungsstrategien zu erreichen. Wir zeigen das physikalisch basierte Schneedeckenmodell AMUNDSEN (= Alpine MULTiscale Numerical Distributed Simulation ENgine), welches stündliche meteorologische Variablen, die technischen Spezifikationen der installierten Schneeproduktions-Infrastruktur und die real angewandte Schneemanagement-Strategie verwendet, um die resultierenden Verhältnisse auf den Pisten zu modellieren. Das Modell kann für historische, für Bedingungen in der nahen Zukunft (= saisonale Vorhersage) sowie für Langzeit-Klimasimulationen (= Szenarien) eingesetzt werden. AMUNDSEN erlaubt die Bestimmung wichtiger Ski-Indikatoren wie Schneemenge auf den Pisten, Öffnung und Schließung (des Skigebietes) oder Schneeproduktionsstunden mit entsprechenden Effizienzbedingungen. Angewandt im saisonalen Prognosemodus unterstützen die Simulationen die täglichen Entscheidungen der Schneemanager für die Nutzung der technischen, finanziellen und natürlichen Ressourcen. Das Modell wird kontinuierlich weiterentwickelt und mit den Ergebnissen aus Freiluftlabormessungen verbessert.

Abstract: Skiing conditions on the slopes of Alpine winter tourism destinations are the result of a complex interplay of natural weather conditions and technical management measures. Efforts have been undertaken recently to support a sophisticated snow management both in terms of economical and ecological considerations with decision support systems, the heart of which sophisticated software simulation tools. We present the physically based snow cover model AMUNDSEN (= Alpine MULTiscale Numerical Distributed Simulation ENgine) which uses hourly recordings of meteorological variables, the technical specifications of the installed snow production infrastructure, and the applied snow management strategy to model the snow conditions on the slopes. The model can be applied for historical, near future (= seasonal prediction) or far future climatic conditions (= scenarios). AMUNDSEN allows to determine important skiing indicators such as snow amount on the slopes, opening and closing date or snow production hours with respective efficiency conditions. Applied in seasonal prediction mode, the simulations support the everyday decisions to be taken by the snow managers for best practice in the use of the technical, financial and natural resources. The model is continuously further developed and improved using results from field laboratory experiments.

Die alpine Schneedecke ist ein wichtiger saisonaler Wasserspeicher für Gebirgsräume sowie für die Versorgung ihrer Vorländer mit Schmelzwasser in Zeiten hohen Wasserbedarfs. Neben der Nutzung als Trinkwasser spielen auch Wasserkraft und – vor allem im Gebirge selbst – Tourismus eine große Rolle. Die Schneedecke ist dabei außerordentlich heterogen in Raum und Zeit, wobei die zu dieser Heterogenität führenden Prozesse der Akkumulation, Umlverteilung und Ablation von Schnee enorm komplex sind (Strasser 2008, Warscher

et al. 2013). Die hohe saisonale Variabilität der Schneedecke (d.h. die starken Schwankungen zwischen schneereichen und schneearmen Wintern) machen die Planbarkeit von Wintersportangeboten und einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen Betrieb der dazugehörigen technischen Anlagen sehr schwierig. Mit Simulationsmodellen lassen sich die Schneeverhältnisse jedoch für bestimmte historische und zukünftige Klimaverhältnisse berechnen, letztere in sog. Szenario-Simulationen, so dass die Wirkung verschiedener Maßnahmen

abgeschätzt werden können. Die zeitlichen Horizonte reichen dabei von Tagen über Monate (saisonale Prognose) bis hin zu Jahrzehnten (Klimawandel-Impaktstudie). Grundsätzlich spielt die Schneesicherheit in den alpinen Skiregionen eine große Rolle für den dortigen Wintertourismus. Nicht zuletzt deshalb werden die Pisten mittlerweile selbst in hochgelegenen Skigebieten beschneit. Da in den Wintersportdestinationen die technische Beschneiung die Schneeverhältnisse der Pisten bestimmt, ist zur klassischen schneehydrologischen Modellierung heutiger und zukünftiger Schneebedingungen die Simulation der technischen Beschneiung dazugekommen (Hanzer et al. 2014, Spandre et al. 2016).

Die Genauigkeit der Modellrechnungen hängt davon ab, mit welcher Vollständigkeit die beteiligten Prozesse im Modell abgebildet werden können (Warscher et al. 2013, Hanzer et al. 2016). Insbesondere für die Simulation der möglichen klimatischen Zukunftsbedingungen kommt dieser Tatsache entscheidende Bedeutung zu, da Szenariensimulationen nicht mit Messungen verglichen (= validiert) werden können. Letzteres geschieht durch Gegenüberstellung von modellierten und gemessenen Schneebedingungen unter Verwendung historischer Eingabedaten. Ist die Modellperformanz für den gegebenen Zweck angemessen, geht man davon aus, dass das Modell auch für zukünftige Szenarien angewendet werden kann (Hanzer et al. 2018).

Die in diesem Beitrag gezeigten Ergebnisse wurden mit dem physikalisch basierten Schneedeckenmodell AMUNDSEN (= Alpine MULTiscale Numerical Distributed Simulation ENgine) berechnet (Strasser 2008), wobei für die Rechnungen eine räumliche Auflösung von 10 m verwendet wurde (d.h. jede Rasterzelle hat eine Dimension von 10 x 10 m). Die zeitliche Auflösung wird mit 1 bis 3 Stunden so gewählt, dass der Tagesgang der kurzweligen Strahlung als Hauptenergiequelle für die Schneeschmelze hinreichend genau abgebildet werden kann, und auf der anderen Seite die Rechenzeit der Modellläufe in einem angemessenen Rahmen bleibt. Letzteres ist v.a. dann dringend erforderlich, wenn

im Rahmen von Klimawandelstudien über lange Zeiträume (Jahrzehnte bis Jahrhunderte) gerechnet wird und darüberhinaus auch noch unterschiedliche Klimaszenarien (Ensembles) Berücksichtigung finden sollen. Da neben den natürlichen Schneebedingungen im Hochgebirge zunehmend auch die durch technische Beschneiung veränderten Schneebedingungen in Wintersport-Destinationen (z.B. im Rahmen von Klimawandel-Impaktstudien) Berücksichtigung finden sollen, wurde das Modell AMUNDSEN um ein numerisches Modul zur technischen Schneeproduktion erweitert (Hanzer et al. 2014). Das Besondere am Beschneiungsmodul in AMUNDSEN ist, dass es auch voll flächenverteilt für Gebiete regionaler Skala (d.h. für mehrere Skigebiete gleichzeitig) angewendet werden kann.

Das Modell AMUNDSEN benötigt folgende Eingabedaten für eine flächenverteilte, physikalisch basierte Simulation natürlicher Schneebedingungen und technischer Schneeproduktion:

- ein digitales Geländemodell
- meteorologische Treiberdaten (Niederschlag, Temperatur, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit)
- Eine Vegetationskarte
- Eine Bodenkarte (wenn ein integriertes Verdunstungsmodell für die Pflanzen mitrechnen soll)
- Lage der Skigebiete (als GIS-shapefile)
- Angaben über die für die technische Schneeproduktion verfügbare Infrastruktur (Wasserkapazitäten, Anzahl der Schneerzeuger, sowie deren technische Spezifikationen und Standorte)
- Angabe wichtiger Modellparameter zur Beschneiungspraxis

Verfasser

**Prof. Dr.
Ulrich Strasser**

Universität Innsbruck,
Institut für Geographie

Dr. Michael Warscher

Universität Innsbruck,
Institut für Geographie

Dr. Florian Hanzer

Universität Innsbruck,
Institut für Geographie

Michael Rothleitner

Schneezentrum
Tirol am MCI-The
Entrepreneurial School

Für Szenarienmodellierungen werden als meteorologische Eingaben anstelle von Stationsmessungen Daten von Klimamodellen verwendet. Dies sind in der Regel dynamisch regionalisierte Ausga-

ben von globalen Klimamodellen, welche zukünftige Verhältnisse entsprechend der vom IPCC vorgegebenen Emissionspfade simulieren. Die globalen Klimamodelle (aktuelle Generation: CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), IPCC Klimabericht AR5, RCP-Szenarienfamilie) erzeugen – basierend auf den Emissions-szenarien – globale Simulationen in einer räumlichen Auflösung von ca. 100 km für historische und zukünftige Zeiträume. Diese globalen Daten werden anschließend für die jeweilige Zielregion dynamisch regionalisiert, d.h. mit regionalen Klimamodellen verfeinert. Für Europa und die Alpen wurden in den letzten 10 Jahren im Rahmen von großen internationalen Projekten Ensembles von regionalen Klimasimulationen mit einer Auflösung von 50 km bzw. 25 km realisiert. In Einzelprojekten wurden bereits Simulationen mit höheren Auflösungen von bis zu 5 km durchgeführt. Im komplexen Gelände der Alpen führen höhere räumliche Auflösungen aufgrund einer detaillierteren Beschreibung der Topographie in der Regel zu besseren Simulationsergebnissen, insbesondere für Höhenabhängigkeiten, Extremwerte, Häufigkeitsverteilungen und bei der Wiedergabe räumlicher Muster. Durch diese auf unterschiedlichen Emissions-Entwicklungsszenarien basierenden Modellensembles aus mehreren Global- und Regionalmodellen lässt sich so eine Bandbreite der möglichen zukünftigen klimatischen Bedingungen abschätzen.

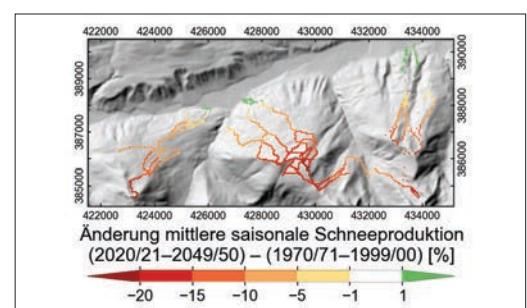
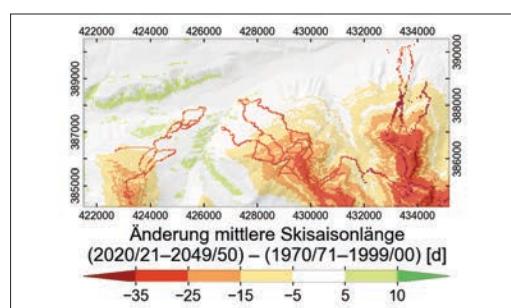
Aus den vorhandenen meteorologischen Daten werden im Modell flächenverteilte Felder in der durch das digitale Gelände-modell vorgegebenen Auflösung für jeden einzelnen Zeitschritt erzeugt. Ausgewertet werden können die Rechenergebnisse durch Gegenüberstellung von mittleren Verhältnissen in einem zukünftigen Zeit-

raum mit den entsprechenden Verhältnissen in einem vergangenen Zeitraum. Für das weiter unten angeführte Beispiel aus den Schladminger Tauern (Österreich) wurde für den Zeitraum 1971–2050 gerechnet, wobei als Referenzperiode der Zeitraum 1971–2000 und als Szenarioperiode der Zeitraum 2021–2050 herangezogen wurde.

Für die Berechnung von technischem Schnee in AMUNDSEN wurde zunächst ein vergleichsweise einfacher Ansatz gewählt, welcher flächendeckend für viele Skigebiete anwendbar ist, ohne deren Infrastruktur und den Einsatz von Wasser und Energie im Einzelnen kennen zu müssen. Als Eingabedaten werden dabei lediglich die Lage und Erstreckung der Skipisten innerhalb des Modellgebiets, die (bekannte oder angenommene) Gesamtanzahl der Schneerzeuge im Skigebiet sowie ein Wert für den maximalen Wasserdurchsatz für das gesamte Skigebiet (in m³/h) benötigt.

Wieviel Schnee von einem Schneerzeuger produziert werden kann, hängt abgesehen von seinen Spezifikationen in erster Linie von den meteorologischen Bedingungen ab – generell werden zur Beschneiung möglichst Kälte und Trockenheit benötigt. Als kombiniertes Maß aus Temperatur und Luftfeuchte wird deshalb die Feuchttemperatur zur Bewertung der Beschneiungsbedingungen herangezogen. Das Beschneigungspotential (die Menge an Schnee, die unter den gegebenen meteorologischen Bedingungen maximal erzeugt werden kann) eines einzelnen Schneerzeugers wird in AMUNDSEN als lineare Funktion der Feuchttemperatur berechnet. Dabei wird erst ab einer einstellbaren Grenz-Feuchttemperatur beschneit (z.B. $\leq -2^{\circ}\text{C}$). Unter der vereinfachenden Annahme, dass die Schneerzeuge gleichmäßig an

Abb. 1:
Änderung
der mittleren
Skisaisonlänge
(links) und der
mittleren Schnee-
produktion (rechts)
für exemplarische
Skipisten in der
Region Schlad-
ming im Vergleich
1971–2000 zu
2021–2050.



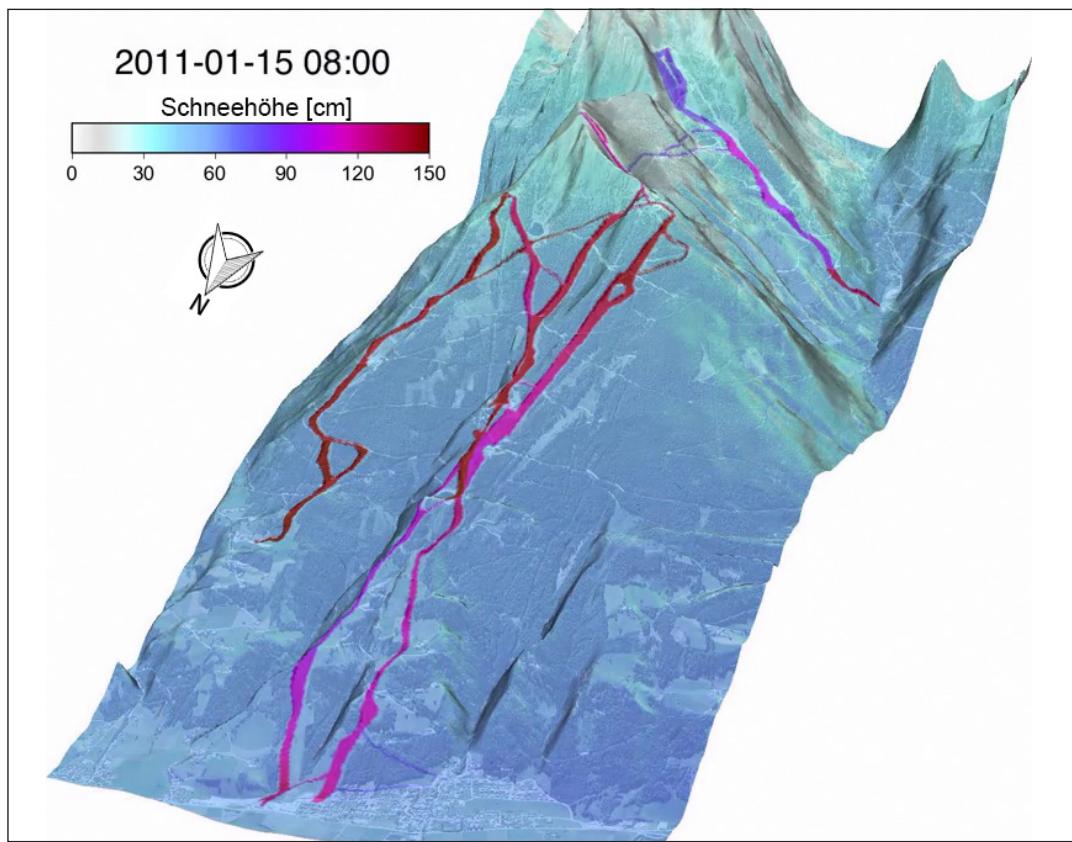
den Pisten verteilt sind, kann über deren vorgegebene Anzahl und die Gesamt-Pistenfläche eine „Schneeezeugerdichte“ berechnet werden, mittels derer für jedes Pistenpixel anhand der dort vorherrschenden Feuchtemperatur die maximal produzierbare Schneemenge berechnet werden kann. Sollte die pro Zeitschritt insgesamt produzierte Schneemenge größer sein als der vorgegebene maximale Wasserdurchfluss, wird die erzeugte Schneemenge entsprechend begrenzt. Der Zeitraum, innerhalb dessen anhand dieser Methode beschneit wird, berücksichtigt, dass die Beschneigungssaison üblicherweise unterteilt ist in einen Zeitraum mit Maximalbeschneiung am Beginn der Saison und eine anschließende Periode, in der nur mehr punktuell und nach Bedarf nachbeschneit wird. Demzufolge wird in AMUNDSEN von 1. November bis z.B. zum 15. Dezember maximal beschneit (begrenzt lediglich von den meteorologischen Bedingungen und der Wasserdurchflusskapazität), jedoch von 16. Dezember bis 28. Februar nur dann, wenn die Schneehöhe auf den Pisten einen vorgegebenen Wert unterschreitet (z.B. 60 cm). Für den Schnee auf den Pisten wird dabei eine konstante Dichte von 400 kg/m³ angenommen, was einen mittleren Wert für die Dichte auf präparierten Skipisten darstellt. Der eben beschriebene Beschneiungsansatz benötigt nur wenige Eingabedaten und ist somit relativ leicht übertragbar auf andere Gebiete. Er ist darüberhinaus so performant, dass auch für größere Gebiete mehrere Modell-Läufe für Szenarienhorizonte mit vielen Wintern möglich sind. Wenn die Eingabedaten für den Energiebilanz-Ansatz in AMUNDSEN nicht zur Verfügung stehen, kann auch mit einem vereinfachten Hybrid-Ansatz gerechnet werden (Marke et al. 2018).

Als Beispiel für potentielle Veränderungen der Schneebedingungen wird in Abb. 1 (S. 54, li.) die Veränderung der Skisaisonlänge unter Berücksichtigung der technischen Schneeproduktion für ein exemplarisches Skigebiet in der Region Schladming/Österreich dargestellt (Marke et al. 2015). Die Skisaison ist dabei im Modell definiert als der Zeitraum zwischen dem „Ski Opening“ und dem „Ski Closing“. Ersteres ist dabei jenes Datum, an wel-

chem im Modell erstmals über einen Zeitraum von 5 Tagen die Schneedecke mindestens 30 cm (120 mm SWE) mächtig ist. Analog ist Letzteres erreicht, sobald über einen Zeitraum von 10 Tagen die Schneedecke weniger als 20 cm (80 mm SWE) mächtig ist. Es sei darauf hingewiesen, dass im Modell weder eine Veränderung der Effizienz der Beschneiungsanlage noch der Beschneiungsstrategie vorgenommen wird, also die szenarische Entwicklung lediglich die Veränderung der Schneibedingungen durch ein verändertes Klima wieder gibt.

Wie Abb. 1 (S. 54, links) zeigt, nimmt die Skisaison in den Bereichen der Skipisten (d.h. dort, wo im Modell beschneit wird) in allen Höhenlagen um mindestens 15 Tage ab, in einzelnen Bereichen sogar um mehr als einen Monat. Abb. 1 (S. 54, rechts) zeigt die relative Änderung der saisonalen Schneeproduktion. Aufgrund schlechterer Beschneiungsbedingungen in der Zukunft nimmt diese in den mittleren und hohen Lagen um 5 bis 20 % ab, wohingegen es in den Tallagen teilweise zu einer leichten Zunahme kommt. Diese ist bedingt durch die im Modell angenommene Beschneiungspraxis: in diesen Lagen wird der 60-cm-Schwellenwert für die Mindestschneehöhe auf den Pisten in Zukunft häufiger unterschritten, wodurch häufiger nachbeschneit werden muss. Durch die steigenden Temperaturen gehen die potentiell zur Verfügung stehenden Stunden, in denen die vorherrschenden meteorologischen Bedingungen eine Beschneiung erlauben, deutlich zurück. Dies schlägt sich im Modell mit einer deutlichen Abnahme der Schneeproduktion trotz eines steigenden Beschneiungsbedarfs nieder. Die sinkende Schneeproduktion, kombiniert mit den steigenden Temperaturen, bedingt eine Verkürzung der Skisaisonlänge zwischen 2 und 5 Wochen, was einem relativen Rückgang von etwa 20 % entspricht. Wie eingangs bereits dargestellt, muss allerdings beachtet werden, dass diese Ergebnisse auf den im Modell getroffenen Annahmen beruhen (Vollbeschneiung von Anfang November bis Mitte Dezember, gleichmäßig über Pistenfläche und Höhenlagen verteilte Schneeezeuger etc.) sowie dass

Abb. 2:
Mit AMUNDSEN modellierte, natürliche und technische Schneebedingungen (Mächtigkeit der Schneedecke) für ein Skigebiet in der Region Schladming für den 15. Januar 2011, 08:00 Uhr. Die beschneiten Pistenflächen sind deutlich als Bereiche mit Schneehöhen von über einem Meter zu erkennen. Für die natürliche Schneedecke im Umfeld der Pisten sind die Schneehöhen deutlich geringer. In diesem Simulationslauf war das AMUNDSEN-Modul zur expliziten Berechnung der Schneeverhältnisse für Waldbereiche aus Performanzgründen nicht aktiviert.



ein potentieller Ausbau der Skigebietsinfrastruktur in der Zukunft (mehr Erzeuger, Erhöhung der Pumpkapazität) oder technologische Weiterentwicklungen (Erhöhung des Wasserdurchsatzes bzw. Beschneiung bei höheren Temperaturen) nicht berücksichtigt sind.

Das Beschneiungsmodul in AMUNDSEN wird gegenwärtig im Rahmen des von der

Abb. 3:
Umwelt- und Verfahrenstechniker des MCI - The Entrepreneurial School bei der Bestimmung der Schneedichte und -feuchte.



EU geförderten H2020-Projekts PROSNOW (www.prosnow.org) weiterentwickelt. In der neuen Modellversion ist es nun möglich, jeden einzelnen Schneerzeuger mit seiner exakten Lage und seinen technischen Daten im Modell zu implementieren. Damit kann die produzierte Schneemenge mit dem dazu notwendigen Bedarf an Wasser und Energie für jeden Schneerzeuger einzeln und explizit dargestellt werden. Dies erfordert natürlich die Bereitschaft der Skigebietsbetreiber, die für diese detaillierten Berechnungen notwendigen Daten einzupflegen. Forschungsmethodisch ist dies ein wichtiger Integrationsprozess, der am besten in einem von Beginn an transdisziplinären Projektsetting entwickelt wird (Strasser et al. 2014). Die produzierte Schneemenge hängt ab vom Typ des Schneerzeugers, der Feuchtigkeitstemperatur, der Infrastruktur des Skigebietes (Wasserversorgung und Pumpkapazität), sowie dem Schneebedarf. Die Wasserverluste während der Schneeproduktion durch Verdunstung und Sublimation werden explizit berücksichtigt, wie auch die Eigenschaften des technischen Schnees, welcher sich auf der Piste mit dem Naturschnee mischt und mechanisch



Abb. 4:
Messschema im Freiluftlabor des Schneezentrum Tirol im Kühltai zur Vermessung technisch erzeugter Schneevolumina.

präpariert wird. Dieser Schnee ist es dann, welcher von den Skifahrern befahren und durch den Skibetrieb talab verschoben wird. AMUNDSEN bilanziert diese Prozesse und kann den Abbau der Schneedecke mit ihren ganz speziellen Eigenschaften nun für einzelne Pistenabschnitte und damit auch für das Skigebiet mitrechnen. In der Validierung zeigte der neue Modellansatz sehr gute Ergebnisse. Mit realer Beschneiungs-Infrastruktur und Beschneiungspraxis aus einem Skigebiet in der Schladminger Skiregion als Modellparameter konnte für die Periode 2003–2011 eine sehr gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit hochauflösten Satellitenaufnahmen festgestellt werden (Hanzer et al. 2014). Sowohl die simulierten Stunden der Schneeproduktion als auch der Wasser- und Energieeinsatz sowie die simulierte Länge der Skisaison werden genau reproduziert. Dies zeigt, dass es mit dem

neuen Modellansatz möglich ist, die Beschneiungsbedingungen, die technische Schneeproduktion sowie die sich daraus ergebenden Pistenverhältnisse präzise darzustellen.

Mit dem neuen Modellansatz in AMUNDSEN ist es nun möglich, verschiedene Management-Strategien der technischen Beschneiung durchzuplanen. Dazu zählen z. B. eine Veränderung der technischen Infrastruktur (neue, effizientere Geräte), der Anzahl der Erzeuger oder deren Lage, oder eine Vergrößerung der Kapazität bzw. Leistung von Speicher- und Pumpanlagen.

Auch auf der Eingabedatenseite ist das neue Modell sehr flexibel: neben der Anwendung in klassische Klimawandel-Impaktstudien wird AMUNDSEN in PROSNOW für die saisonale Vorhersage der

Forschung zur Effizienzsteigerung der technischen Schneerzeugung

**schneezentrum
Tirol**

Die Tiroler Skigebiete verwenden zur Erzeugung von technischem Schnee nur reines Trinkwasser. Dieses wird mit CO₂-neutraler Energie und ohne jegliche Zusätze durch feine Düsen in die kalte Winterluft gesprüht. Ein Teil des Wassers gefriert dabei zu kleinen Eiskörnern (Technischer Schnee), ein anderer Teil verdunstet und ein dritter Teil bleibt trotz der tiefen Temperaturen flüssig. Das Verhältnis variiert in Abhängigkeit von den Wetterbedingungen und der Geometrie der Düsen. Im Winter forschen wir daher hier im Messcontainer, um die Ressourcen möglichst effizient einzusetzen.

Definiert durch

Abb. 5:
Schautafel am Freiluftlabor des Schneezentrum Tirol im Kühltai, die den wesentlichen Inhalt der Forschungsarbeiten erläutert (siehe www.schneezentrum.tirol).

Schneeverhältnisse auf den Pisten verwendet. Dabei kommen downgescalte und aggregierte Prognosen des ECMWF und von Météo-France sowie Copernicus Climate Change Services zum Einsatz (Carmagnola et al. 2018), die auch bei vielen Wetterdiensten im Alpenraum Verwendung finden.

Mit diesen Datenprodukten werden im saisonalen Prognosemodus für eine Vielzahl angenommener Entwicklungen der Wetterverhältnisse bis zum Ende des Winters verschiedene Bandbreiten von einstellbaren Management-Optionen vorausgerechnet: dazu zählen Produktionsperiode und -zeiten für technischen Schnee, verschiedene Konfigurationen der Schneerzeuger (Kanonen und Lanz, jeweils Produktionsrate und Temperaturgrenzwert), eine maximale Windgeschwindigkeit zur Schneeproduktion, oder Grenzwerte der Schneehöhe auf den Pisten zur Erst- bzw. Nachbeschneiung. Da diese Einstellungen während der Saison kaum verändert werden können, beziehen sie sich in der Modell-Simulation bis zum Ende des Skibetriebs auf den Pisten und werden daher als „strategisch“ bezeichnet. Ergänzend gibt es im Modell noch *taktische* Einstellungsmöglichkeiten, die nur für die jeweils kommenden Tage gelten. Diese erlauben es, die technische Beschneiung jeweils – auch für einzelne Tage – bezogen auf jeden einzelnen Schneerzeuger auszusetzen. So kann das Einsparpotential solcher „Beschneiungspausen“ mitberechnet werden, bzw. auch, als Grenzfall, der weitere Saisonverlauf ganz ohne technische Beschneiung. Abschließend können im Modell die errechneten Schneehöhen mittels Schneehöhenmessung validiert und entsprechend auf die örtlichen Realitäten angepasst werden. Damit besteht beispielsweise die Möglichkeit, im Modell die Effekte von Windabrasion in Kammlagen oder andere kleinräumige Besonderheiten mit zu berücksichtigen. Insgesamt ergeben sich 34 Simulationsläufe für die strategischen und taktischen Einstellvariablen, welche für jedes Skigebiet und jeden der berechneten saisonalen Wetterverläufe berechnet werden. Getestet werden die neuen Modell-Funktionalitäten

im Moment für die Testgebiete Seefeld und Obergurgl (beide in Tirol; Ersteres mit Weltcup und WM-Langlaufloipen), sowie Kolfuschg und St. Vigil (diese beiden in Südtirol).

Neben der Steuerung für die saisonale Beschneiung lassen sich mittel- und langfristige Investitionen mit Hilfe des Modells testen. Die Erkenntnisse aus dem Freiluftlabor des Schneezentrum Tirol im Kühtai/Österreich, das auch im Projekt PROSNOW die Zusammenarbeit der Universitäten und Wetterdienste einerseits und der Skigebiete andererseits steuert, können dabei individuell genutzt werden. Mittelfristig werden so im Modell auch die Effizienzdaten unterschiedlicher Schneerzeuger (produziertes Schneevolumen, Schneefeuchte bzw. SWE oder auch Verdunstungsraten) berücksichtigt, so dass eine sowohl ökonomischen als auch ökologischen Gesichtspunkten entsprechende Optimierung der Beschneiung geplant werden kann.

Im Projekt PROSNOW werden auch neue Ansätze für die Pistenpräparation und innovative Verfahren zur räumlichen Diskretisierung der Pistenflächen in die Modellierung integriert. Die neuesten Projektentwicklungen sind auf dem Internetportal www.prosnow.org zu erfahren (eine detaillierte Publikation dazu ist gerade in Vorbereitung). Zudem sind das Institut für Geographie an der Universität Innsbruck und das Schneezentrum Tirol am MCI – The Entrepreneurial School darum bemüht, in enger Zusammenarbeit mit vielen Skigebieten in Tirol und darüber hinaus auch nach Abschluss des EU-Projekts PROSNOW laufend Modellverbesserungen einzuarbeiten und diese zusammen mit dem gemeinsam entwickelten Know-How interessierten Skigebieten entsprechend individualisiert zur Verfügung zu stellen.

Literatur- und Quellenangaben

- C.M. Carmagnola et al. (2018). PROSNOW – Provision of a prediction system allowing for management and optimization of snow in Alpine ski resorts, abstracts. 2nd GEWEX/INARCH workshop. Schneefernerhaus. Zugspitze
- F. Hanzer et al. (2018). Projected hydrological and cryospheric impacts of 21st century climate change in the Ötztal Alps (Austria) simulated using a physically based approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, S. 1593–1614. <https://dx.doi.org/10.5194/hess-22-1593-2018>
- F. Hanzer et al. (2016). Multi-level spatiotemporal validation of snow/ice mass balance and runoff modeling in glacierized catchments. *The Cryosphere.* 10. S. 1859–1881. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-10-1859-2016>
- F. Hanzer, T. Marke und U. Strasser (2014). Distributed, explicit modelling of technical snow production for a ski area in the Schladming Region (Austrian Alps). *Cold Reg. Sci. Technol.* 108. S. 113–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.08.003>
- T. Marke (2018). Simulation of Past Changes in the Austrian Snow Cover 1948–2009. *J. Hydrometeor.* <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0245.1>
- T. Marke et al. (2015). Scenarios of future snow conditions in Styria (Austrian Alps). *J. Hydrometeor.* 16. S. 261–277. <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-14-0035.1>
- P. Spandre et al. (2016). Integration of snow management processes into a detailed snowpack model. *Cold Reg. Sci. Technol.* 125, S. 48–64. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.01.002>
- U. Strasser (2008). Die Modellierung der Gebirgsschneedecke im Nationalpark Berchtesgaden. Modelling of the mountain snow cover in the Berchtesgaden National Park, Berchtesgaden National Park research report, Nr. 55. Berchtesgaden. ISSN 0172-0023. ISBN 978-3-922325-62-8. EAN-Code 9783922325628
- U. Strasser et al. (2008). Is snow sublimation important in the alpine water balance? *The Cryosphere.* 2. S. 53–66. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-2-53-2008>
- U. Strasser et al. (2014). Coupled component modelling for inter- and transdisciplinary climate change impact research: Dimensions of integration and examples of interface design. *Env. Mod. Soft.* 60. S. 180–187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.014>
- U. Strasser, M. Warscher, G.E. Liston (2011). Modelling snow-canopy processes on an idealized mountain. *J. Hydrometeor.* Vol. 12, No. 4, S. 663–677. <http://dx.doi.org/10.1175/2011JHM1344.1>
- M. Warscher et al. (2013). Performance of complex snow cover descriptions in a distributed hydrological model system: A case study for the high Alpine terrain of the Berchtesgaden Alps. *Water Resour. Res.* 49. 5. S. 2619–2637. <https://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20219>

Die Vielfalt des Winters

Anpassungsmaßnahmen zwischen natürlicher Variabilität und anthropogenem Klimawandel

Themenbereich: Skisport und Umwelt

Kay Helfricht, Andrea Fischer, Lea Hartl, Marc Olefs

Zusammenfassung: Lufttemperatur, Niederschlag, die Höhe der Naturschneedecke und die Dauer der Naturschneedeckung zeigen eine hohe statistische Variabilität, weichen also häufig und in beträchtlichem Ausmaß vom klimatischen Mittelwert ab. Vor allem zu Beginn der Saison im November und Dezember war ausreichend Naturschnee für den Skibetrieb über die letzten Jahre eher die Ausnahme. Durch den Einsatz von technischer Schneerzeugung kann die Variabilität der Naturschneedecke zumindest teilweise ausgeglichen werden, denn die Wahrscheinlichkeit, dass zu Beginn der Saison beschneit werden kann, ist meist höher, als die Wahrscheinlichkeit für ausreichend Naturschnee. Nach einer kurzen Einführung in die Variabilität des Winters stellen wir Ergebnisse einer detaillierten Studie über die Entwicklung von Bedingungen vor, welche eine technische Beschneiung zulassen. Eine Erweiterung dieser Studie auf bis 2050 möglichen Temperaturänderungen zeigt: wenn der Umgang mit der heutigen natürlichen Variabilität im Hinblick auf eine für den Saisonstart rechtzeitige Pistenpräparierung gelingt, ist man mittelfristig für einen Großteil der zukünftigen Winter gerüstet. Eine hundertprozentige Schneesicherheit ist jedoch weder im vergangenen noch im gegenwärtigen Klima erzielbar. Die Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels werden in Zukunft Auswirkungen auf die Ausbildung und Dauer der Naturschneedecke und damit auch auf die technische Schneerzeugung haben.

Abstract: Temperature and precipitation as well as snow depth and the duration of the natural snow cover during the winter months show high statistical variability. Particularly in the beginning of the snow season - in November and December - the natural snow cover is often insufficient for opening ski slopes. Technical snow production can partially compensate for the natural variability associated with the early season snow pack: at this time of year conditions favourable for snow production are usually more likely to occur than sufficient natural snow. After a brief introduction discussing the natural variability of the winter season, we present results of a detailed study analysing past weather conditions as they relate to technical snow production. An extension of this study to possible future temperature changes shows that ski resorts which are currently handling the natural variability of snow conditions successfully through use of technical snow production will likely be able to continue to do so in the medium term future. However, the effects of anthropogenic climate change will increasingly impact the formation and duration of the natural snow pack and will affect technical snow production in the future.

Einführung

Der letzte Winter 2017/18 war in den Alpen gefühlt kein schlechter. Wiederholte Schneefälle legten bereits im Dezember eine geschlossene Schneedecke bis in die Täler Österreichs. Und auch im Januar gab es zwischen überdurchschnittlich hohen Temperaturen Tage mit ergiebigen Schneefällen. Gegenüber dem langjährigen Mittel zu kalt verlief die zweite Hälfte des Winters, was in Verbindung mit der vorhandenen Schneedecke ein wahres Wintermärchen zauberte. Objektiv verlief

die zweite Winterhälfte aber auch nicht gerade typisch, da deutlich zu trocken. Ab Anfang Februar blieben Schneefälle fast gänzlich aus, und überdurchschnittliche Temperaturen ab April bescherten dem Winter auch in größeren Höhen ein schnelles Aus.

Der vergangene Winter ist nur einer von 30 Wintern, die es braucht, um das Klima zu beschreiben. Aus diesen Wintern werden Mittelwerte für Temperatur, Niederschlag und für weitere meteorologische Parameter abgeleitet. Zur Klimasta-

tistik gehört aber nicht nur der mittlere Zustand, sondern auch die beobachtete Streuung um diesen sowie die Minimal- und Maximalwerte aus der dreißigjährigen Zeitreihe. Diese Kennwerte kann man für Jahreszeiten, für einzelne Monate, aber auch für einzelne Tage berechnen. Setzt man die Streuung und die Extremwerte ins Verhältnis zum Mittelwert, so lässt sich die Variabilität beschreiben.

Eine solche Statistik findet sich für Österreich auf der Klima-Informationsseite der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell>.

Diese Variabilität beschäftigt auch die Skigebietsbetreiber, möchten sie doch verlässlich, rechtzeitig und durchgängig den Skibetrieb gewährleisten. Gerade zu Beginn des Winters entscheiden oft wenige Grad Celsius Lufttemperatur zwischen Schnee oder Regen, zwischen zu warm oder zu kalt für eine technische Beschneiung. Letztere ist zumindest auch möglich, wenn es ausreichend Minusgrade hat, der natürliche Niederschlag aber ausbleibt. Wo und für wie lange die technische Beschneiung eine vernünftige Möglichkeit zur Sicherung des Skibetriebes ist, wurde in einer Studie, durchgeführt vom Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (IGF) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der Wirtschaftskammer Österreich (WKO), Fachverband Seilbahnen und gefördert von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), genauer untersucht.

Die Variabilität des Winters

Betrachten wir aber zunächst die meteorologische Variabilität des Kernwinters, bestehend aus den Monaten Dezember, Januar und Februar anhand der Parameter Temperatur und Niederschlag. Diese können nicht nur zwischen den Jahren und innerhalb einer Saison stark variieren, sondern auch räumlich deutlich voneinander abweichen. In Abbildung 1 (S. 66) sind die Abweichungen der Temperatur gegenüber den Klimanormalwerten für

zwei aufeinander folgende Winter in Österreich dargestellt. Während der Winter 2005/2006 für ganz Österreich um etwa 2°C zu kalt ausfiel, war der Winter 2006/2007 um 3,5°C wärmer als das langjährige Mittel aus dem Bezugszeitraum 1981–2010. Das heißt, die Wintermitteltemperatur unterschied sich zwischen diesen zwei Wintern österreichweit nahezu einheitlich um 5,5°C, bei einem Mittelwert im Bezugszeitraum von -2,1°C.

Vergleichen wir die zwei vergangenen Winter (Abb. 1, S. 66), so zeigt sich ein anderes Bild. Beide Winter haben eine recht einheitliche, über die Fläche Österreichs gemittelte Temperaturabweichung von etwa einem halben Grad Celsius, wobei jedoch die regionalen Unterschiede sehr ausgeprägt sind. Im Winter 2016/2017 zeigte die mittlere Temperatur positive Abweichungen im Hochgebirge und negative Abweichungen im Flachland. Das Bild der Temperaturabweichung des Winters 2017/2018 ist genau entgegengesetzt, mit zu kühlen Bedingungen im Bergland und einer positiven Temperaturabweichung im Osten Österreichs.

Aber nicht nur die Temperatur kann zwischen zwei Wintern stark variieren, auch der Niederschlag ist räumlich sowie zeitlich sehr variabel. Wiederum für die vergangenen zwei Kernwinter ist die Abweichung des Niederschlages in Abbildung 1 (S. 66) dargestellt. Während der Winter 2016/2017 flächendeckend deutlich zu trocken ausfiel, war der vergangene Winter regional vor allem entlang des Alpenhauptkamms zwar recht schneereich, im Flächenmittel aber nur noch leicht überdurchschnittlich. Und in einzelne Regionen im Nordosten Österreichs ist nur mehr die Hälfte des mittleren Niederschlags gefallen.

Wollen wir etwas über den Verlauf des Winters wissen, dann sind saisonale Mittelwerte der meteorologischen Messgrößen allein nicht ausreichend. Zoomen wir noch etwas in den vergangenen Winter hinein, dann zeigt sich anhand der Tagesmittelwerte auch die Variabilität im Verlauf der Witterung. Der Kernwinter an der Station Innsbruck-Universität (Abbildung 2, S. 67) ist von anfangs leicht

Verfasser

PhD Kay Helfricht

Institut für
Interdisziplinäre
Gebirgsforschung
Innsbruck (IGF),
Österreichische
Akademie der
Wissenschaften (ÖAW)

E-Mail: kay.helfricht@oeaw.ac.at

Dr. Andrea Fischer

Institut für
Interdisziplinäre
Gebirgsforschung
Innsbruck (IGF),
Österreichische
Akademie der
Wissenschaften (ÖAW)

E-Mail: andrea.fischer@oeaw.ac.at

Lea Hartl

University of Alaska
Fairbanks (UAF)

E-Mail:
lbhartl@alaska.edu

Dr. Marc Olefs

Zentralanstalt für
Meteorologie und
Geodynamik (ZAMG),
Abteilung
Klimaforschung

E-Mail:
marc.olefs@zamg.ac.at

unterdurchschnittlichen Temperaturen geprägt, gefolgt von einem relativ warmen Januar und einem zu kühlen Februar. Während ein Großteil der Tagesmitteltemperaturen der Jahreszeit entsprach, gab es aber auch neue Tagesmaxima der Mitteltemperatur (8. und 9. Januar) und neue Temperaturminima (27. und 28. Februar). Selbst in nahezu durchschnittlichen Wintern kann es also zu positiven und negativen Extremwerten der Tagesmitteltemperaturen kommen.

Anhand des akkumulierten Niederschlages in Abbildung 2 (S. 67) sieht man, dass die für den Kernwinter stark positiven Abweichung (Abbildung 1, S. 66) bereits in der ersten Winterhälfte zustande kamen, und ab Ende Januar der Winter sehr trocken verlief. Dabei fällt auf, dass die ergiebigen Niederschläge stets mit etwas erhöhten Temperaturen gegenüber dem Mittel auftraten.

Die hier genannten Beispiele zeigen einen kleinen Ausschnitt der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität des Winters. Wie die Temperatur und der Niederschlag im Kernwinter zeigt auch die Höhe der Naturschneedecke und die Dauer der Naturschneedeckung eine hohe statistische Variabilität. Es gibt immer wieder Jahre, in denen viel Schnee liegen bleibt, und andere, in denen die Niederschläge ausbleiben oder Tauwetter die Schneedeckung stark reduziert. Hier sind nochmals die zwei vergangenen Winter zu nennen. Im Winter 2016/2017 lag besonders wenig Schnee am Nordrand der Alpen, im Winter 2017/2018 wurden hingegen bemerkenswert hohe Schneemengen verzeichnet. Grund dafür waren die speziellen Strömungsmuster der Luftmassen in den zwei verschiedenen Wintern.

Ebenfalls entscheidend für die Ausbildung der Schneedecke bleibt, dass der nötige Niederschlag auch auf entsprechend kalte Temperaturen trifft. Die Höhenlage dieses sensiblen Bereiches des Übergangs von Regen zu Schnee wird Schneefallgrenze genannt. Diese ist in Österreich seit 1980 gestiegen (APCC 2014). Davon betroffen sind besonders die Randmonate des Winters, in denen es bei Temperaturen um

den Gefrierpunkt gerade noch regnet oder bereits schneit.

Bereits jetzt ist vor allem zu Beginn der Skisaison (November/Dezember) in mittleren Gebirgslagen zwischen 1000 und 2000 m häufig kaum ausreichend Naturschnee für den Skibetrieb vorhanden. Und gerade in diesem Höhenbereich ist mit einem weiteren Rückgang der natürlichen Schneedeckung zu rechnen (APCC 2014).

Im Gegensatz zur Wahrscheinlichkeit für ausreichend Naturschnee ist die Wahrscheinlichkeit, dass zu in diesem Zeitraum beschneit werden kann, meist höher.

Es stellt sich also die Frage, ob die Variabilität der Naturschneedecke besonders zu Beginn der Skisaison durch den Einsatz von technischer Beschneiung zumindest teilweise ausgeglichen werden kann, und ob dies auch in Zukunft noch möglich sein wird.

Die Studie

Am Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (IGF) wurden die meteorologischen Bedingungen für Beschneiung der letzten Jahrzehnte analysiert (Hartl und Fischer 2015, Hartl et al. 2018). Es wurde also geschaut, wie sich die Voraussetzungen für eine natürliche Schneedecke sowie für die technische Beschneiung an Wetterstationen in der Nähe von ausgewählten Skigebieten in der Vergangenheit geändert haben und welche Änderungen unter einem zukünftigen Temperaturanstieg bis Mitte des 21. Jahrhunderts zu erwarten sind.

Für eine geschlossene und für den Skibetrieb nutzbare natürliche Schneedecke braucht es eine Schneehöhe von mindestens 30 cm. Mit gängigen Erzeugern kann Schnee technisch produziert werden, wenn die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit das Gefrieren von Wassertropfen in der Luft ermöglichen. Die Temperaturgröße, welche die Luftfeuchtigkeit mit einbezieht, ist die sogenannte Feuchttemperatur, oder auch Feuchtku-

geltemperatur. Diese muss für die technische Beschneiung unter dem Grenzwert von -2°C liegen (Olefs et al. 2010). Generell kann umso effizienter Beschneit werden, je trockener und kälter die Luft ist. Feuchte und warme Luft verringert hingegen die Schneileistung.

In der Studie wurde die Häufigkeitsverteilung der Beschneizeiten für 28 ausgewählte Wetterstationen, darunter 11 Stationen des Deutschen Wetterdienstes und 17 Stationen der Österreichischen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, mit Höhenlagen zwischen 267 bis 3109 m Seehöhe untersucht. Dabei wurde auf die qualitätskontrollierten Messwerte der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit an Stationen zurückgegriffen, da diese gegenüber Ergebnissen aus Computermodellen mikroklimatische Effekte wie z. B. Temperaturinversionen beinhaltet und ausreichend lange Zeitreihen besitzen. Einzelne Datenreihen reichen dabei bis über 80 Jahre zurück. An 11 deutschen und 9 österreichischen Wetterstationen standen zudem ausreichend lange Zeitreihen der Schneehöhe für eine statistische Analyse zur Verfügung.

Es wurde also aufgrund von Stunden- und Tagesmittelwerten der Feuchttemperatur untersucht, ob technische Beschneiung zum Zeitpunkt der Messung am Messstandort potentiell möglich gewesen wäre. Ein Tag mit einem Tagesmittelwert der Feuchttemperatur unter -2°C wurde als „Beschneitag“ gewertet, eine Stunde analog als „Beschneistunde“. Die Auswertung erfolgten für die Perioden 1973/74–1994/94 und 1994/95–2013/14. Zwischen diesen 20-jährigen Zeiträumen wurde die Anzahl der Beschneitage pro Saison (1. Oktober bis 31. April) und pro Monat mit der Mann-Kendall-Methode auf klimatologische Trends untersucht.

Änderung der potenziellen Schneitage

Sowohl die Bedingungen für die Beschneiung als auch die Wahrscheinlichkeit für eine natürliche Schneedecke steigen zu Beginn der Saison rasch an und fallen am Ende ebenso rasch wieder ab (Abbildung 3, S. 67). Dabei ist die Wahrscheinlichkeit für eine potentielle Beschneiung in den ersten Wintermonaten stets höher als die Wahrscheinlichkeit einer natürlichen Schneedecke.

Die durchschnittliche Anzahl der Schneitage pro Saison an den untersuchten Standorten liegt zwischen 200 Tagen auf 3109 m Seehöhe und 23 Tagen auf 267 m Seehöhe. In den letzten 20 Jahren gab es an fast allen Stationen im Mittel weniger Schneitage als in den 20 Jahren davor. Der Mittelwert sank um 9 Tage auf 86 Schneitage pro Saison. Dabei änderte sich die Anzahl der Schneitage für Stationen unter 1000 m wenig, da diese Zahl vergleichsweise niedrig und generell sehr variabel ist. Die stärksten Änderungen der Beschneizeiten traten in mittleren Höhenlagen auf. Die mittlere Änderung der Schneitage pro Saison für Stationen über 1000 m Seehöhe beträgt 15 Tage.

Wie einführend erwähnt, interessiert vor allem der Beginn der Skisaison, je nach Höhenlage von November bis Dezember. Für die Periode 1994/95–2014/15 ist im Mittel die Beschneiung im November an 10 Tagen möglich. Im Dezember ist die Beschneiung im Mittel an 18 Tagen möglich. Die mittlere Anzahl der Schneitage im Dezember liegt zwischen 31 Tagen an der höchsten und 6 Tagen an der niedrigsten Station.

Generell zeigt sich, dass sich – gemittelt über alle Stationen – die Anzahl an potentiellen Schneitagen im Dezember am stärksten ändert. In den Abbildungen 4 und 5 (S. 68) ist die Anzahl der Schneitage im Dezember für die Werte der Feuchttemperatur an den Stationen in Deutschland und Österreich dargestellt. Die größten Änderungen der Beschneizeiten treten dabei in mittleren Höhenlagen auf. Dies hängt zum einen damit zusammen, dass an diesen Stationen die Anzahl der Schneitage im November noch gering ist. Zum anderen stehen im Dezember statistisch zwar mehr Tage zur Beschneiung zur Verfügung, diese weisen

aber Feuchttemperaturen nur knapp unter der Grenze von -2 °C auf. Eine geringe Erwärmung hat hier also eine große Auswirkung.

Hingegen änderten sich die Beschneizeiten in höheren Lagen (~3000 m) und tiefen Lagen (unter 1000 m) nicht signifikant. Diese auf den ersten Blick erstaunlich wirkende Tatsache für tiefe Lagen erklärt sich daraus, dass sich hier öfter Inversionen bilden und die Tage, an denen man beschneien kann, in sehr tiefen Lagen schon Extremwerte darstellen, deren statistisches Auftreten sich offensichtlich trotz Verschiebung des Mittelwerts nicht geändert hat. An sehr hoch gelegenen Stationen ist eine Reduzierung an Schneitagen im Oktober und November zu sehen, während die Bedingungen im Dezember weiterhin eine Beschneiung mit hoher Wahrscheinlichkeit zulassen.

Die Zukunft

Um eine grobe Abschätzung möglicher zukünftiger Entwicklungen in der Anzahl potentieller Schneitage zu erlauben, wurde ermittelt, wie sich die Beschneizeiten an den verschiedenen Standorten bei erhöhten Mitteltemperaturen, aber gleichem Witterungsverlauf verändern könnten. Hierzu wurde der mittlere Feuchttemperaturverlauf der letzten 20 Jahre (1994/95–2013/14) mit um 1 °C bzw. 1,8 °C erhöhter Lufttemperatur neu berechnet. Diese Werte entsprechen den Ergebnissen von Modellrechnungen für die Temperaturerhöhung des Temperaturmittels im Alpenraum bis 2030 bzw. bis 2050.

Die Ergebnisse für die einzelnen Stationen sind wiederum in den Abbildungen 4 und 5 (S. 68) dargestellt. Geht man davon aus, dass drei Tage benötigt werden, um eine Grundbeschneiung zu gewährleisten, ist an den meisten Stationen, an denen heute in der Regel bereits vor Weihnachten beschneit werden kann, auch bis 2030 im Mittel eine Beschneiung vor Weihnachten möglich. Bei einer Temperaturerhöhung von 1,8 °C nimmt die Wahrscheinlichkeit,

dass zu einem bestimmten Zeitpunkt der Saison beschneit werden kann, an allen Stationen ab.

Aufgrund der in den nächsten Jahren im Vergleich zum Ende des Jahrhunderts vermutlich moderaten Erwärmung werden die Auswirkungen des Klimawandels bis 2050 auf Beschneizeiten im Vergleich zur natürlichen Variabilität der Schneedecke gering sein. Die Bandbreite zwischen Minimum und Maximum der Feuchttemperatur in der Vergangenheit ist in jedem Fall deutlich größer als die in den nächsten 20 Jahren zu erwartende Erhöhung der mittleren Lufttemperatur. Änderungen der Luftfeuchte in der Zukunft sind unbekannt.

Dennoch ist mit einem weiteren Temperaturanstieg auch ein Anstieg der jetzigen Temperaturextreme wahrscheinlich. Diese stellen neue Herausforderungen vor allem an niedriger gelegene Skigebiete. Denn zum einen nimmt mit einer Temperaturerhöhung die Wahrscheinlichkeit, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt der Saison beschneit werden kann, ab. Zum anderen ist es wahrscheinlicher, dass bereits technisch erzeugter Schnee aufgrund zu hoher Temperaturen wieder schmilzt.

Zusammenfassung

Die Variabilität im Klima des Winters ist groß. Wo bereits jetzt der Einsatz von technischer Beschneiung nötig ist, gewinnt auch die Frage nach der Klimasensibilität der Beschneiung an Bedeutung. In der vorliegenden Arbeit wurden deshalb die Zeiten, in denen die Witterungsbedingungen technische Schneeerzeugung zulassen, für die letzten Jahrzehnte berechnet und die zeitlichen Änderungen analysiert.

Die Witterungsbedingungen im Gebirge können sich auf kleinem Raum stark unterscheiden, daher sind die vorliegenden Ergebnisse streng genommen nur für den Messstandort gültig. Detaillierte Studien zum Mikroklima in Skigebieten wären nötig, um die hier sehr generell gehaltenen Ergebnisse auf die Skala eines ganzen Ski-

gebietes, einer Piste oder eines einzelnen Hanges zu projizieren.

Mit Blick auf die eingangs genannte Variabilität der Winter sind Aussagen über eine Verschiebung des Mittelwertes der Schneehöhe, der Schneedekendauer oder Beschneizeiten generell sicherer als Aussagen über das Vorkommen von Jahren mit extrem wenig oder viel Schnee. Wie bisher werden auch in Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit Winter mit wenig Naturschnee und schlechten Beschneibedingungen auftreten. Ebenso wird es Winter geben, welche ausreichend Naturschnee oder potentielle Beschneizeiten aufgrund günstiger Witterung auch für Skigebiete in Mittelgebirgslagen bringen. Man kann also nicht, wie manchmal aus sehr stark vereinfachten Annahmen abgeleitet wird, davon ausgehen, dass im Zuge eines Klimawandels Skifahren in niedrigen Lagen nicht mehr möglich sein wird. Klimawandel ist besonders auf kleinen räumlichen Skalen komplexer als das einfache Verschieben von Höhenzonen, und die Bandbreite möglicher zukünftiger Klimazustände ist umso größer, je kleiner die räumliche und zeitliche Skala ist, die betrachtet wird und je weiter man in die Zukunft rechnet.

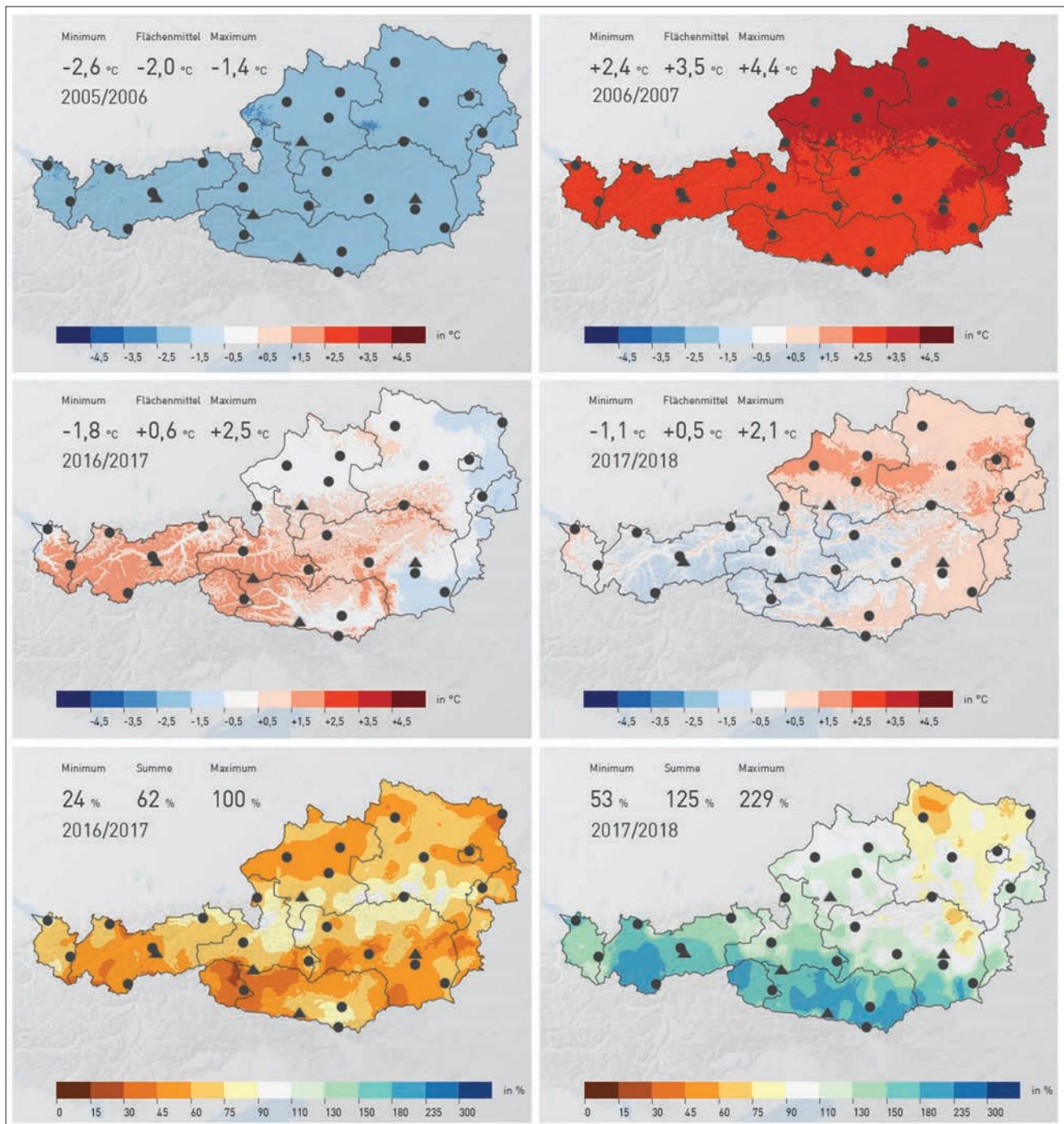
Neben mit dem Klimawandel zusammenhängenden Parametern wie Temperatur, Feuchtigkeit, Schneehöhe spielen auch demographische, sozioökonomische und politische Entwicklungen für die zukünftige Entwicklung des Wintertourismus eine Rolle, ebenso wie Verkehr, Energiekosten und Freizeitverhalten (Fischer et al. 2011). Es ist nicht absehbar, welche dieser Faktoren in welchem zukünftigen Zeitraum für die wirtschaftliche Rentabilität einzelner Skigebiete die größte Rolle spielen werden. Schon jetzt sind es nicht nur kosten- und energieintensive technische Maßnahmen, sondern auch die ökonomischen Rahmenbedingungen, die die Resilienz von Betrieben auch in schneearmen Jahren bedingen. Die technische Erzeugung von Schnee ist da nur eine Methode zur Sicherung des Skigebietbetriebs.

Durch den Einsatz von technischer Beschneiung kann aber die Variabilität der Naturschneedecke besonders zu Beginn

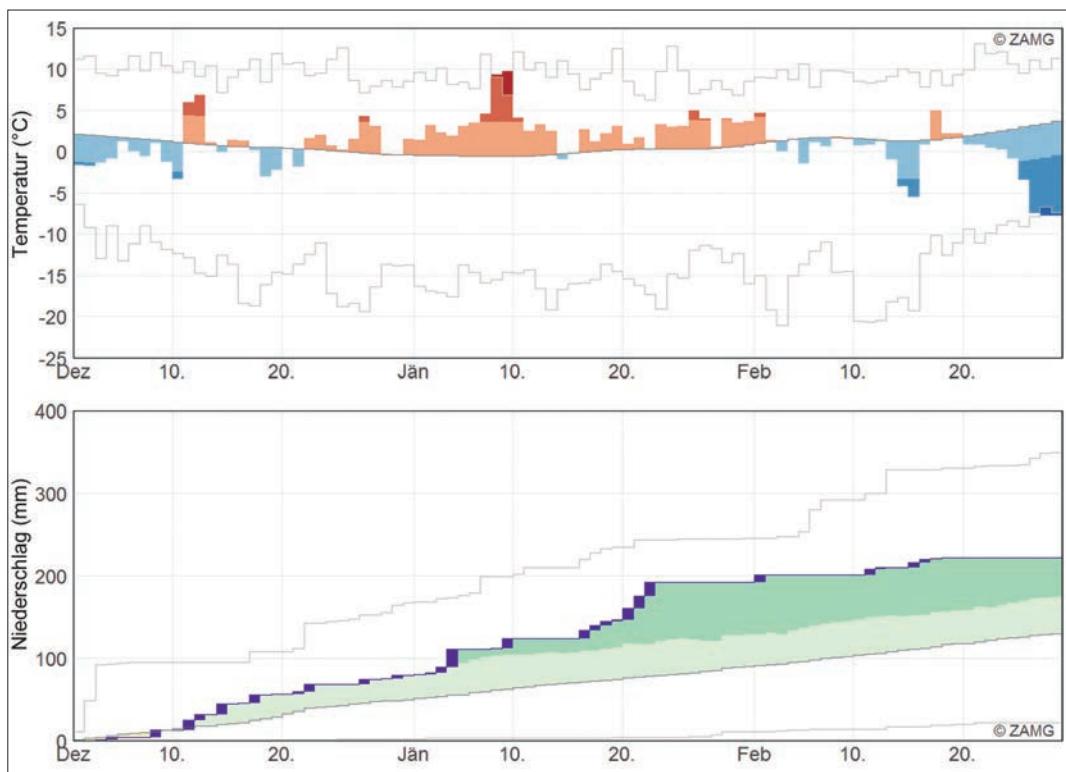
der Skisaison zumindest teilweise ausgeglichen werden. Gelingt der Umgang mit der heute beobachteten Variabilität zu Beginn des Winters, ist man mittelfristig für einen Saisonstart im Dezember sowie einen Großteil der Kernwinter gerüstet. Eine hundertprozentige Schneesicherheit ist jedoch weder im vergangenen, noch ist sie im gegenwärtigen Klima erzielbar. Die Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels werden auch in Zukunft Auswirkungen auf die Ausbildung und Dauer der Naturschneedecke und damit auch auf die technische Schneerzeugung haben.

Literatur- und Quellenangaben

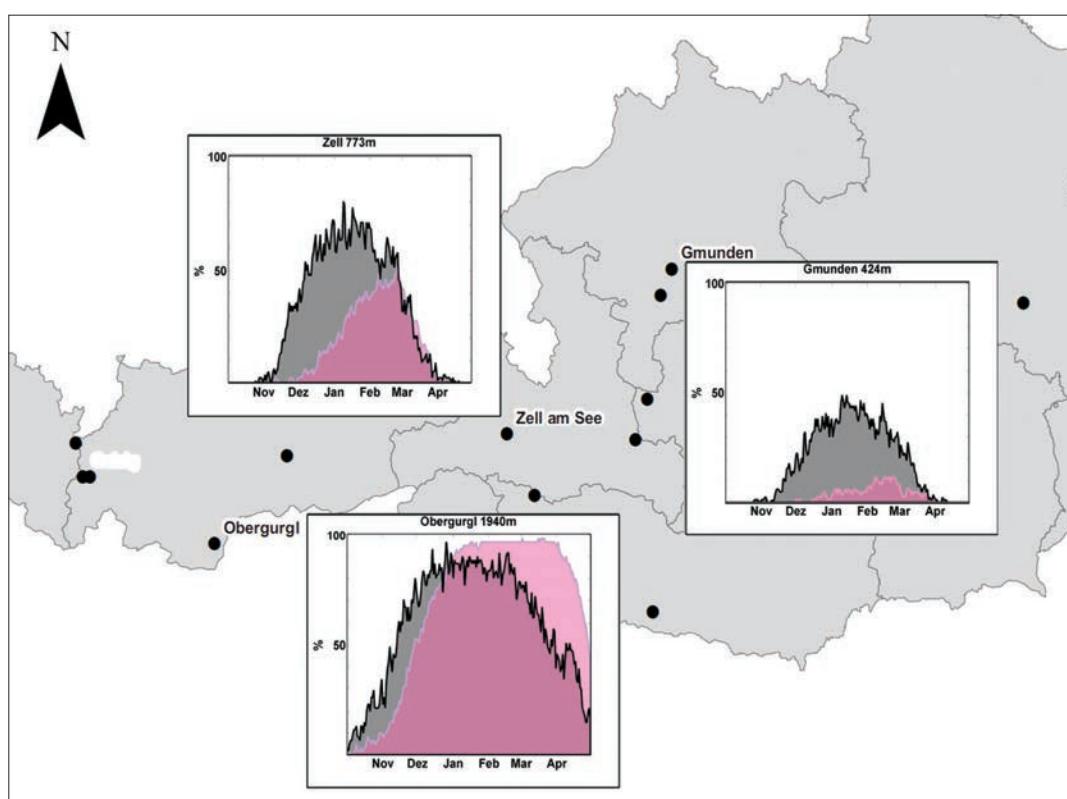
- APCC (2014). Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Wien. Österreich. 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2
- Lea Hartl, Andrea Fischer (2015). Beschneiungsklimatologie – Endbericht. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. 1039 pp, https://doi.org/10.2312/Beschneiungsklimatologie_EB_2015
- Lea Hartl, Andrea Fischer, Marc Olefs (2018): Analysis of past changes in wet bulb temperature in relation to snow making conditions based on long term observations Austria and Germany. Global and Planetary Change. 167. S. 123–136, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.05.011>
- Andrea Fischer, Marc Olefs, Jakob Abermann (2011). Glaciers, snow and ski tourism in Austria's changing climate. Annals of Glaciology. 52/58, S. 89–96
- Marc Olefs, Andrea Fischer, Joseph Lang (2010). Boundary conditions for artificial snow production in the Austrian Alps

**Abb. 1:**

Abweichungen der Mitteltemperaturen für den Kernwinter (Dezember, Januar, Februar) der Jahre 2005/2006 und 2007/2008 (oben), sowie der Jahre 2016/2017 und 2017/2018 (Mitte). Die Abweichungen beziehen sich auf Mittelwerte im Bezugszeitraum 1981–2010. Relativer Anteil des Niederschlags für den Kernwinter (Dezember, Januar, Februar) der Jahre 2016/2017 und 2017/2018 (unten) gegenüber dem Niederschlag im Bezugszeitraum 1981–2010. Abbildungen von <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell> powered by ZAMG data + cyLEDGE skills.

**Abb. 2: (oben)**

Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (oben) und aufsummierter Niederschlag (unten) für den Winter 2017/2018 (Dezember, Januar, Februar) an der Station Innsbruck-Universität. In grau hinterlegt sind die Mittelwerte sowie Minimum und Maximum des Zeitraumes 1981–2010. Die Mittelwerte des Kernwinters liegen bei 1,1°C und 221 mm Niederschlag, und damit 0,3°C und 91 mm über dem mehrjährigen Mittel (von <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell>).

**Abb. 3:**

Lage der Stationen mit einer ausreichend langen Messreihe der Schneehöhe in Österreich. Exemplarisch ist für Gmunden, Zell am See und Obergurgl der mittlere Verlauf der Wahrscheinlichkeit für eine Naturschneedecke von mehr als 30 cm (rosa Fläche) sowie die Wahrscheinlichkeit für Beschneiungsbedingungen (graue Fläche) über die Saison für die Periode 1994/95 bis 2013/14 dargestellt.

Abb. 4: (rechts)
Anzahl der Schneitage im Dezember an den Deutschen Stationen, jeweils Mittel der Periode 1974/75–1993/94 (wenn vorliegend, erster Balken), 1994/95–2013/14 (zweiter Balken), bei einer Erwärmung von +1 °C bis 2030 (dritter Balken) und +1,8 °C bis 2050 (vierter Balken).
Für die vergangenen Perioden (dunkle Balken) ist als Maß für die natürliche Variabilität die Standardabweichung als Fehlerbalken dargestellt.
Die Y-Achse verläuft von 0 bis 31 Tage.

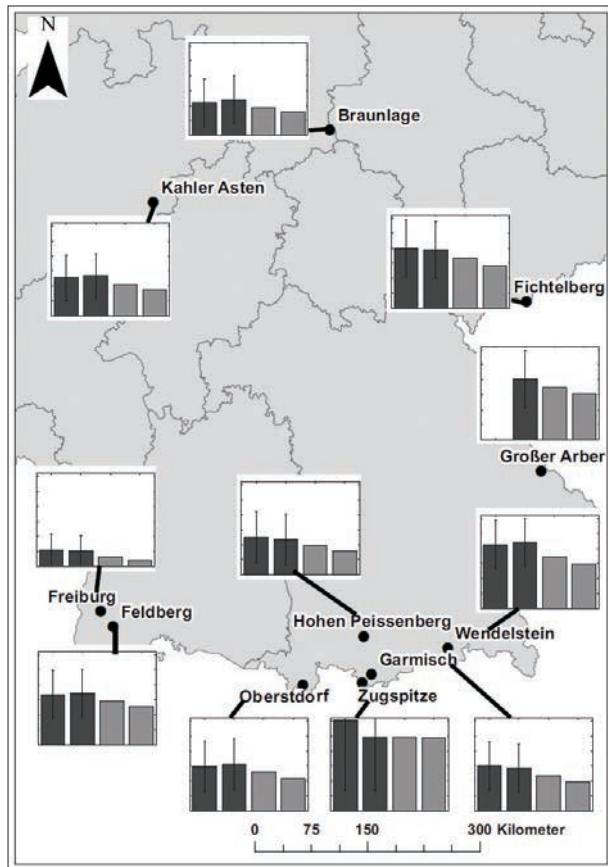
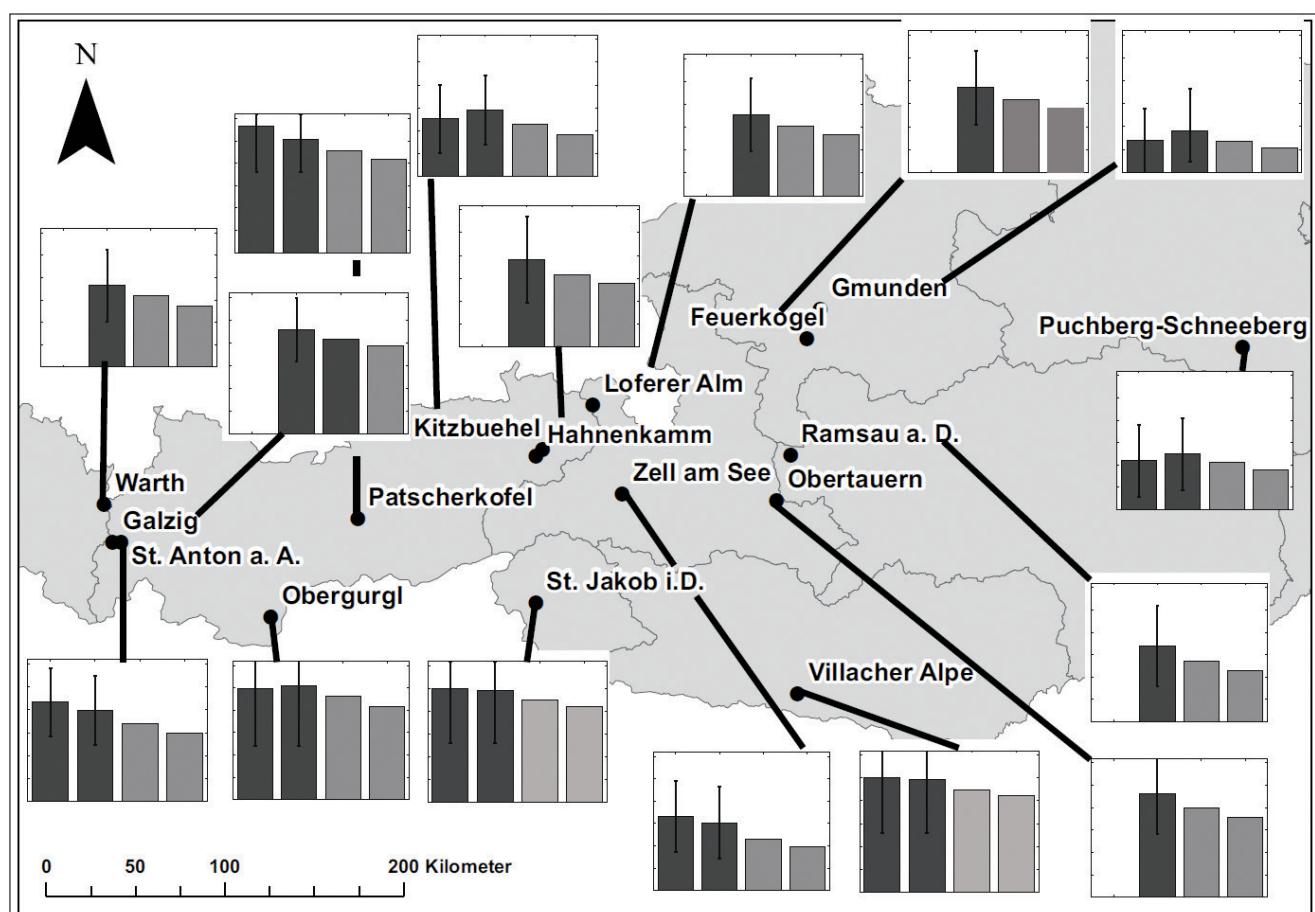


Abb. 5: (unten)
Anzahl der Schneitage im Dezember an den Österreichischen Stationen, jeweils Mittel der Periode 1974/75–1993/94 (wenn vorliegend, erster Balken), 1994/95–2013/14 (zweiter Balken), bei einer Erwärmung von +1 °C bis 2030 (dritter Balken) und +1,8 °C bis 2050 (vierter Balken).
Für die vergangenen Perioden (dunkle Balken) ist als Maß für die natürliche Variabilität die Standardabweichung als Fehlerbalken dargestellt.
Die Y-Achse verläuft von 0 bis 31 Tage.





DSV-Reise-Rücktrittskosten-Versicherung

Ganzjahres-Schutz bei allen Reisen

Exklusiv für DSV aktiv-Mitglieder

**Einmal abschließen – ein ganzes Jahr versichert!
Egal wie oft und wohin Sie reisen. Ab 30,50 € pro Jahr.**

DSV-Reise-Rücktrittskosten-Versicherung als optimaler Ganzjahresschutz. Versichert ist jede während der Vertragslaufzeit gebuchte Reise (außer Geschäftsreisen), bis zum jeweiligen Reisepreis, maximal jedoch bis zur versicherten Summe – und dies zu einem äußerst günstigen Beitrag.
Die DSV-Reise-Rücktrittskosten-Versicherung ist auch möglich bei Partner- und Familienmitgliedschaften.

Weitere Infos und die Möglichkeit zum
Versicherungsabschluss:
Telefon: +49 (0)89 85790-100
E-Mail: DSVaktiv@ski-online.de
Internet: www.ski-online.de



Sicher mit der DSV-Skiwacht

Seit mehr als 40 Jahren sorgen die „Roten Engel“ auf Pisten in ganz Deutschland für Sicherheit und Umweltschutz.

Themenbereich: FdS-/SIS-Mitteilungen

Abb. 1:
270 „Rote Engel“
sind in 61 deut-
schen Skigebieten
für die Sicherheit
der Wintersportler
unterwegs.



Frühmorgens, wenn die Wintersportler in Deutschlands Skigebieten die ersten Schwünge in den Schnee ziehen, haben sie ihren ersten Einsatz bereits hinter sich: die „Roten Engel“ von der DSV-Skiwacht. Der Arbeitstag der DSV-Skiwachtfrauen und -männer beginnt, wenn in den Bergen noch Ruhe herrscht: In ihren leuchtend roten Jacken sind sie morgens die Ersten auf der Piste – und verlassen sie abends als Letzte. Auch im kommenden Winter werden rund 270 „Rote Engel“ in 61 deutschen Skigebieten für die Sicherheit der Wintersportler im Einsatz sein. Damit es möglichst erst gar nicht zu gefährlichen Situationen und Unfällen kommt, steht dabei vor allem die Unfallprävention im Vordergrund. Zugleich sind alle über die Wintermonate

bei der „Stiftung Sicherheit im Skisport“ (SIS) angestellten Mitarbeiter der DSV-Skiwacht ehrenamtliche Bergwachtfrauen und -männer. In dieser Funktion sind sie für den Rettungsdienst zuständig und gewährleisten die schnelle und professionelle Versorgung von Verletzten.

Profis in Sachen Sicherheit

Um Skiunfällen vorzubeugen, überprüfen die „Roten Engel“ bei ihren regelmäßigen Kontrollfahrten mehrmals täglich den ordnungsgemäßen Zustand von Pisten, Beschilderungen und Schleppliftspuren. So werden mögliche Gefahrenquellen rechtzeitig erkannt und durch die Skigebietsbe-



Abb. 2:
Unterstützung der Skigebietsbetreiber gehört zum Tagesgeschäft der DSV-Skiwacht.

treiber beseitigt. Darüber hinaus unterstützen die DSV-Skiwachtfrauen und -männer die Betreiber, wenn Skipisten oder -loipen z. B. wegen Lawinengefahr gesperrt werden müssen. Im Sinne der Unfallprävention gehört es auch zu ihren Aufgaben, Skisportler, die durch ihr Verhalten sich und andere gefährden, auf ihr Fehlverhalten hinzuweisen und positiv zu beeinflussen. Information und Aufklärung steht bei der DSV-Skiwacht auch im Bereich des Umweltschutzes im Vordergrund: So versuchen die „Roten Engel“, das Verständnis für den schonenden Umgang mit der Natur zu wecken und klären Wintersportler über die Bedeutung von Schutzgebieten und nachhaltigem Skisport auf.

Gefragte Expertise bei SIS-Projekten

Die fundierten Fachkenntnisse und Erfahrungen der DSV-Skiwachtmitarbeiter sind auch bei zahlreichen Projekten der „Stiftung Sicherheit im Skisport“ (SIS) gefragt. So fließen bei der Bewertung von Pisten für die Vergabe des Gütesiegels „Prädikat geprüftes Skigebiet“ die Beurteilungen der DSV-Skiwacht mit ein. Darüber hinaus engagiert sich die Rettungsstaffel bei vielen weiteren Projekten der SIS: Im Rahmen der alljährli-

chen „DSV aktiv Safety Days“ schulen die DSV-Skiwachtmitarbeiter Wintersportler im Umgang mit Lawinenverschütteten-Suchgeräten und klären über Gefahren beim Wintersport auf. Auch die Wintersport-Freizeiten für geistig und körperlich beeinträchtigte Kinder und Jugendliche, die seit 1980 von der SIS veranstaltet werden, unterstützen sie tatkräftig.

Starker Partner: die ARAG-Versicherungsgruppe

Auch die „Roten Engel“ brauchen Unterstützung: denn die Arbeit der DSV-Skiwacht kostet jährlich über eine Million Euro! Mit Zuwendungen von rund der Hälfte dieses Betrages trägt die ARAG-Versicherungsgruppe maßgeblich zum Bestand der DSV-Skiwacht bei.

Die Bergwacht stellt die ausgebildeten Bergretter und gemeinsam mit den Skigebietsbetreibern die erforderliche Infrastruktur.

Neben der Finanzierung ist für den Einsatz im Gebirge auch eine optimale und funktionelle Ausrüstung überaus wichtig. Die DSV-Skiwacht wird dabei seit Jahren von den Partnern Atomic, Chiba, Deuter, Edelweiss, Uvex und Ziener ausgestattet.

Informationen & Kontakt

Die Mitarbeiter von DSV aktiv beraten Sie gerne!

Telefon:
[0 89/8 57 90-2 75](tel:08985790275)

E-Mail:
kontakt@ski-online.de

Internet:
www.stiftung.ski

ASU-Unfallanalyse 2017/2018

Unfälle und Verletzungen im alpinen Skisport

David Schulz



1. Zusammenfassung

Schneereicher, langer Winter: Verletzungsrisiko steigt nur leicht an

42 000 bis 44 000 deutsche Skifahrerinnen und Skifahrer verletzten sich in der Saison 2017/2018. Dies bedeutet einen Anstieg im Vergleich zur Vorsaison um etwa 3%. Es wurden nur solche Unfälle in die Statistik aufgenommen, die eine ärztliche Behandlung zur Folge hatten. Zwar beträgt der Rückgang im Vergleich zur Basissaison 1979/1980 etwa 57 Prozentpunkte, aber seit mehreren Saisons ist nun ein Anstieg der Unfallzahlen im Skisport messbar. Zumindest der Anstieg in der aktuellen Saison wird auch durch die hohe Zahl der Skier-Days beeinflusst.

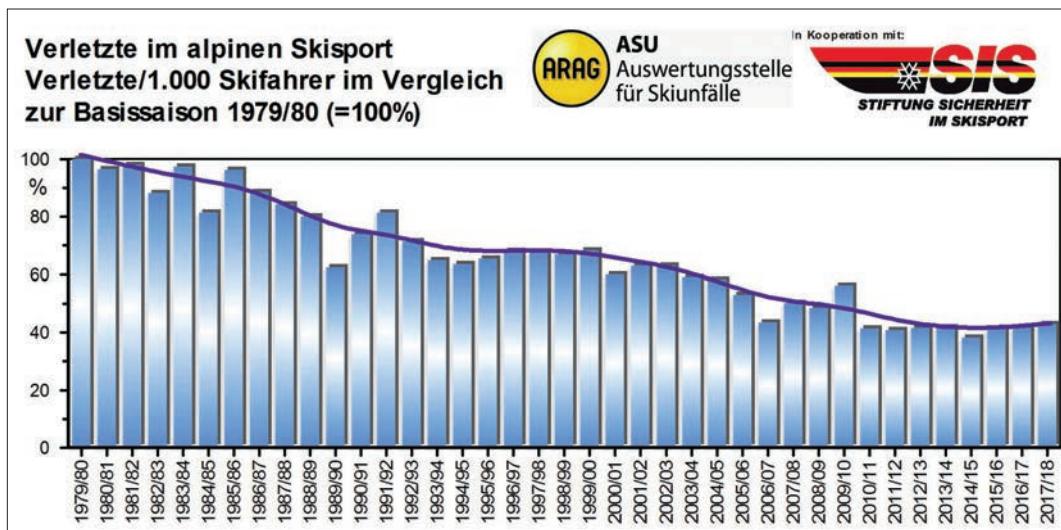
Zahl der stationär behandelten Skifahrer/innen steigt ebenfalls

In der Skisaison 2017/2018 wurden 1,78 je 1000 Skifahrerinnen und Skifahrer

nach einem Skiunfall stationär im Krankenhaus behandelt. Dieser Wert lag in der Vorsaison noch bei 1,68. Hochgerechnet wird davon ausgegangen, dass 7400 bis 7600 Skifahrerinnen und Skifahrer stationär behandelt wurden.

Risiko für Schulter- und Knieverletzungen steigt nochmals an

Das Risiko für Verletzungen der Knie und Schulter ist im Vergleich zur Saison 2016/2017 gestiegen. So verletzten sich 2,89 von 1000 Skifahrerinnen und Skifahrern im Bereich der Knie und 2,46 an der Schulter. Bei den Skifahrerinnen beträgt der Anteil der Knieverletzungen besorgniserregende 42,9 %. Anders bei den Skifahrern: Hier liegen Knie- und Schulerverletzungen nahezu gleichauf und machen gemeinsam knapp die Hälfte aller Verletzungen aus.



Risiko für Kollisionsunfälle erhöht

Nach wie vor stark verbesserungswürdig ist die Situation bei den Kollisionsunfällen: Ein nochmaliger Anstieg gegenüber der Vorsaison führt zu nunmehr 1,21 Kollisionsunfällen je 1000 Skifahrerinnen und Skifahrer. Somit werden 16% der Verletzungen im Skisport durch Kollisionen (mit)verursacht.

3. Aktuelle Skiunfallzahlen

Es ist davon auszugehen, dass sich in der Saison 2017/18 hochgerechnet etwa 42 000 bis 44 000 deutschen Skifahrerinnen und Skifahrer so auf der Piste verletzt haben, dass sie ärztlich behandelt werden mussten. Hierbei wird weiterhin von 4,2 Mio. aktiven Skifahrer/innen ausgegangen und hochgerechnet. Die Gesamtzahl der Verletzten erhöht sich im Vergleich zur Saison 2016/2017 leicht.

2. Einleitung

Jede Statistik ist in großem Maße abhängig von den Personen, welche die Daten erheben. Das Monitoring, das die ASU Ski in enger Zusammenarbeit und Abstimmung DSV aktiv/Freunde des Skisports im DSV, Stiftung Sicherheit im Skisport und ARAG Sportversicherung durchführt, wäre nicht möglich ohne die Mithilfe der vielen Tausend Mitglieder von DSV aktiv, die bereitwillig Auskunft über ihre Unfälle, die erlittenen Verletzungen und deren Folgen geben. An dieser Stelle möchten wir uns herzlich für diese Unterstützung bedanken! Gemeinsam mit Fachleuten und Institutionen wie der Stiftung Sicherheit im Skisport werden auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse Maßnahmen zur Prävention von Verletzungen im Skisport entwickelt und umgesetzt. Denn: Verlässliche Daten zu Verletzungen, Know-how zu präventiven Maßnahmen und enge Kooperation aller Stakeholder sind die Basis für erfolgreiche Skiunfallprävention.

Im Vergleich zur Basis-Saison 1979/80 (die = 100 % gesetzt wurde) ergibt sich ein Gesamtrückgang von 57 Prozentpunkten.

Auch das Risiko für eine stationäre Behandlung nach einem Skiunfall steigt im Vergleich zur Vorsaison an und beträgt aktuell 1,78 von 1000 Skifahrerinnen und Skifahrern. Hochgerechnet auf die Grundgesamtheit muss also von 7400 bis 7600 stationären Behandlungen nach Skiunfällen in dieser Berichtssaison ausgegangen werden. Auch dies bedeutet eine Steigerung von ca. 400 stationären Behandlungen im Vergleich zur letzten Saison. Seit 2014/2015 zeigt sich ein leicht ansteigender Trend.

Wie schon in den letzten Berichten der ASU Ski sei nochmals betont, dass die stationäre Aufnahme verletzter Skifahrerinnen und Skifahrer ein Indikator für die Schwere der erlittenen Skiverletzung ist. Ein anderer Indikator ist der Anteil der

Verfasser

David Schulz

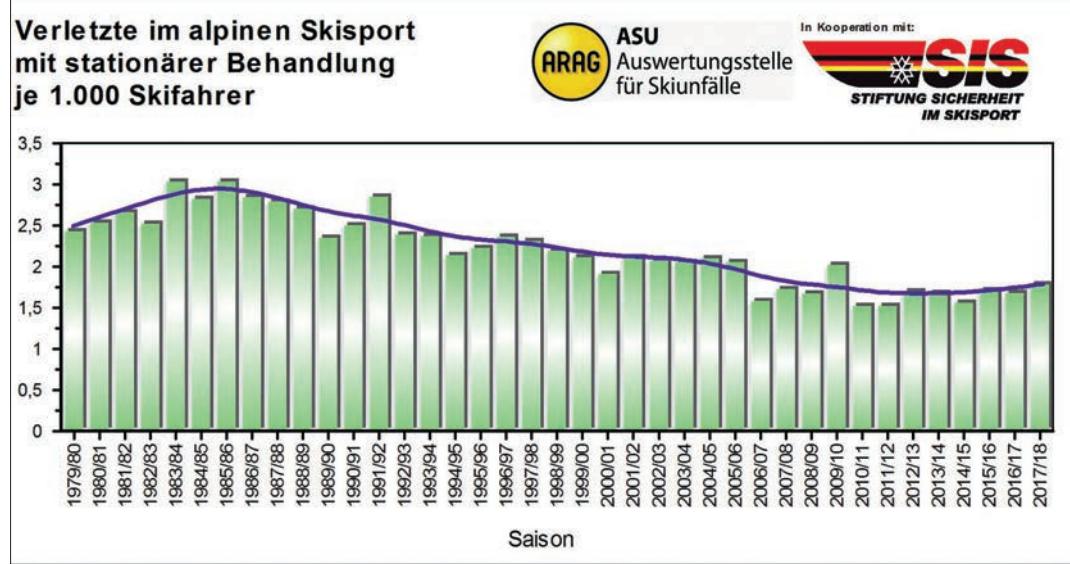
Auswertungsstelle
für Skiunfälle

ARAG Platz 1
40472 Düsseldorf

E-Mail: schulz@sicherheitimspорт.de

Stiftung Sicherheit
im Sport

Internet:
ASU-Unfallanalysen aus
den letzten Jahren unter
www.ski-online.de/SIS



Skifahrerinnen und Skifahrer, die aufgrund einer Verletzung operiert werden. Dieser liegt in der Saison 2017/2018 bei 55,6% und ist bei den Frauen leicht höher als bei den Männern. Hochgerechnet ergibt dies ca. 24 000 Operationen aufgrund von Skiunfällen. Auch die Arbeitsunfähigkeit (AU) kann dazu dienen, die Schwere einer Verletzung aufzuzeigen. In der aktuellen Berichtssaison geben 71,1% an, arbeitsunfähig gewesen zu sein. Die Länge der Arbeitsunfähigkeit beträgt durchschnittlich 43 Tage.

4. Verletzungsbild

Um Interessierten einen schnellen und leicht verständlichen Überblick darüber zu erlauben, wie sich die Verletzungen auf die Körperteile verteilen, arbeitet die nachfolgende Abbildung mit Prozentwerten. Aufgrund dessen kann aus den Werten nicht auf ein Risiko geschlossen werden, da hierfür eine Bezugsgröße notwendig wäre. Die seit vielen Jahren bewährte Darstellung nach Geschlechtern wird auch diesmal beibehalten, da erfah-



rungsgemäß deutliche Unterschiede bei der Verletzungsverteilung zwischen Männern und Frauen bestehen.

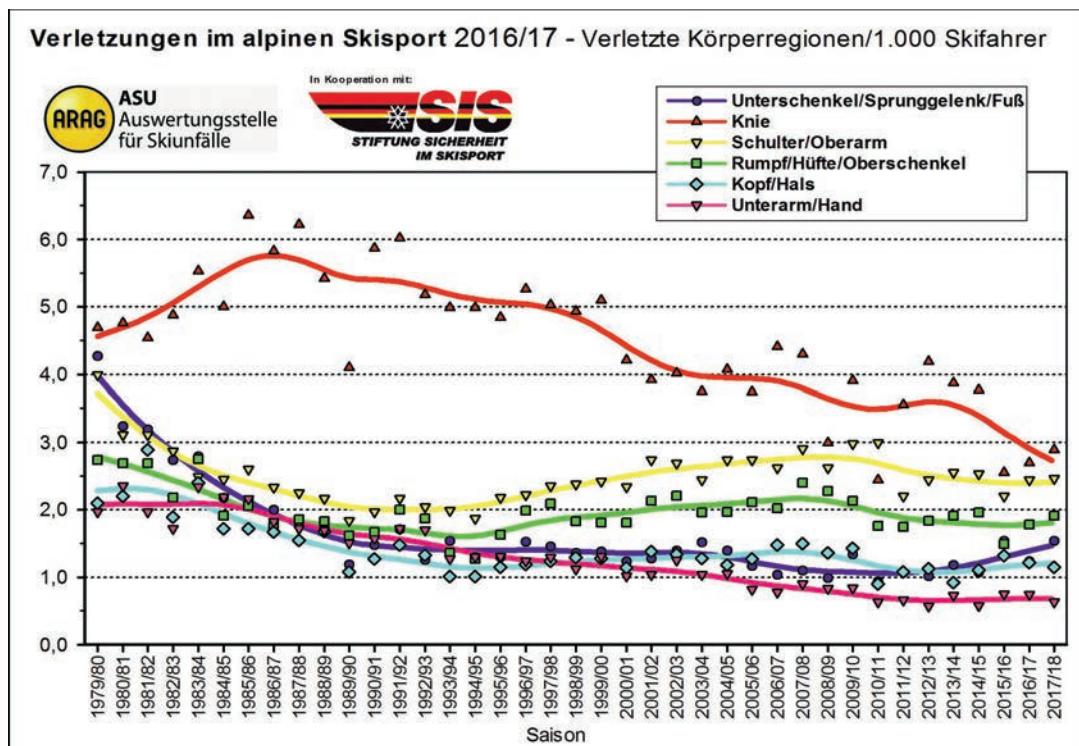
4.1 Verletzungslokalisation bei Erwachsenen (≥ 15 Jahre)

Mit 10,8% ist der Anteil der Kopfverletzungen im Vergleich zu Vorsaison (11%) nahezu konstant. Erfahrungsgemäß und wie schon in den letzten Saisons ist hier der Wert bei den Männern mit 11,1% etwas höher als bei den Frauen (10,2%). Der Anteil bei den Frauen bleibt bei über 10%.

Die Werte bei den Schulterverletzungen sind sowohl bei den Männern (nun 22,8%) als auch bei den Frauen (nun 10,6%) um

terhin mehr als dreimal so hoch wie bei Skifahrerinnen (3,3%).

Der Anteil der Knieverletzungen an allen Skiverletzungen ist im Vergleich zu Vorsaison leicht angestiegen und beträgt nun 32,4%. Dieser Anstieg ist auf die Entwicklung bei den Skifahrern zurückzuführen, bei denen ein Anstieg von 23,4% auf 26,4% zu verzeichnen ist. Damit ist das Knie wieder die häufigste Verletzungsregion bei den Männern. Obwohl bei den Skifahrerinnen ein leichter Rückgang (von 44,2% auf 42,9%) festzustellen ist, kann hier keinesfalls Entwarnung gegeben werden. Dies gilt vor allem, weil Knieverletzungen durchschnittlich deutlich schwerer sind als andere Verletzungen und zusätzlich langfristige Folgen wie z.B. arthrotische Veränderungen im Gelenk verursachen.

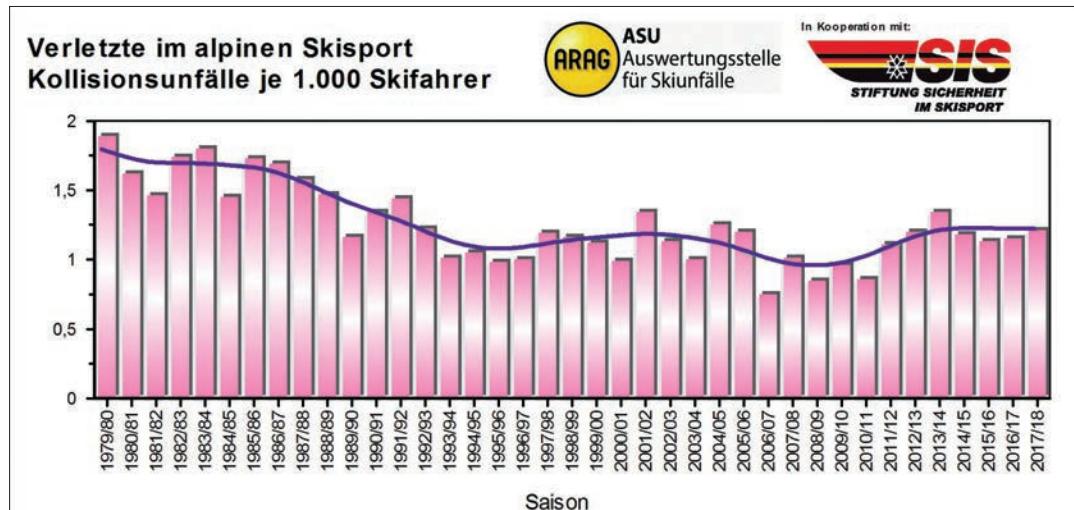


2 bzw. 3 Prozentpunkte gesunken. Auffällig ist nach wie vor der große Unterschied zwischen den Geschlechtern. Bei den Männern kommen Verletzungen im Bereich der Schulter prozentual doppelt so häufig vor wie bei den Frauen.

Knapp 9% der Verletzungen beim Skisport betreffen den Rumpf. Hierbei ist der Anteil bei den Männern mit 11,8% wei-

terhin mehr als dreimal so hoch wie bei Skifahrerinnen (3,3%).

Um die Zahl der Knieverletzungen weiter zu senken, sind nicht nur die Skifahrerinnen/Skifahrer am Zug, sich mit entsprechenden Trainingsprogrammen gezielt auf die körperliche Belastung bei Skisport vorzubereiten. Auch die Verantwortlichen wie u.a. Skilehrerinnen/-lehrer, Betreiber von Skipisten und auch Verbandsvertreterinnen/-vertretern sind gefragt, um die nach wie vor zu hohen Unfallzahlen nachhaltig zu senken.



4.2 Entwicklung der Verletzungslokalisation

Im Vergleich zur Saison 2016/2017 ist bei 4 der 6 dargestellten verletzten Körperregionen ein Anstieg zu verzeichnen.

Wie schon in der Vorsaison steigt das Risiko, dass sich Skifahrinnen und Skifahrer beim Skisport eine Knieverletzung zuziehen, von 2,7 auf 2,89 je 1000 Skifahrerinnen und Skifahrer. Trotz aller bisherigen Bemühungen ist hier immer noch keine technische Lösung wie etwa eine neue Skibindung in Sicht, die effektiv das Risiko für Knieverletzungen senkt. Aus diesem Grund sind – wie bereits oben erwähnt – nach wie vor alle Beteiligten aufgerufen, dabei mitzuhelpfen, die Anzahl und Schwere insbesondere der Knieverletzungen im Skisport zu senken. „Jede Knieverletzung ist eine zu viel“ könnte das gemeinsame Motto hierzu sein.

Auch das Risiko für Schulterverletzungen hat sich im Vergleich zur Saison 2016/2017 nochmals leicht erhöht und beträgt nun 2,46 je 1000 Skifahrerinnen und Skifahrer.

Zusätzlich ist auch in den Körperregionen Rumpf/Hüfte/Oberschenkel sowie Unterschenkel/Fuß das Verletzungsrisiko angestiegen und beträgt nun 1,91 bzw. 1,54 je 1000 Skifahrerinnen und Skifahrer. Nur für das Risiko von Verletzungen in den Bereichen Kopf/Hals sowie Unterarm/Hand konnte ein leichter Rückgang

verzeichnet werden, der sich im Bereich der üblichen saisonalen Schwankungen bewegt.

5. Kollisionsunfälle

Auch bei den Kollisionsunfällen ist kein Rückgang der nach wie vor hohen Zahlen in Sicht. Unsere Berechnungen beziehen dabei neben eindeutigen Kollisionen darüber hinaus auch leichtere Kollisionen und Behinderungen mit ein, wenn die verletzten Skifahrerinnen und Skifahrer angeben, dass durch diese der Unfall (mit)verursacht worden ist.

Mehr Rücksicht und Umsichtigkeit sowie die Einhaltung der FIS-Regeln könnten aus Sicht der Autoren ein Großteil der Kollisionen vermeiden und dafür sorgen, dass ihre Bedeutung als Unfallursache deutlich zurückgeht. Es ist nicht akzeptabel, dass 16% aller Skiunfälle durch Kollisionen verursacht werden und sich 1,21 Kollisionsunfälle mit Verletzungsfolgen je 1000 Skifahrerinnen und Skifahrer ereignen.

DSV aktiv-Ausbilderangebote 2018/2019

DSV aktiv stellt auch 2018/2019 wieder Artikel, die zur Ausbildung, Weiterbildung und zur Ausübung der Lehrtätigkeit im Ausbildungswesen benötigt werden, zur Verfügung. Teilweise werden diese Artikel von DSV aktiv bezuschusst und können daher nur an alle vom DSV geschulten Lehrkräfte und Trainer geliefert werden, die uns vom Landesskiverband gemeldet sind, Bezieher der FdSnow sind und sich verpflichten, die bezogenen Artikel nur für den Eigenbedarf zu erwerben und nicht weiterzuveräußern. Die Abwicklung der Bestellungen erfolgt durch die interski Vermittlungs-, Reise- und Verlags-GmbH.

Bitte beachten Sie unbedingt, dass Sie auf die bestellten Artikel keinen Rabatt erhalten (das wäre wegen der Preisbindung nicht möglich), sondern dass die interski Vermittlungs-, Reise- und Verlags-GmbH die nachstehend genannten Preise tatsächlich auch in Rechnung stellen muss. Einen Teil dieser Rechnung bezahlen Sie selbst aufgrund Ihrer Bestellung, den anderen Teil (Ausbilderzuschuss) überweist nach erfolgter Lieferung an Sie DSV aktiv direkt an die interski GmbH.

DSV aktiv/Freunde des Skisports e.V.
im Deutschen Skiverband

- **034AO Erste-Hilfe-Set DSV aktiv** – 13,70 €
Speziell f. Skifahrer, Reißverschluss Tasche, Farbe Orange, robust, leicht, mit DSV aktiv-Logo, Taschengröße 210 x 140 mm (DSV-Ausbilderpreis)
- **120BO Skigebärden** – 5,10 €
Heft 20 der DSV-Schriftenreihe. Erste Gebärdendarstellung für die Ausbildung gehörloser Skisportler
- **133B2 Taschenkarte zum Lawinen-Risikomanagement** – 2,50 €
- **133B3 Achtung Lawinen!** – 2,50 €
- **141BO DSV-Trainerschule** – 35 €
Handbuch zur nordischen Trainerausbildung im DSV
- **142BO DSV-Trainerschule** – 30 €
Rahmentrainingsplan Nordische Kombination
- **143BO DSV-Trainerschule** – 22,50 €
Rahmentrainingsplan Skisprung-Nachwuchstraining
- **210BO Nordic Walking** – 9,40 €
Gesund ernähren und bewegen, Ausgabe 2006
- **211B4 Unterrichten leicht gemacht** – 7,90 €
Tipps und Aufgaben für den Skilehrer, Ausgabe November 2011 (9,90 €/Ausbilderzuschuss 2 €)
- **3027BO Unterrichten leicht gemacht** – 7,90 €
Kinderskiunterricht im Kindergartenalter, Ausgabe Januar 2014 (9,90 €/Ausbilderzuschuss 2 €)

An
interski Vermittlungs-,
Reise- und
Verlags-GmbH
Hubertusstr. 1
82152 Planegg

Achtung: Den DSV aktiv-Ausbilderzuschuss kann nur in Anspruch nehmen, wer Bezieher der FdSnow ist und von seinem Landesskiverband als DSV-geschulte Lehrkraft oder DSV-Trainer gemeldet ist.

Pro Artikel ist nur ein Exemplar bestellbar!

Verpflichtungserklärung: Für die bestellten Artikel beantrage ich den DSV aktiv-Ausbilderzuschuss. Ich verpflichte mich, die umseitig bestellten Artikel nicht weiterzuveräußern.

Bitte mit Rechnung liefern, die ich innerhalb 14 Tagen begleichen werde.

- **3028B0 Unterrichten leicht gemacht** – 7,90 €
Kinderskiunterricht im Grundschulalter, Ausgabe Januar 2014 (9,90 €/Ausbilderzuschuss 2 €)
- **3029B0 Unterrichten leicht gemacht** – 7,90 €
Kinderskiunterricht im Schulkindalter, Ausgabe Januar 2014 (9,90 €/Ausbilderzuschuss 2 €)
- **3032B0 Skilanglauf - Lernen leicht gem.** – 9,90 €
Neue Ausg. Dez. 2015 (11,90 €/Ausbilderzusch. 2 €)
- **3037B0 Unterrichten leicht gemacht** – 7,90 €
Snowboardunterricht Einsteiger, Ausgabe November 2016 (9,90 €/Ausbilderzuschuss 2 €)
- **3038B0 Unterrichten leicht gemacht** – 7,90 €
Snowboardunterricht Fortgeschrittene, Ausgabe November 2016 (9,90 €/Ausbilderzuschuss 2 €)
- **3039B0 Unterrichten leicht gemacht** – 7,90 €
Snowboardunterricht Könner, Ausgabe November 2016 (9,90 €/Ausbilderzuschuss 2 €)
- **211B5 Offizieller DSV-Lehrplan Ski Alpin** – 20,90 €, Ausgabe Oktober 2012
(24,90 €/Ausbilderzuschuss 4 €)
- **215B2 Offizieller DSV-Lehrplan Snowboard** – 20,90 €, Ausgabe Januar 2013
(24,90 €/Ausbilderzuschuss 4 €)
- **216B0 Telemark Lehrplan** – 11,95 €
Ausgabe 2010 (14,95 €/Ausbilderzuschuss 3 €)
- **217B0 Mentales Training i. Leistungssport** – 16 €
Ausg. Juli 2011 (19,50 €/Ausbilderzuschuss 3,50 €)
- **218B0 Offizieller DSV-Lehrplan Freeride** – 20,90 €, Alpin/Snowboard, Risikomanagement, Ausgabe Dezember 2012 (24,90 €/Ausbilderzuschuss 4 €)
- **220B0 DSV-Lehrbuch Nordic Snowshoeing** – 19,80 €, Ausgabe 2007
- **221B0 DSV-Lehrbuch Nordic Blading** – 19,80 €
Ausgabe 2007
- **223B0 DSV Lehrbuch Nordic Walking** – 19,80 €
Ausgabe 2008
- **230B0 Nordic Walking mit Kindern** – 9,40 €
Ausgabe 2008
- **231B0 Snowboard-Guide Springen** – 5,00 €
Ausgabe 2008
- **3020B0 Offizielles DSV-Theorielehrbuch** – 20,90 €, Ausgabe Dezember 2013
(24,90 €/Ausbilderzuschuss 4 €)
- **3206B1 Offizieller DSV-Lehrplan Skilanglauf** – 20,90 €, Ausgabe Juni 2013
(24,90 €/Ausbilderzuschuss 4 €)
- **7043B0 Nationale Grundlagenstudie Wintersport Deutschland 2018** – 44,00 €, Ausgabe 2018 (48,00€ / Ausbilderzuschuss 4 €)
- **2044B0 Olympische Winterspiele 2018 Pyeongchang** – 19,95 Das offizielle Eurosport-Buch, Ausgabe 2018

Alle Bestellungen mit Ausbilderzuschuss nur mit diesem speziellen persönlichen Bestellschein 2018/2019 für das DSV-Ausbildungswesen. Beachten Sie bitte auch die Vorderseite dieses Bestellscheins!

Für Bestellungen in Deutschland unter 20 Euro berechnen wir eine Versandkostenpauschale von 3 Euro. Ab 20 Euro liefern wir innerhalb Deutschlands kostenfrei.

Absender:

Ich bestelle aus diesem Angebot folgende Artikel unter den mir bekannten Voraussetzungen:

Best.-Nr.	Menge	Preis €
Gesamtpreis		€

DSV aktiv-Mitgliedsnummer

Nachbestellungen:

Frühere Ausgaben der FdSnow 1 bis 52 sind noch lieferbar.
Für DSV-Lehrkräfte und -Trainer: Preis pro Ausgabe 4,60 Euro.
Für nicht gemeldete (s.u.) Nachbesteller:

Preis pro Ausgabe 6,50 Euro. Bei Nachbestellungen tragen Sie bitte die gewünschte Ausgabe als Bestell-Nummer ein.

Bezugspreis FdSnow für Personen, die nicht bei uns als DSV-Lehrkraft oder DSV-Trainer gemeldet sind: Preis pro Jahrgang (2 Ausgaben) 13 Euro.

Spuren hinterlassen - Auch Sie können stifteten!

„Ich glaube, dass Stiften das beste Bürgerengagement ist, das wir uns denken können. Unsere Demokratie lebt davon, dass sich der Einzelne für das Gemeinwohl einsetzt, dass er sich einmischt, dass er die Zukunft unseres Landes mitgestaltet. Wir brauchen diese Eigeninitiative, wir brauchen den Ideenreichtum. Wir brauchen auch persönliche Akzente, damit wir der Vielfalt in unserer Gesellschaft gerecht werden. Freiheit ist auf Freiwilligkeit angewiesen. Dazu können wir anstiften, und dafür lassen sich noch bessere Rahmenbedingungen schaffen. Anstiften zum Stiften zum Beispiel.“

Mit diesen Worten unterstreicht der frühere Schirmherr der Stiftung SIS, Bundespräsident a. D. Professor Dr. Horst Köhler, die herausragende Bedeutung von Stiftungen für das Gemeinwohl und ruft zur Unterstützung von Stiftungen auf.

Vermögende Privatleute suchen oft nach Wege, ihr Vermögen zum Wohle der Gesellschaft einzusetzen. Stiftungen sind hierfür ein idealer Weg. Doch so vielfältig die Ziele von Stiftungen sind, so unterschiedlich sind auch die Möglichkeiten, Stiftungen zu unterstützen und so dem Aufruf des früheren Bundespräsidenten zu folgen. Der deutsche Staat hat durch die steuerliche Absetzbarkeit von Spenden und Zustiftungen einen zusätzlichen Anreiz für Spender geschaffen.

Spenden und Zustiftungen werden nur so verwendet, wie es der Zuwendungsgeber vorgibt. Eine Zweckbindung ist jederzeit möglich. Ab einer Zuwendung von 75 000 Euro kann in unserer Stiftung direkt der Name des Zuwenders, mit dem zugestifteten Betrag oder den damit finanzierten Aktivitäten, verbunden werden.

So können Sie sich für die Ziele der SIS einsetzen.

Wenn Sie unsere Stiftung unterstützen möchten, haben Sie folgende Möglichkeiten:

- Zu Lebzeiten durch eine steuerlich absetzbare Spende oder Schenkung von Sachwerten, wie Immobilien, Grundstücke oder Ähnliches.
- Mit dem letzten Willen wird die „Stiftung“ als Erbe oder Miterbe eingesetzt. Sie können neben Ihren Erben auch noch die Stiftung mit einem Vermächtnis bedenken. Erbe und Vermächtnis sind in diesem Fall von der Erbschaftssteuer befreit.
- Üblicherweise können bis zu 10 Prozent des Gesamtbetrages der jährlichen Einkünfte als Spende steuerlich geltend gemacht werden.
- Für Betriebe eröffnen sich bei Zuwendung von Wirtschaftsgütern interessante weitergehende Möglichkeiten (Buchwertprivileg).

Unsere Bankverbindung für Ihre Spenden lautet:

Kreissparkasse München Starnberg Ebersberg, IBAN: DE14 7025 0150 0028 6107 23

Wir empfehlen, ein Gespräch mit einem Rechtsanwalt oder Notar zu führen. Auch einen Steuerberater sollten Sie zur Beratung hinzuziehen.

Wenn Sie keinen Notar kennen, senden wir Ihnen gerne eine Liste der Notare und Rechtsanwälte in Ihrer Umgebung zu. Oder wir nennen Ihnen uns bekannte Notare, die auch in Testamentsfragen sachkundig sind.



Für Skifahrer und Snowboarder



DSV aktiv-Mitgliedschaft mit DSV BASIC

Versichert sind alle Ski, Snowboards und Skihelme (bei Diebstahl/Beschädigung), auch Mietski-/snowboards. Inklusive Unfall- (mit Bergungskosten), Haftpflicht-, Kranken- und Rechtsschutzversicherung – damit schließen Sie Lücken zu bestehenden privaten Versicherungen. Für 30,00 € pro Jahr.

Gratis: viele exklusive Mitgliedervorteile und das *DSV aktiv Ski & Sportmagazin*.

**Mehr als eine
Skiversicherung**



Telefon: +49 (0)89 85790-100
E-Mail: DSVaktiv@ski-online.de
Facebook: www.facebook.com/DSV360
Internet: www.ski-online.de