

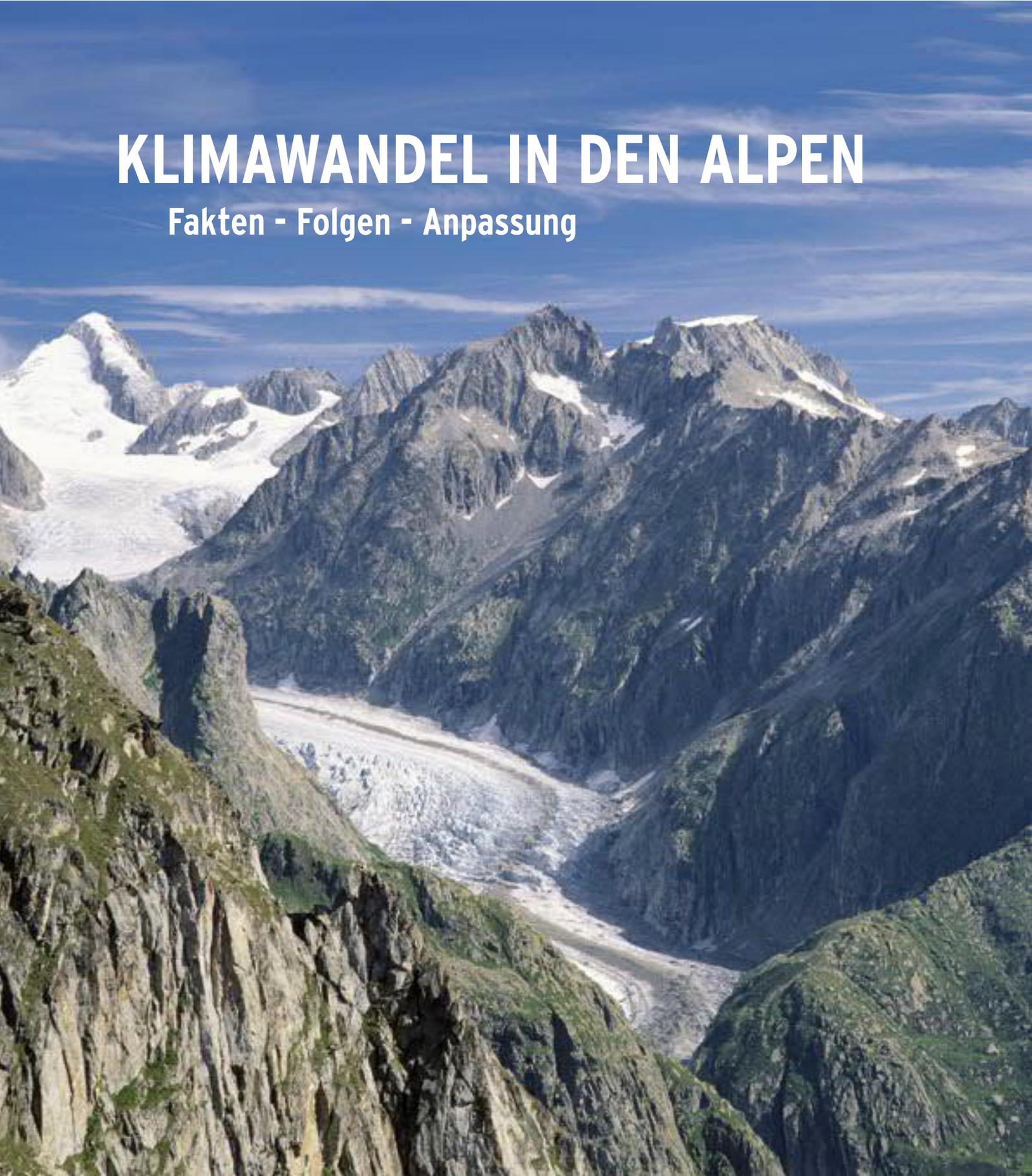


Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



# KLIMAWANDEL IN DEN ALPEN

Fakten - Folgen - Anpassung



### IMPRESSUM

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
Referat Öffentlichkeitsarbeit • 11055 Berlin  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de) • Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Text + Konzeption: David Disch, Silvia Reppe, BMU, Referat KI II 3 (Zusammenarbeit mit OECD-Mitgliedstaaten, OECD, UN-ECE; NATO-CCMS, Alpenkonvention, Antarktis, Umwelt und Sicherheit)

Redaktion: Alexandra Liebing, BMU, Referat ZG II 3 (Öffentlichkeitsarbeit)

Gestaltung: design idee, büro für gestaltung, Erfurt  
Druck: Silber Druck, Niestetal

Abbildungen:

Titelseite: Prisma/F1 ONLINE	S. 41: McPHOTO/blickwinkel	S. 71: Meinrad Riedo/alimdi.net
S. 5: Riedmiller/Caro	S. 42: Nationalpark Berchtesgaden	S. 72: Riedmiller/Caro
S. 6: David Disch	S. 43: Nationalpark Berchtesgaden	S. 73: CIRPA
S. 7: K. Scholbeck/blickwinkel	S. 44: Nationalpark Berchtesgaden	S. 74: Riedmiller/Caro
S. 8: Horizon/F1 ONLINE	S. 45: Nationalpark Berchtesgaden	S. 76: A1PIX/H
S. 10: Avenue Images GmbH	S. 46: R. Puppetti/blickwinkel	S. 77: C. Huetter/Arco Images
S. 11: Wolfgang Deuter	S. 47: Max Maisch/Universtät Zürich	S. 78: Huber/Schapowalow
S. 12: picture-Alliance/Bildagentur Huber	S. 48: A. Riedmiller/Das Fotoarchiv	S. 79: Konrad Wothe/LOOK-foto
S. 13 o.: Ingolf Pompe/LOOK-foto	S. 50: Archiv KfG	S. 80: Huber/Schapowalow
S. 13 u.: Michael Szoenyi/alimdi.net	S. 51: Archiv KfG	S. 82: Michael Kneffel
S. 14: picture-Alliance/ZB	S. 53: Archiv KfG	S. 83: vario images
S. 15: O. Broders/blickwinkel	S. 54 l.: L. Braun	S. 84: BA Geduldig
S. 17 o.: picture-Alliance/KPA/Kungel	S. 54 r.: M. Weber	S. 85: Alfred Buelliesbach/VISUM
S. 17 u.: Riedmiller/Caro	S. 55: Archiv KfG	S. 87: Riedmiller/Caro
S. 18: Das Fotoarchiv	S. 56: Ingolf Pompe/LOOK-foto	S. 88: Michael Kneffel
S. 19: Wolfgang Nuerbauer/argum	S. 57 o.: Kaeslin/mediacolors	S. 89: Huber/Schapowalow
S. 20: Claudia Hinz/photoplexus	S. 57 u.: Thomas Einberger/argum	S. 90: Ralf Metzler/bobsairport.com
S. 23: Bailleul/mediacolors	S. 58: picture-Alliance/dpa	S. 91: Hermann Erber/LOOK-foto
S. 25: A1PIX/H	S. 59: Guenter Fischer/alimdi.net	
S. 27: Wolfgang Hinz/photoplexus	S. 60: Stefan Kiefer	
S. 28: Eigstler/mediacolors	S. 61: Thomas Einberger/argum	
S. 30: picture-Alliance/Bildagentur Huber	S. 62: Prisma/F1 ONLINE	
S. 32: picture-Alliance/Bildagentur Huber	S. 63: Riedmiller/Caro	
S. 33: artvertise	S. 64: A. Riedmiller/Das Fotoarchiv	
S. 34: Frank Kroenke/Das Fotoarchiv	S. 65: Christian Jablinski/Keystone	
S. 35: R. Usher/WILDLIFE	S. 66: Prisma/F1 ONLINE	
S. 36: Thomas Dashuber/buchcover.com	S. 67: Riedmiller/Caro	
S. 37: picture-Alliance/dpa/dpaweb	S. 68: picture-Alliance/Bildagentur Huber	
S. 38: picture-Alliance/dpa	S. 69: Thomas Einberger/argum	
S. 39: A. Riedmiller/Das Fotoarchiv	S. 70: Alfred Buelliesbach/VISUM	

Stand: Oktober 2008  
3. Auflage: 5.000 Exemplare

# Mögliche Klimaänderungen im Alpenraum

von Dr. Daniela Jacob, Holger Göttel,  
Sven Kotlarski und Philip Lorenz

## Einleitung

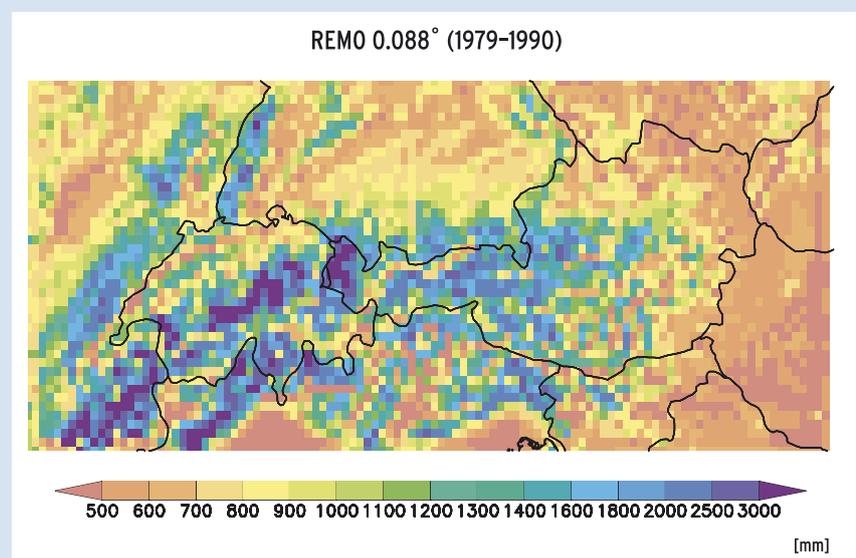
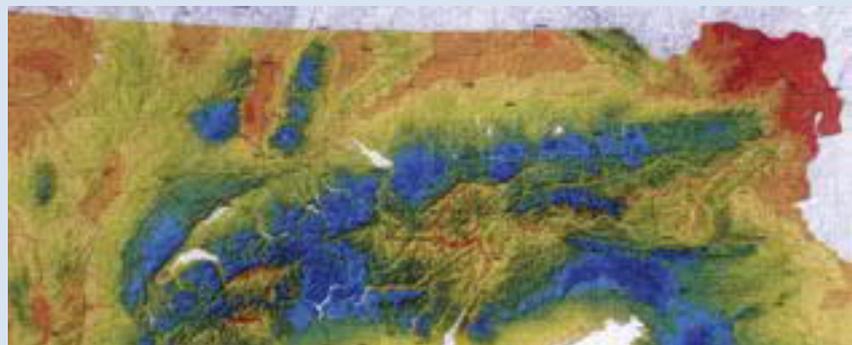
Es ist unumstritten, dass sich das Klima der Erde in den letzten Dekaden gewandelt hat, wie zahlreiche Aufzeichnungen meteorologischer und hydrologischer Dienste weltweit zeigen. Auch der Alpenraum ist betroffen und es scheint, dass gerade dort zukünftige Änderungen besonders gravierend sein können.

Um mögliche Klimaänderungen in der Zukunft zu untersuchen, wurden globale Klimamodelle entwickelt, die zusammen mit verschiedenen Annahmen über die Treibhausgasentwicklung in der Atmosphäre Klimaszenarien in den nächsten 100 Jahren berechnen. Diese Computermodelle können als mathematische Abbilder des Erdsystems gesehen werden, da sie die physikalischen Prozesse im Erdsystem numerisch beschreiben und so real wie möglich berechnen. Um die Güte der Klimamodelle einschätzen zu können, werden sie zunächst für die Berechnung vergangener Zeiten eingesetzt. Bevorzugt wird hierzu eine Zeitperiode gewählt, in der zahlreiche Beobachtungen weltweit vorliegen.

Sollen nun Aussagen über mögliche regionale oder lokale Klimaänderungen und ihre Auswirkungen gemacht werden, so muss die Brücke zwischen der globalen Klimaänderungsberechnung und den

Auswirkungen auf die Region geschlagen werden. Hierzu werden regionale Klimamodelle mit vielen Detailinformationen aus der Region und ihrer Umgebung in die globalen Modelle eingebettet. Wie mit einer Lupe kann dann das Klima der Region untersucht werden.

**Abb. 1: Jahresniederschlagsmenge über dem Alpenraum aus Beobachtungen für den Zeitraum 1971 bis 1990 (oben; Frei et al. 2003) und einer REMO-Simulation mit einer horizontalen Auflösung von ca. 10 km (unten)**



Hochwasser eines Gebirgsbachs in den französischen Alpen



## Regionale Klimaänderungen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) Szenarien für mögliche Klimaänderungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz bis zum Jahr 2100 erarbeitet, die grob als IPCC SRES Szenarien mit eher niedrigen (B1), mittleren (A1B) und hohen Emissionsraten (A2) kategorisiert werden können. Das MPI-M wurde darin vom Deutschen Klimarechenzentrum Hamburg unterstützt. Das hierfür eingesetzte regionale Klimamodell REMO [2,3] zeigt die Klimaentwicklung des vergangenen Jahrhunderts recht realitätsnah (Abb. 1), wie der Vergleich zu Beobachtungen – auch in stark strukturiertem Gelände wie den Alpen [1] – ergibt. Diese Überprüfung ist notwendig, um die Güte der Modellergebnisse zu bewerten. Die Klimasimulationen mit REMO wurden mit einer räumlichen Auflösung von 10 km durchgeführt. Hierbei liefern diese Simulationen Erkenntnisse, die es bislang noch nicht in dieser Detailliertheit gab.

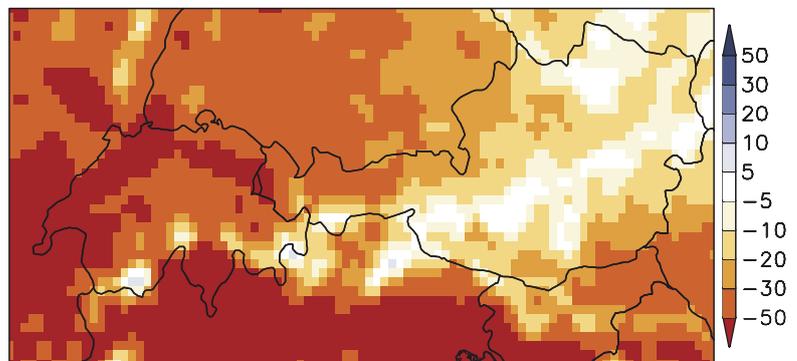
Die Ergebnisse im Detail: Mehr Treibhausgase können im Alpenraum zu einer mittleren Erwärmung führen, die im Jahr 2100 – abhängig von der Höhe zukünftiger Treibhausgasemissionen – zwischen 3°C und 4,5°C liegt. Die Jahresniederschlagsmenge scheint

sich jedoch kaum zu verändern, allerdings kann es in den Sommermonaten zu einer Abnahme der Niederschlagsmengen kom-

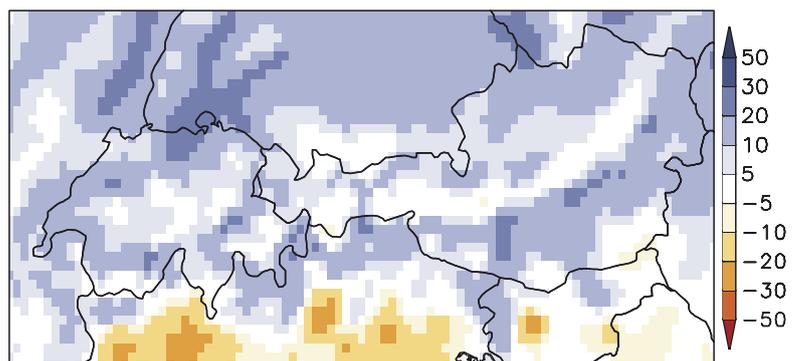
men (bis ca. 30 Prozent). Für die Wintermonate wird eher eine Zunahme um 5 bis 10 Prozent berechnet (Abb. 2).

**Abb. 2: Mögliche Änderungen der Niederschlagsmengen im Alpenraum für die Sommermonate (oben) und die Wintermonate (unten), berechnet im A1B Szenario für die Zeit 2071 bis 2100 im Vergleich zu 1961 zu 1990**

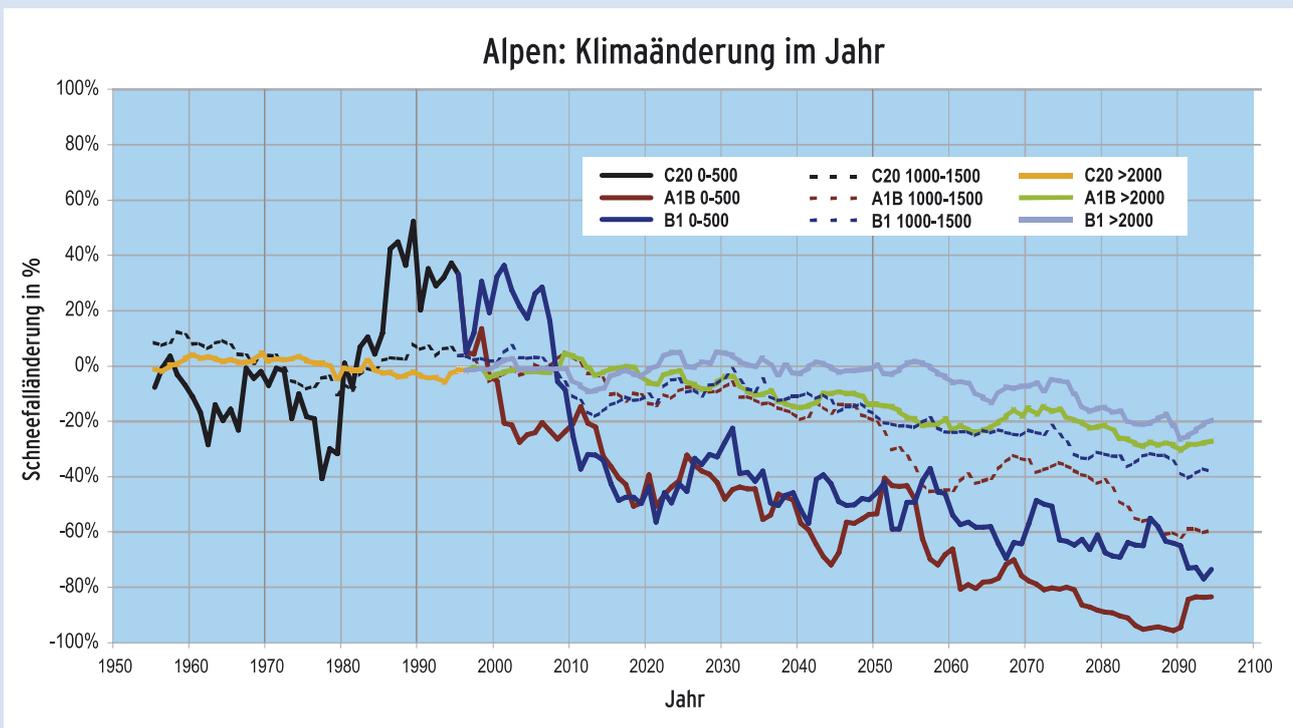
A1B: 2071/2100 minus 1961/1990  
Sommer: relative Niederschlagsänderung [%]



A1B: 2071/2100 minus 1961/1990  
Winter: relative Niederschlagsänderung [%]



**Abb. 3: Änderung der Schneefallmenge pro Jahr für verschiedene Höhenstufen (0-500 m, 1.000-1.500 m, > 2.000 m) und die Klimaszenarien A1B (rot) und B1 (blau)**



Wegen gleichzeitig steigender Wintertemperaturen in den Alpen – bis zum Ende des Jahrhunderts könnten es mehr als 4°C sein (A2, A1B) – wird der Niederschlag häufiger als Regen denn als Schnee fallen. Schon in den nächsten Dekaden kann in niedrigen Höhen deutlich weniger Schnee fallen, ab Mitte dieses Jahrhunderts wird sogar eine Abnahme des Schneefalls für Höhen über 2.000 m berechnet (Abb. 3).

Eine Analyse der Temperaturen zeigt, dass in den Wintermonaten die Nullgradgrenze im Mittel um 155 m pro °C ansteigen kann, d.h. bis zum Ende dieses Jahrhunderts kann die Nullgradgrenze im Mittel um ca. 650 m steigen, wenn sich die Lufttemperaturen in 2 m über Grund um ca. 4,2°C gegenüber 1961 bis 1990 erwärmen.

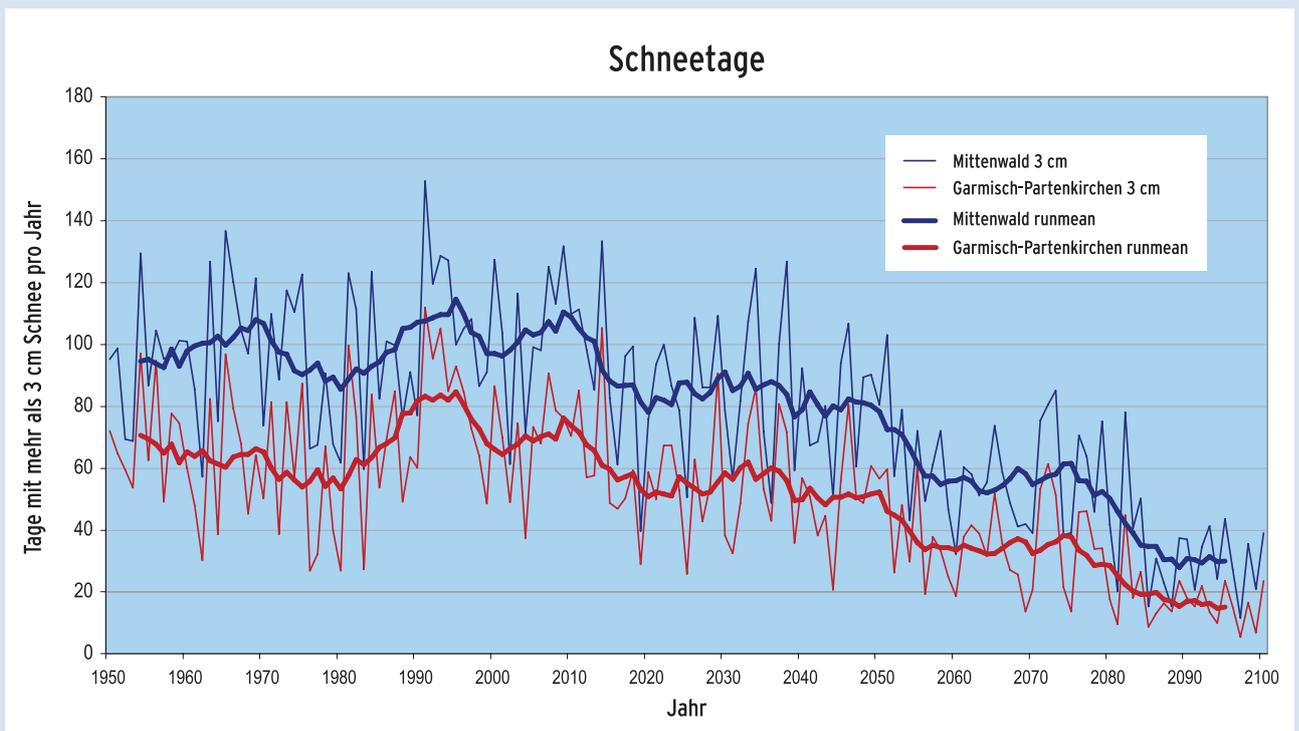
Diese Veränderungen haben zur Folge, dass sich die Zahl der Tage mit mehr als 3 cm Schneehöhe pro Jahr reduzieren, und zwar stärker in niedrigen Regionen wie z.B. Garmisch-Partenkirchen und Mittenwald, für die Abnahmen

um deutlich mehr als die Hälfte möglich sein können (Abb. 4). In höheren Regionen wird jedoch nur eine Reduktion um ca. ein Drittel berechnet. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts könnten daher die schneebedeckten Flächen im Alpenraum sehr stark schrumpfen, wenn die Erwärmung stark zunimmt (z.B. > 4°C). Doch auch schon bei einer Temperaturzunahme von 3°C, wie sie bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts simuliert wird, können sehr große schneebedeckte Flächen verschwinden, die heute noch als schneesicher gelten (Abb. 5).

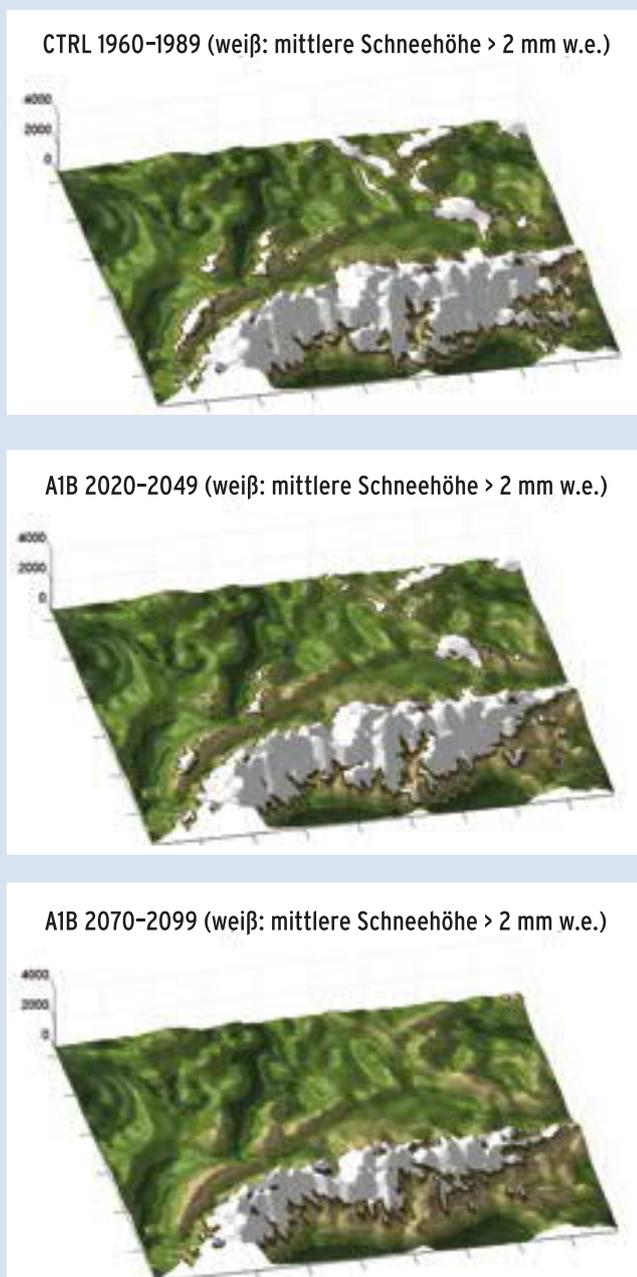


Garmisch-Partenkirchen in Oberbayern

Abb. 4: Mögliche Änderung der Zahl der Schneetage (> 3 cm) pro Jahr im A1B Szenario für die Regionen Mittenwald und Garmisch-Partenkirchen



**Abb. 5: Mittlere Schneehöhen > 2 mm Wasseräquivalent (weiß) als 30-jährige Mittel nach dem A1B-Szenario**



Diese schnellen und tiefgreifenden Veränderungen des Klimas können gravierende Folgen für die Menschen und die Umwelt haben. Die Schadenspotenziale extremer Wetterereignisse wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Stürme sind oftmals noch wesentlich größer als jene der schleichenden Klimaänderungen. Deswegen sind zurzeit am Max-Planck-Institut für Meteorologie detaillierte Analysen der Klimaszenarien in Arbeit, um Aussagen zur Häufigkeit und Stärke künftiger Extremereignisse machen zu können.



Hochkalter (2.607 m) in den Berchtesgadener Alpen/Bayern

## Schlusswort

Alle oben erwähnten Ergebnisse entstammen je einer Simulation pro Emissionsszenario. Um die natürliche Variabilität berücksichtigen zu können, müssten viele dieser möglichen Realisationen eines Emissionsszenarios berechnet werden. Dies ist auch geplant und wird dann verwendet, um die Robustheit der Klimaänderungsmuster zu analysieren.

Weiterhin muss nun die Verbindung zu den ökologischen und sozioökonomischen Bereichen des Erdsystems hergestellt werden. Regionale Klimamodelle müssen zu regionalen Systemmodellen ausgeweitet werden, die die Vielzahl von biogeochemischen Wechselwirkungen ebenso berücksichtigen wie den Einfluss menschlichen Handelns.

## Literatur

- [1] Frei, C., Christensen, J.H., Deque, M., Jacob, D., Jones, R.G., und Vidale, P.L.: 2003, 'Daily precipitation statistics in regional climate models: Evaluation and intercomparison for the European Alps', *J. Geophys. Res.* 108 (D3), 4124, doi: 10.1029/2002JD002287.
- [2] Jacob, D.: 2001, 'A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin', *Meteorol Atmos Phys* 77, 61-73.
- [3] Jacob, D., Bärring, L., Christensen, O.B., Christensen, J.H., Hagemann, S., Hirschi, M., Kjellström, E., Lenderink, G., Rockel, B., Schär, C., Seneviratne, S.I., Somot, S., van Ulden, A. and van den Hurk, B.: 2007, 'An inter-comparison of regional climate models for Europe: Design of the experiments and model performance', PRUDENCE Special Issue, *Climatic Change*, Vol. 81, Supplement 1, May 2007.
- [4] Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. and Dadi, Z.: 2000, 'IPCC Special Report on Emissions Scenarios', Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

## Kontakt:

**Max-Planck-Institut für Meteorologie**  
Bundesstraße 53, 20146 Hamburg  
Tel.: 040 411 73-0  
Fax: 040 411 73-298  
Internet: [www.mpimet.mpg.de](http://www.mpimet.mpg.de)