Klimawandel

Foto: shorty the.

Was bedeutet er für den Schnee in den Alpen?

Klimawandel – ein Thema, das erst kürzlich durch den neuen „1.5-Grad-Bericht“ des Weltklimarates (http://www.ipcc.ch/report/sr15/) wieder stärker in das Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt wurde. Der Bericht zeigt auf, dass die derzeit geplanten Klimaschutz-Bemühungen bei weitem nicht ausreichen, um die weltweite Erwärmung, verglichen mit vorindustriellen Zeiten, unter +1.5 Grad Celsius zu halten. Die Atmosphäre hat sich bereits um einen Grad erwärmt und ein gewisses Maß an weiterer Erwärmung ist selbst bei radikalen Klimaschutzbemühungen nicht mehr vermeidbar.

Wir entscheiden heute also längst nicht mehr darüber, ob wir den Klimawandel vermeiden wollen, sondern vielmehr darüber, wie stark sich das Klima ändern wird. Die Spannweite reicht nach heutigen Schätzungen von den angesprochenen +1.5 Grad bis etwa +5 Grad weltweiter Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts.

von Andreas Gobiet, Sven Kotlarski, Prisco Frei, Jan Rajczak, Deborah Verfaillie, Samuel Morin & Marc Olefs

Globale Erwärmung und Klimawandel im Alpenraum

Was bedeutet nun aber „weltweite Erwärmung“ für den Alpenraum? Wir wissen zum Beispiel, dass die Temperaturen in der Vergangenheit im Alpenraum doppelt so schnell gestiegen sind wie im weltweiten Mittel (+2 Grad seit 1880; Auer et al., 2007). Das ist zum größten Teil der „Kontinentalität“ der Alpen geschuldet, also der Entfernung zu den großen Ozeanen.
Weiters wissen wir, dass die Kryosphäre (Eis und Schnee) im Alpenraum sehr sensibel auf Erwärmung reagiert (z.B. Beniston et al., 2018). Ein Beispiel ist der Gletscherrückgang, der für Österreich im jährlichen Gletscherbericht des Alpenvereins sehr gut dokumentiert wird (https://www.alpenverein.at/portal/service/presse/2018/gletscherbericht.php) und den meisten Leserinnen und Lesern auch aus der persönlichen Bergerfahrung bekannt sein dürfte. Auch das vermehrte Auftauen von Permafrost und die damit einhergehende Destabilisierung von Gipfeln und Hängen wird dem einen oder anderen schon persönlich aufgefallen sein.
Allgemeiner betrachtet hat die Kryosphäre im Alpenraum eine große ökologische und wirtschaftliche Bedeutung: Sie speichert Wasser und durch Änderungen in diesem Wasserspeicher – sei es nun durch die geänderte Menge des gespeicherten Wassers oder durch den geänderten Zeitpunkt der Schnee- und Gletscherschmelze – verändert sich auch die saisonale Verfügbarkeit für Wasserkraft, Landwirtschaft und Trinkwasserversorgung. Außerdem ist Schnee eine wichtige Grundlage für den Wintertourismus. In diesem Zusammenhang sei betont, dass sich dieser Artikel ausschließlich mit Naturschnee befasst und die Frage der technischen Schneeerzeugung ausklammert. Wir reden hier also nicht von der Schneesicherheit in Skigebieten, wo durch Technik viel ausgeglichen werden kann.

Unsere Perspektive ist vielmehr die des Skitourengehers und Tiefschneefreundes am Titelfoto. Ihn bewegt die bange Frage: Wird mir der Klimawandel das Skitourengehen verderben? Anmerken möchten wir an dieser Stelle, dass es sich dabei angesichts der teilweise dramatischen Folgen des Klimawandels in anderen Bereichen und anderen Regionen der Erde um ein Luxusproblem handelt. Anderswo geht es um die Lebensgrundlage großer Teile der Bevölkerung, hier um wesentlich weniger.

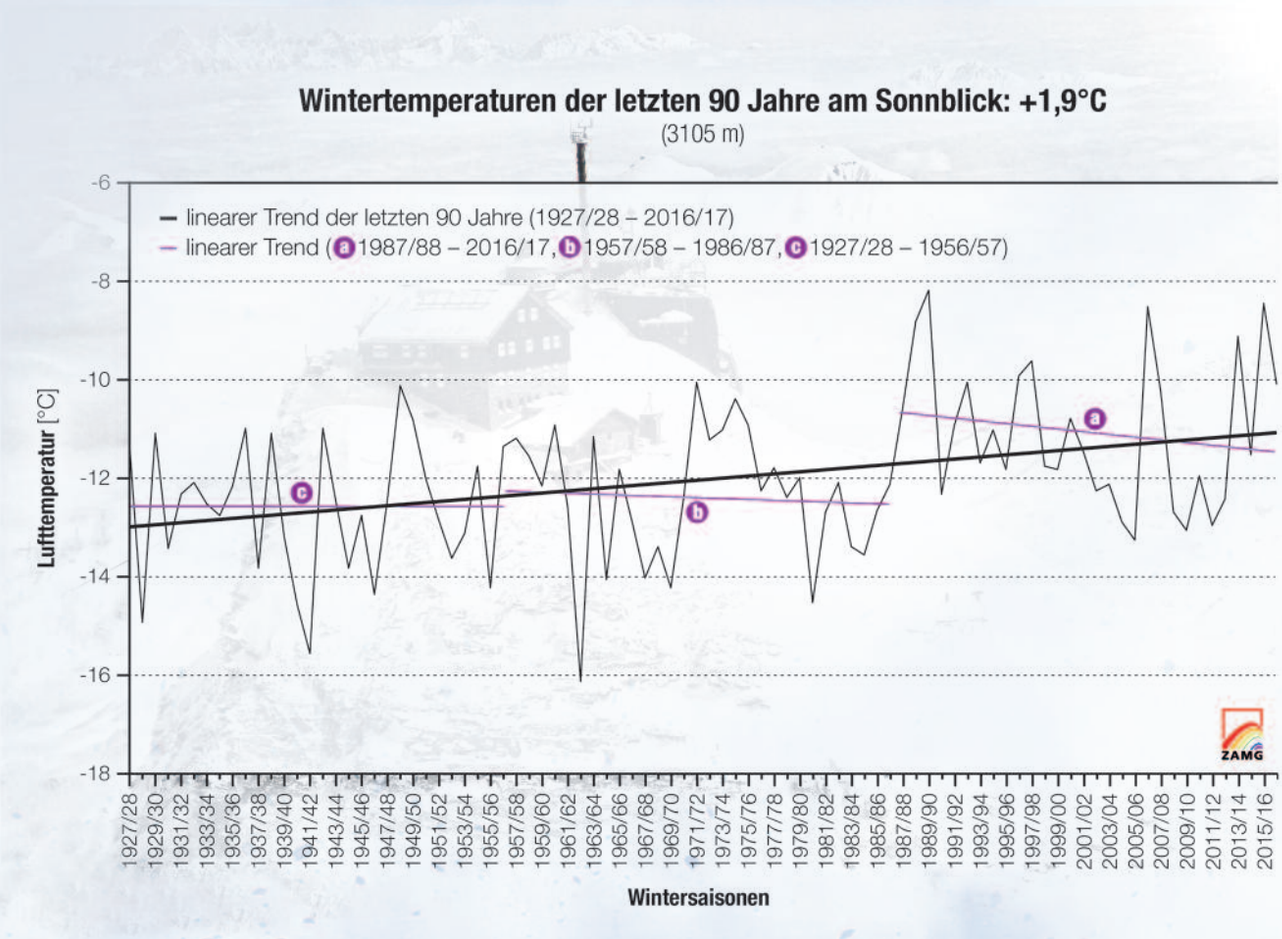
Um die langjährige Entwicklung des Schnees im Alpenraum besser verstehen zu können, betrachten wir zuerst die zwei wichtigsten meteorologischen Zutaten für Schnee: tiefe Temperaturen (unter etwa +2 Grad Celsius Tagesmitteltemperatur) und Niederschlag.

Wintertemperaturen

Wie schon erwähnt, sind die Temperaturen im Alpenraum bereits um 2 Grad gestiegen. Das ist ein Jahresmittelwert für den gesamten Alpenraum und bezieht sich – gemäß des Flächenanteils der unterschiedlichen Höhenstufen – hauptsächlich auf tiefere Lagen. Aber wie sieht es dort aus, wo es für Skitourengeher besonders interessant ist? Steigt die Temperatur auch im Winter und auf den Bergen?

Andreas Gobiet beschäftigt sich als Klimaforscher seit über 15 Jahren mit dem Klimawandel in den Alpen. Derzeit kümmert er sich an der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien) um den Bereich „Climate Services“ und ist im Winter als operationeller Lawinenprognostiker tätig.

Abb. 1 Wintertemperaturen (Dezember, Januar, Februar) Sonnblick seit 1927/28. Foto: Michael Staudinger



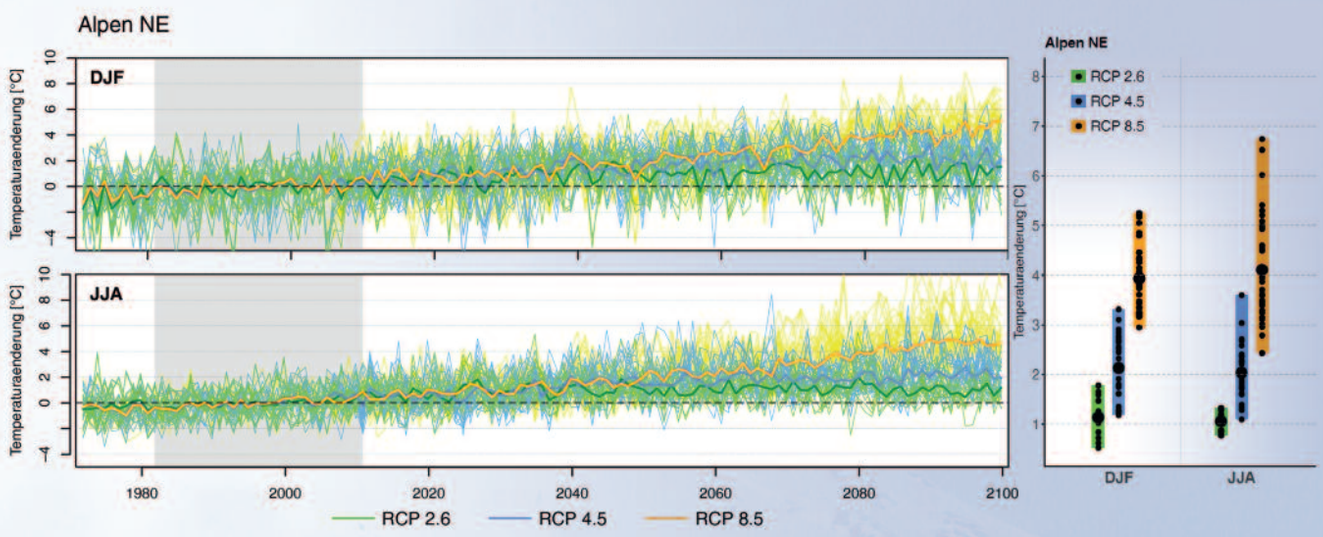
Die Antwort ist knapp und klar: Ja, auch im Winter und auf den Bergen steigt die Temperatur. Und zwar ebenfalls um etwa 2 Grad (in den vergangenen 90 Jahren). Allerdings ist die natürliche Variabilität der Wintertemperaturen, also das „Auf und Ab“ von Jahr zu Jahr sehr groß. An dieser Stelle ist es nützlich zu wissen, dass Klimaforscher den Ausdruck „natürliche Variabilität“ oft als Umschreibung für „Mist, das können wir nicht vorhersagen!“ verwenden. Die natürliche Variabilität maskiert den langjährigen Erwärmungstrend und macht ihn teilweise unkenntlich.

Die Wintertemperaturen am Sonnblick (gemessen in 3.105 m über dem Meer) demonstrieren diesen Sachverhalt sehr deutlich (Abb. 1): Innerhalb der letzten 90 Jahre beträgt der Temperaturanstieg 1.9 Grad. Dieser Trend ist statistisch signifikant und passt sehr gut in das allgemeine Bild des Klimawandels im Alpenraum.
Betrachtet man aber 30-jährige Zeitfenster isoliert (violett in Abb. 1), ergeben sich alle möglichen unterschiedlichen „Trends“, je nachdem, wo genau man das Zeitfenster positioniert. Statistisch gesprochen sind das gar keine Trends, sondern Zufallsergebnisse, deren Ursache in der natürlichen Variabilität zu suchen ist.
Sehr ähnliche Ergebnisse finden sich überprüfterweise an allen qualitativ hochwertigen und homogenisierten Bergstationen der Ostalpen. Sie sind im Verlauf fast deckungsgleich und die langjährigen Trends betragen: Schmittenhöhe (1.973 m): +2.2 °C; Patscherkofel (2.251 m): +2.1 °C; Zugspitze (2.962 m): +2.4 °C; Obergurgl-Vent (1.938 m): +2.2 °C; Säntis (2.502 m, genau genommen schon in den Westalpen): +2.1 °C (Gobiet et al., 2017).

Was lernen wir daraus? Einerseits, dass sich die globale Erwärmung auch im hochalpinen Winter deutlich und signifikant als langjähriger Erwärmungstrend niederschlägt und andererseits, dass wegen der natürlichen Variabilität für klimatologisch kurze Zeiträume (also z.B. für die kommenden 10 Jahre) keine konkreten Vorhersagen möglich sind („Mist, …“).
In anderen Worten: Die Bergwinter des kommenden Jahrzehnts könnten kälter ausfallen als die des vergangenen Jahrzehnts (etwas wahrscheinlicher ist jedoch das Gegenteil). Die Bergwinter der kommenden 30 Jahre werden aber mit ziemlicher Sicherheit wärmer sein als die der vergangenen 30 Jahre („Ha! Da können wir also doch etwas vorhersagen.“). Die betrachtete Zeitskala bestimmt also, ob die unvorhersagbare natürliche Variabilität oder der vorhersagbare, langjährige Erwärmungstrend überwiegt.

In der Aussage über die kommenden 30 Jahre steckt implizit die Annahme, dass künftig im Alpenraum ein ähnlicher Erwärmungstrend wie in der Vergangenheit herrschen wird. Zahlreiche wissenschaftli-

Abb. 2 Erwartete Änderung der Winter- (Dezember, Januar, Februar) und Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) gegenüber dem Mittelwert 1981-2010 im nordöstlichen Alpenraum im 21. Jahrhundert für drei unterschiedliche Treibhausgasszenarien getrennt dargestellt (sieht in anderen Bereichen der Alpen sehr ähnlich aus). Diese reichen vom sehr ambitionierten Klimaschutzszenario („2-Grad-Ziel", grün, RCP2.6) über ein immer noch ambitioniertes „mittleres" Klimaschutzszenario (blau, RCP4.5) bis hin zum „Weitermachen wie bisher"-Szenario (orange, RCP8.5). Die dicken Linien entsprechen dem Mittelwert über eine Vielzahl von Modellen, die dünnen Linien sind die einzelnen Modelle. Die Änderungen in der rechten Abbildung beziehen sich auf das Ende des 21. Jahrhunderts (2070-2099). Der große Punkt entspricht jeweils der besten Schätzung für das Szenario, die kleinen Punkte sind einzelne Modellergebnisse, also ebenfalls mögliche Varianten. Quelle: MeteoSchweiz



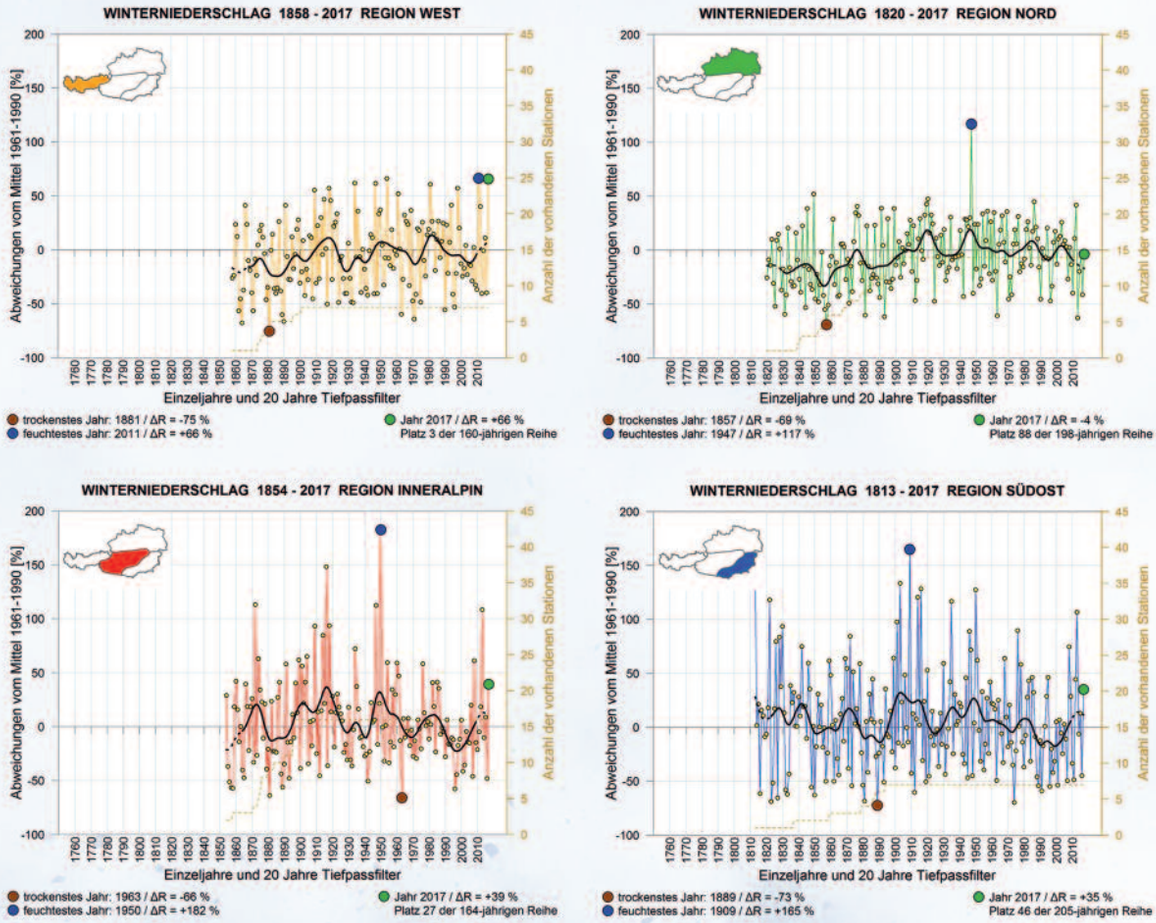
che Studien, Klimamodelle und das Wissen über die physikalischen Zusammenhänge im Klimasystem bestätigen diese Annahme. Abb. 2 zeigt, wie sich nach heutigen Abschätzungen die Wintertemperaturen (zum Vergleich auch die Sommertemperaturen) im Ostalpenraum in Abhängigkeit von unterschiedlichen Annahmen über zukünftige menschliche Treibhausgasemissionen („Treibhausgasszenarien") weiter entwickeln werden. Bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts wirken sich die Unterschiede zwischen den betrachteten Treibhausgasszenarien kaum aus. Wir können, so oder so, mit etwa einem Grad zusätzlicher Erwärmung im Alpenraum rechnen.

In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts treten die Unterschiede der Treibhausgasszenarien aber deutlich zutage: Bei intensiven Klimaschutzbemühungen kann die weitere Temperaturzunahme im Vergleich zu heute auf ein Grad beschränkt werden (Abb. 2: grün, Treibhausgasszenario RCP2.6). Insgesamt beträgt die Temperaturzunahme im Alpenraum ab 1880 dann etwa 3 Grad. Wenn wir keinerlei besondere Klimaschutzmaßnahmen ergreifen, muss hingegen mit einem weiteren Temperaturanstieg von 4 Grad gerechnet werden (Abb. 2: orange, Treibhausgasszenario RCP8.5), also insgesamt etwa +6 Grad im Vergleich zu 1880. Das ist nun doch ein beachtlicher Unterschied und hat, wie wir später sehen werden, starke Auswirkungen auf den Schnee.

Sven Kotlarski ist Hydrologe und beschäftigt sich seit über 10 Jahren mit Klimavariabilität und Klimawandel in Europa, insbesondere in den Alpen. Derzeit arbeitet er bei MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Zürich) unter anderem an der neuesten Generation der Schweizer Klimaszenarien.

Prisco Frei hat an der ETH Zürich Atmosphären- und Klimawissenschaften studiert. Aktuell arbeitet er als Quantitativer Wetteranalyst für ein Londoner Energiehandelsunternehmen. Seine Freizeit verbringt er am liebsten in den Bergen, sei es mit oder ohne Schnee.

Abb. 3 Langjährige Winterniederschlags-Anomalien in unterschiedlichen Regionen Österreichs. Quelle: ZAMG



Winterniederschlag

Gleich vorweg: Beim Niederschlag ist alles viel komplizierter und ungewisser als bei der Temperatur. Die regionalen Unterschiede sind größer, die natürliche Variabilität ist größer, die Messungen sind weniger verlässlich (insbesondere im Winter auf den Bergen) und als ob das nicht genug wäre, auch die Klimamodelle tun sich mit Niederschlag viel schwerer als mit der Temperatur.

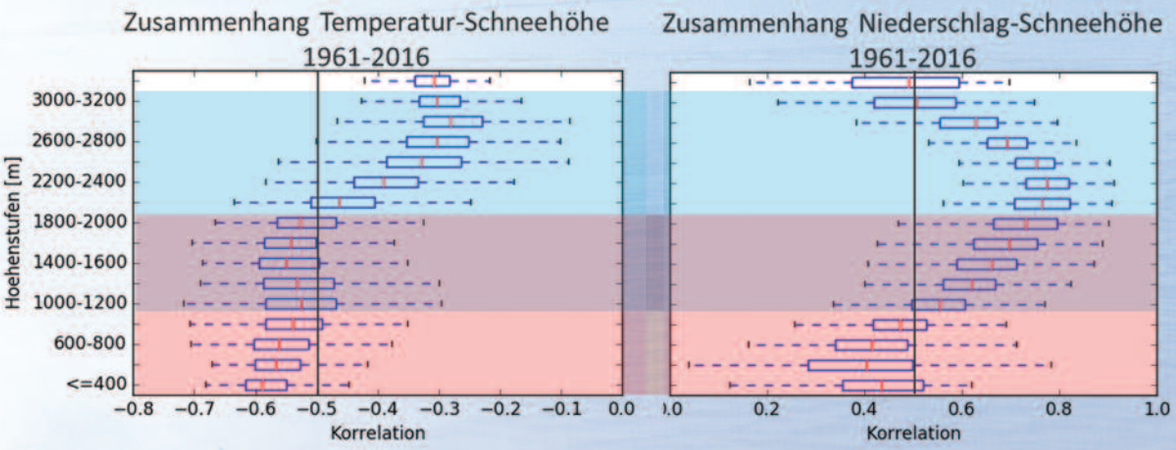
Langjährige Messungen der Winterniederschlagssumme in unterschiedlichen Regionen im Alpenraum zeigen keinen einheitlichen Trend (Beispiel Österreich in Abb. 3). Allerdings wissen wir, dass sich anderswo in Europa durchaus etwas ändert: In Nordeuropa wurde es in den letzten Jahrzehnten deutlich nässer, im Mittelmeerraum wurde es trockener. Der Alpenraum liegt ziemlich genau zwischen diesen zwei Bereichen. Bei genauerer Betrachtung der Niederschlagsänderungsmuster zeigt sich, dass sich die Zone mit mehr Niederschlag im Winter nach Süden ausdehnt und im Sommer nach Norden zurückzieht. Wenn man nun annimmt, dass dieses Muster etwas mit den steigenden Temperaturen zu tun hat, dann ist es naheliegend, dass es sich in Zukunft verstärken wird.

Für den Alpenraum würde das, vereinfacht gesagt, bedeuten: Mehr Niederschlag im Winter, weniger Niederschlag im Sommer. Die neuesten Klimaszenarien (z.B. in der Schweiz CH2018, in Österreich ÖKS15) erhärten diesen Verdacht, insbesondere was den vermehrten Niederschlag im Winter angeht. Über den Alpenraum gemittelt kann unter Annahme des extremsten Emissionsszenarios (RCP8.5) bis zum Ende des Jahrhunderts mit etwa 20 % mehr Niederschlag gerechnet werden. Allerdings ist die Unsicherheit dieser Abschätzung im Vergleich zur Temperatur sehr hoch. Abb. 4 zeigt diese vermutliche Zunahme künftiger Winterniederschläge. Im Sommer zeigen die Szenarien übrigens tatsächlich eine Tendenz zu weniger Niederschlag und in allen Jahreszeiten eine Zunahme der Extremniederschläge.

Schnee in der Vergangenheit

Nun endlich zum Schnee: Die gute Nachricht ist, dass wir uns nicht vor mangelndem Winterniederschlag fürchten müssen, ganz im Gegenteil. Die schlechte Nachricht ist, dass steigende Temperaturen dafür sorgen könnten, dass dieser Niederschlag immer häufiger als

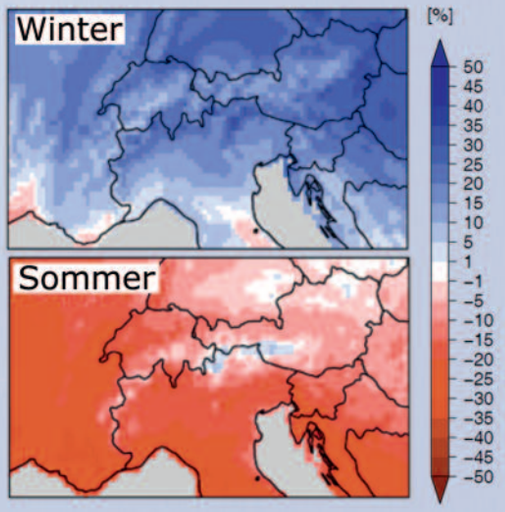
Abb. 5 Korrelationskoeffizient zwischen mittlerer Gesamtschneehöhe (Nov. bis Apr.) und Temperatur (links) bzw. Niederschlagssumme (rechts) in Österreich für den Zeitraum 1961/62 bis 2016/17. Quelle: ZAMG



Regen und nicht als Schnee vom Himmel fällt und dass die Schneedecke schneller wieder schmilzt. Wenn es sehr kalt ist (z.B. -10 °C), machen 2 Grad mehr für den Schnee wenig Unterschied. Wenn wir uns aber nahe dem Gefrierpunkt befinden (z.B. -1 °C), kann jedes zusätzliche Grad dafür sorgen, dass es regnet statt schneit oder die Schneedecke schmilzt. (Den Faktor Strahlung, der insbesondere für die Schneeschmelze wichtig ist, lassen wir hier der Einfachheit halber beiseite). Die Frage ist also: Wann und wo führt Erwärmung zu weniger Schnee? Beziehungsweise: Wann und wo bringt mehr Niederschlag mehr Schnee?

Qualitativ lässt sich das „Wo?“ leicht beantworten: In größeren Höhen ist es kälter, hier ist der Niederschlag wichtiger und in tieferen Lagen ist es wärmer, hier ist die Temperatur wichtiger. Aber wo genau sind nun die „größeren Höhen“? Einen Hinweis dazu liefert eine Studie der ZAMG über Schneehöhen in Österreich seit 1961. Abb. 5 zeigt die Stärke des Zusammenhangs zwischen Schneehöhe und Temperatur (links) und Schneehöhe und Niederschlag (rechts) in verschiedenen Höhenstufen. „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.

Abb. 4 Änderung der Niederschlagssumme im Sommer (oben) und im Winter (unten) bis Ende des 21. Jahrhunderts. Annahme: Kein Klimaschutz (RCP8.5). Das ist ein „Worst-Case-Szenario“, und die Unsicherheiten in dieser Abschätzung sind relativ hoch. Es kann also auch anders kommen.



Jan Rajczak ist Klima- und Wetterforscher, hat an der ETH Zürich studiert und arbeitet derzeit daran, die Wettervorhersage für die Schweiz zu verbessern.

Deborah Verfaillie hat sieben Jahre Forschungserfahrung in den Bereichen Klima, Kryosphäre und deren Wechselwirkungen. Sie ist Mitentwicklerin einer Methode, die es erlaubt, die Ergebnisse von Klimamodellen auf die lokalen Bedingungen in Bergregionen anzupassen (ADAMONT).

Abb. 6 Trends der Schneedeckendauer (Nov. – Apr.) an qualitätsgeprüften, homogenisierten Schneemessstationen in Österreich. Die Stationen decken den Höhenbereich von 161 m bis 2.140 m ab. Rot: signifikant abnehmende Schneehöhen; grau: keine signifikante Änderung; blau: signifikant zunehmende Schneehöhen. Quelle: ACRP Projekt SNOWPAT, aktualisiert von R. Koch

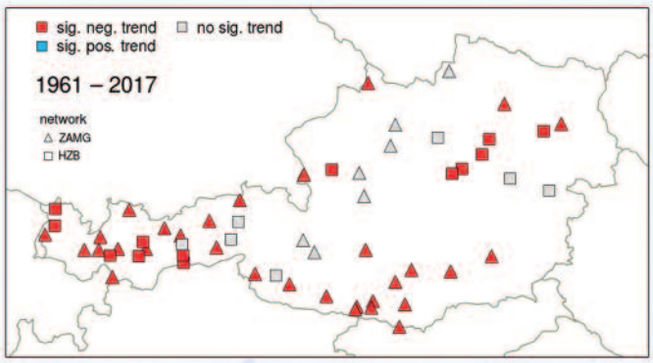
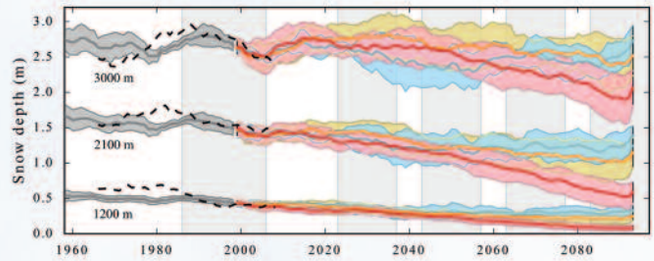


Abb. 7 Mittlere Schneehöhe in 1.200 m, 2.100 m und 3.000 m Seehöhe im Mont-Blanc-Massiv. Blau: RCP2.6; orange: RCP4.5; rot: RCP8.5; grau: Vergangenheit. In der Tabelle unten sind die Schneehöhen in Meter und in Klammer die prozentualen Änderungen im Vergleich zu einer 15-jährigen Periode um 1995 dargestellt. Quelle: Météo France



	1200 m	2100 m	3000 m
REF 1995	0,45	1,50	2,68
RCP 2.6 2050	0,32 (-29%)	1,23 (-18%)	2,40 (-10%)
RCP 8.5 2050	0,23 (-49%)	1,08 (-28%)	2,51 (-6%)
RCP 2.6 2090	0,31 (-31%)	1,26 (-16%)	2,57 (-4%)
RCP 8.5 2090	0,07 (-84%)	0,51 (-66%)	1,84 (-31%)

Andererseits ist der Einfluss des Niederschlags bereits ab ca. 1.300 m größer als der der Temperatur (Korrelationskoeffizient 0.6). Für die Vergangenheit lässt sich also sagen: Schnee in Höhenlagen unter etwa 2.000 m reagiert relativ empfindlich auf höhere Temperaturen, über etwa 1.300 m kann das aber durch zusätzlichen Niederschlag (falls vorhanden) wettgemacht werden. Oberhalb von 2.000 m spielt die Temperatur eine untergeordnete Rolle.

Auch auf das „Wann?“ lässt sich qualitativ ziemlich leicht antworten: Typischerweise zu Beginn der Schneesaison führt zusätzliche Wärme dazu, dass es öfter regnet statt schneit und am Ende der Saison dazu, dass der Schnee schneller schmilzt. Je nach Höhenlage betrifft das andere Zeiträume, aber die Länge der Saison sollte nach dieser Überlegung in allen Höhenlagen abnehmen. Eine Studie aus der Schweiz (Klein et al., 2016) hat gezeigt, dass das zumindest in der Schweiz auch der Fall ist: An allen untersuchten Stationen (die einen Höhenbereich von 1.139 m bis 2.540 m Seehöhe abdecken) hat sich die Schneesaison seit 1970 um etwa einen Monat verkürzt.

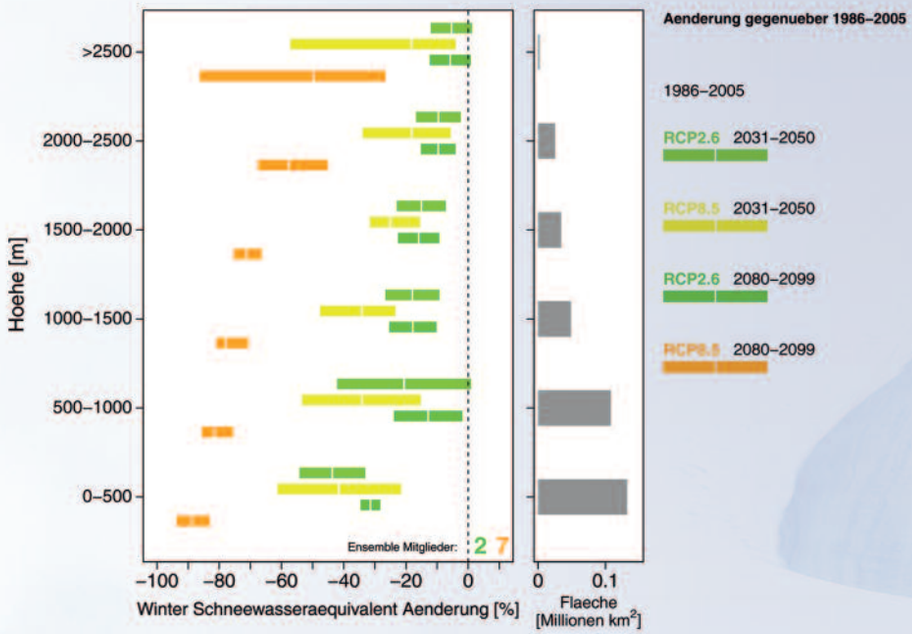
Auch in Österreich wurde die Schneedeckendauer zwischen November und April untersucht und auch hier wurden signifikante Abnahmen gefunden. Abb. 6 zeigt einen Überblick über die Ergebnisse dieser Untersuchung: Mit Ausnahme weniger Stationen (wo keine Trends gefunden wurden) hat die Schneedeckendauer seit 1961 signifikant abgenommen. Dabei muss aber betont werden, dass in diesem Fall die meisten Stationen relativ tief liegen. Der höchste Standort ist die Villacher Alpe (2.140 m). Auch hier wurde eine signifikante Verkürzung der Schneesaison gefunden.

S Schnee in der Zukunft

Bevor wir das bisher Gesagte zusammenfassen und unsere Schlüsse für die Zukunft daraus ziehen, möchten wir noch zwei Studien erwähnen, die auf Basis aufwändiger Klima- und Schneemodelle die Zukunft des Schnees in den Alpen untersucht haben. Météo France hat die Auswirkungen der unterschiedlichen Treibhausgasszenarien auf die zukünftige mittlere Schneehöhe (Dez. – Apr.) im Mont-Blanc-Massiv untersucht (eine genauere Beschreibung der Methodik ist in Verfaillie et al. (2018) zu finden). Das Ergebnis ist in Abb. 7 dargestellt und lautet zusammengefasst:

Bis 2050 muss mit einem Rückgang der mittleren Schneehöhe zwischen etwa 30 % bis 50 % in tiefen Lagen (1.200 m) und 5 % bis 10 %

Abb. 8 Modellierte Änderung des mittleren Schneewasseräquivalents (Dez.-Mai) im Alpenraum im 21. Jahrhundert für die Szenarien RCP2.6 (grün) und RCP8.5 (gelb, orange). Ohne Klimaschutz (RCP8.5) sind bis zum Ende des Jahrhunderts Abnahmen von rund -85 % unter 1.500 m und -50 % über 2.500 m zu erwarten. Wird das 2-Grad-Ziel eingehalten (RCP2.6), kann die Reduktion auf etwa -20 % begrenzt werden.



in hohen Lagen (3.000 m) gerechnet werden. Bis zum Ende des Jahrhunderts kommt es dann sehr stark darauf an, wie schnell sich die Menschheit dazu entschließt, drastische Klimaschutzmaßnahmen zu ergreifen: Wenn wir es schaffen, das „2-Grad-Ziel“ einzuhalten (Treibhausgasszenario RCP2.6), dann bleibt es bei den Werten von 2050. Wenn wir aber in puncto Klimaschutz weitermachen wie bisher (Treibhausgasszenario RCP8.5), dann sehen die Abnahmen etwa folgendermaßen aus: 1.200 m: -85 %, 2.100 m: -65 % und 3.000 m: -30 %.

Eine Untersuchung der MeteoSchweiz, die mit etwas einfacheren Mitteln (nur Klimamodelle, kein detailliertes Schneemodell) die zukünftige Schneeverfügbarkeit im gesamten Alpenraum analysiert hat, kam zu einem sehr ähnlichen Ergebnis. Das ist ein Hinweis darauf ist, dass die Ergebnisse für das Mont-Blanc-Massiv repräsentativ für die typischen Verhältnisse im Alpenraum sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abb. 8 zu sehen.

Samuel Morin hat sich seit 2009 am Centre d'Etudes de la Neige (CEN) der Météo-France/CNRS in Grenoble ganz der Schneeforschung verschrieben und ist seit 2015 Leiter des CEN. Er ist Leitautor des derzeit im Entstehen begriffenen IPCC-Berichtes über Ozeane und die Kryosphäre im Klimawandel.

Marc Olefs ist Abteilungsleiter Klimaforschung bei der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und ist Leitautor des im Jahr 2020 erscheinenden Special Report „Tourismus und Klimawandel in Österreich".

Resümee

Zusammenfassend lässt sich sagen: Klimawandel findet auch im Winter auf den Bergen statt. Die Temperaturen sind bereits um 2 Grad gestiegen und werden bis 2050 um etwa 1 weiteres Grad ansteigen. Auch am Naturschnee ist der Klimawandel bereits ablesbar: Die Schneesaison wird in allen Höhenlagen kürzer.

Die Menschheit hat es aber in der Hand, diesen Rückgang zu begrenzen: Zwar werden wir bis 2050 voraussichtlich mit einer weiteren Reduktion von (je nach Höhenlage) -10 % bis -30 % leben müssen, aber das bedeutet lediglich, dass unsere Skitourensaison etwas später beginnt und früher endet.

Wie es in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts weitergeht, hängt ganz von uns ab: Vernachlässigen wir den Klimaschutz und machen weiter wie bisher, wird das Skitourengehen nur mehr in seltenen Ausnahmesituationen möglich sein: In tieferen Lagen verschwindet der Schnee fast vollständig und selbst über 2.500 m muss noch mit Abnahmen von 50 % gerechnet werden.

Schaffen wir es aber, das ambitionierte Ziel der Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf unter 2 Grad gegenüber vorindustrieller Zeit einzuhalten, dann können auch unsere Kinder und Enkelkinder ohne viel Aufwand erleben, was der am Anfang des Artikels abgebildete Tiefschneefreund erlebt hat.

Nachtrag

Um Missverständnisse zu vermeiden: Wie schneereich die Winter der nächsten 10 bis 15 Jahre werden, wissen wir nicht.

Danke!

Vielen Dank den KlimamodelliererInnen der EURO-CORDEX-Initiative für das Zur-Verfügung-Stellen der Resultate ihrer Klimamodelle. Die Mont-Blanc-Studie wurde im Rahmen der Projekte ADAMONT (GICC), Clim'Py (INTERREG OPCC2) und Trajectories (CDP, Univ. Grenoble Alpes IDEX) vorbereitet. Die Analysen der Schneezeitreihen in Österreich wurden im Projekt SNOWPAT (ACRP) durchgeführt und von Roland Koch (ZAMG) aktualisiert. Die Auswertung der Klimaszenarien wurde von der CH2018 Initiative (www.ch2018.ch) unterstützt. Vielen Dank auch an Andreas Riegler (ZAMG) für die Sonnblick-Abbildung.

Literatur

Auer, I., and Coauthors, 2007: HISTALP - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. Int. J. Climatol., 27, 17–46, doi:10.1002/joc.1377.

Beniston, M., and Coauthors, 2018: The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. The Cryosphere, 12, 759–794, doi:10.5194/tc-12-759-2018.

Gobiet, A., K. Ulreich, M. Hofstätter, A. Podesser, M. Olefs, J. Vergeiner, and G. Zenkl, 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).

Verfaillie, D., M. Lafaysse, M. Déqué, N. Eckert, Y. Lejeune, and S. Morin, 2018: Multi-component ensembles of future meteorological and natural snow conditions for 1500\,m altitude in the Chartreuse mountain range, Northern French Alps. The Cryosphere, 12, 1249–1271, doi:10.5194/tc-12-1249-2018.

Fotos: Pauli Trenkwalder, www.paulitrenkwalder.com