

**GREENPEACE**



# **KLIMAWANDEL UND LAWINEN**

**RISIKEN UND TRENDS  
IM ALPENRAUM**

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	02
1. Lebensraum Alpen .....	03
2. Wie entstehen Lawinen? .....	07
3. Klimawandel im Alpenraum – Wie sich Klimafaktoren im 20. Jahrhundert verändert haben .....	11
4. Die Nordatlantische Oszillation .....	17
5. Klima, Schnee und Lawinen .....	23
6. Schlussfolgerungen .....	26

## Vorwort

Schneereiche Winter sind die Grundlage für den Wintertourismus in Österreich. Ein zuviel an Schnee in kurzer Zeit kann aber auch den „Weißen Tod“ – die Schneelawinen – auslösen. Im Februar 1999 wurde in Galtür, im Tiroler Paznauntal, die größte Lawinenkatastrophe seit den 70er Jahren ausgelöst. 38 Menschen fanden den Tod unter den Schneemassen. Solche Lawinenkatastrophen hat es im Alpenraum leider schon immer gegeben. In den letzten Jahren häuften sich jedoch die Stimmen, daß die Lawinentätigkeit nicht mehr nur natürliche Ursachen hat. Der Mensch mit seinen Treibhausgasemissionen, allen voran Kohlendioxid, scheint jedenfalls das globale und europäische Klima bereits jetzt zu beeinflussen. Inwieweit regionale Klimamodelle für Europa und speziell für den Alpenraum Rückschlüsse auf eine vermehrte, gleichbleibende oder gar abnehmende Lawinentätigkeit zulassen, soll in dieser Studie untersucht werden.

Die Nordatlantische Oszillation scheint hier eine besondere Rolle einzunehmen. Wenn diese wieder umschlägt könnte sich der bereits beobachtete Anstieg der Starkniederschläge entlang der Alpennordseite auch auf die Alpensüdseite ausdehnen. In höheren Regionen würde das bei sonst gleichbleibenden Bedingungen mehr Schnee und wahrscheinlich auch mehr Lawinen zur Folge haben.

Wenn die NAO nicht umschlägt, ist dies für sich genommen bereits ein sehr starker Hinweis für den menschlichen Einfluß auf das europäische Klima.

Diese Studie ist eine Weiterentwicklung der Studie „Die Alpen im Treibhaus“ 1998, die generell die Auswirkungen des Klimawandels im Alpenraum untersuchte. Mit der Untersuchung der alpinen Lawinentätigkeit soll ein weiterer Mosaikstein im globalen Bild der Klimakatastrophen eingefügt werden.

Greenpeace ruft angesichts der zunehmenden Zahl von auch menschlich verursachten Wetterextremen dazu auf, die Treibhausgasemissionen weltweit zu reduzieren. Das ist das einzige sichere Mittel langfristig Klimakatastrophen auch in Europa und im Alpenraum wieder auf ein natürliches Ausmaß zu senken. Sich nur auf den Klimawandel einzustellen und z.B. Geld vorwiegend in Anpassungsstrategien zu investieren wäre zu teuer und langfristig auch nicht erfolversprechend. Lawinenschutzverbauungen sind kurzfristig notwendig aber so wie Schneekanonen in tieferen Regionen kein Ersatz für massive Treibhausgasreduktionen.

Diese Greenpeace Studie stützt sich auf eine Studie der Universität für Bodenkultur, durchgeführt von Univ. Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb, DI Michael Baumgartner und DI Karl Kleemayr, im Auftrag von Greenpeace Schweiz, Greenpeace Deutschland und Greenpeace Österreich.

Ausdrücklich gedankt für ihre Mitarbeit sei: Irmi Egger, Julia Schriffl und DI Jurrien Westerhof.

Mit sonnigen Grüßen

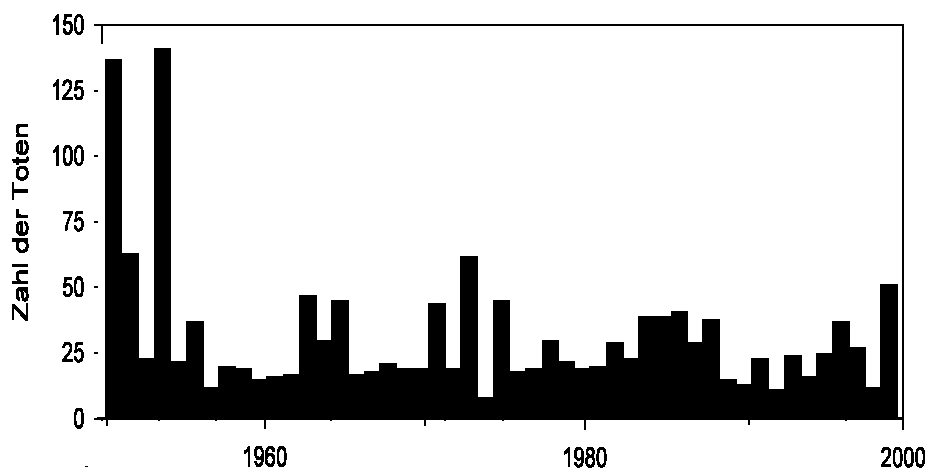
Mag. Erwin Mayer, Greenpeace Österreich

## 1. Lebensraum Alpen

Am 23. und 24. Februar des Jahres 1999 haben in Galtür im Tiroler Paznauntal tagelange Schneefälle eine der größten Lawinenkatastrophen der jüngeren Geschichte ausgelöst: 38 Menschen fanden unter den weißen Massen den Tod, tausende Touristen und Einheimische waren bei heftigen Schneefällen von der Außenwelt abgeschnitten und mussten in einer aufsehenerregenden Rettungsaktion evakuiert werden. Ist eine Tragödie wie Galtür bereits Anzeichen eines laufenden oder noch bevorstehenden Klimawandels? Ob eine Änderung des Klimageschehens tatsächlich einen Einfluss auf die Lawinentätigkeit und weiterreichende Folgen in den Alpen hat, soll die vorliegende Studie diskutieren.

Tatsache ist, dass Menschen, seit sie den Gebirgsraum zu besiedeln begannen, sich der Gefahr Lawine gegenüber sahen. Aufzeichnungen aus Kirchenchroniken belegen historische Katastrophen von schreckli-

**Schreckliche Lawinenkatastrophen seit Jahrhunderten**



Lawinentote in Österreich 1950–1999 (nach Gayl und Bauer, Jahrbücher des Kuratoriums für Alpine Sicherheit, Institut für Lawinen- und Wildbachforschung / Lawinenhandbuch 2000). Der Großteil der Lawinentoten sind Tourengeher und Variantenfahrer.

chem Ausmaß. So starben im Februar 1689 im Montafon (Vorarlberg) 120 Menschen unter den Lawinenmassen. Als größtes bekanntes Lawinenjahr gilt 1720, als allein im Schweizer Alpengebiet rund 300 Opfer zu beklagen waren. Näher an der Gegenwart, im Jahr 1951, gab es in Österreich allein vom 20. bis 22. Jänner 135 Lawinenopfer. Drei Jahre später sollte der Lawinentod zum bisher letzten mal mit solcher Heftigkeit zuschlagen: In Österreich wurden 143 Tote gezählt, 119 davon allein im Bundesland Vorarlberg.

### **Die Alpen unter Druck: Verkehr, Tourismus, Flächenverbrauch**

Die Alpen sind keine urtümliche Gebirgslandschaft. Knappe Siedlungsflächen, überbordender Verkehr und intensiver Tourismus sorgen für ökologische Probleme. 59% der Alpenbevölkerung ballen sich in Städten, während 40% der Alpenfläche von Bevölkerungsrückgang und Entvölkerung geprägt sind.<sup>1</sup> Industriestandorte können sich nur an wenigen zentralen Orten halten. Tourismusorte verzeichnen eine deutliche Tendenz zur Verstädterung und konzentrieren sich zunehmend auf wenige, höher gelegene Regionen.

Der Nutzungsdruck stieg seit dem zweiten Weltkrieg enorm: So hat etwa in Kötschach-Mauthen (Kärnten) die verbaute Fläche zwischen 1951 und 1991 um mehr als das achtfache zugenommen, die Einwohnerzahl ist in der gleichen Zeit jedoch nur um 31 Personen gestiegen.<sup>2</sup> Nördlich und südlich der Alpen pulsieren Millionenstädte und potente Wirtschaftsregionen. Die ökonomische Stärke im Vorland der Alpen führt zu massivem Verkehrsaufkommen und erhöhter Nachfrage nach Erholungsgebieten in freier Landschaft. Wirtschaftliche und touristische Aktivitäten verlagern sich so immer mehr ins ökologisch sensible Hochgebirge. Die Alpen leiden, und die Gefahr für Lawinenschäden wächst, da immer weiter in Gefahrenbereiche vorgestoßen wird.

### **Lawinen verursachen Kosten in riesiger Höhe**

Aufwändige technische Maßnahmen (Schutzwälle, Lawinenverbauungen) konnten neuralgische Punkte oftmals entschärfen. Materielle Schäden durch Lawinenabgänge sind, von den menschlichen Todesopfern einmal abgesehen, jedoch beträchtlich. Allein die direkten Schäden durch Einwirkung von Lawinen oder großen Schneemengen (Gebäude, Verkehrswege, Bergbahnen, Wald- und Flurschäden, Räumungsaufwand) werden für den Winter 1998/99 in der Schweiz auf fast 437 Millionen Franken geschätzt<sup>3</sup> (287 Mio Euro – 562 Mio DM – 3,95 Mrd öS). Indirekte Schäden durch Einbußen im Tourismus in diesem Winter, hauptsächlich betroffen waren Hotellerie und Bergbahnen, beliefen sich auf über 180 Millionen Schweizer Franken (119 Mio Euro – 232 Mio DM – 1,6 Mrd öS).

1 Bätzing, W.: Der Strukturwandel der Alpenstädte von Zentralen Orten zu Vorstädten europäischer Metropolen und die Zukunft der Alpen. In: Geographica Bernensia P36 (Die Zukunft der Alpenstädte in Europa).

2 Keckstein, V.: Kleinstädte und Marktgemeinden zwischen Urbanität und Zersiedelung. In: Geographica Bernensia P36 (Die Zukunft der Alpenstädte in Europa).

3 Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Hg.): Der Lawinenwinter 1999. Ergebnisanalyse. Davos 2000.



Der Wintertourismus ist in der Schweiz für 3% des Bruttoinlandsproduktes verantwortlich, in Österreich sogar für 4%. Lawinenabgänge können so für einzelne Orte auch dramatische wirtschaftliche Folgen haben. Tiefe Temperaturen und ausreichend Schnee sind die Voraussetzungen für den Wintertourismus. Ohne Schnee keine Touristen, ohne Touristen kein Geld. Geht man davon aus, dass bis 2050 eine Erwärmung der durchschnittlichen Wintertemperaturen um 2–3°C gegenüber der Periode 1965–1995 stattfindet, so ergeben sich für den Tourismus weitreichende Konsequenzen<sup>4</sup>: Niedrig gelegene Wintersportregionen wie Kitzbühel/Kufstein, Liezen, Oberkärnten und Bregenz wären vom Klimaeinfluss stark bedroht. Beschneiungsanlagen könnten nur mehr in Lagen über 1500 m Höhe eingesetzt werden. Für die Schweiz wird mit einem Ansteigen der Höhengrenze, ab der im Winter Schneesicherheit herrscht, von derzeit 1200 Meter auf künftig 1500 Meter gerechnet. Die Anzahl der schneesicheren Schigebiete würde von 85% auf 63% sinken.<sup>5</sup> In den österreichischen Bundesländern Steiermark, Niederösterreich und Oberösterreich würde der Schitourismus fast völlig zum Erliegen kommen. In Westösterreich wäre mit einer Saisonverkürzung um einen Monat zu rechnen, was besonders die ertragsstarken Perioden um Weihnachten

**Die Erwärmung bedroht den Wintertourismus**

<sup>4</sup> Breiling, M. et al.: Klimasensibilität österreichischer Bezirke mit besonderer Berücksichtigung des Wintertourismus. Institut für Landschaftsplanung Alnarp. Alnarp 1997.

<sup>5</sup> Abegg, B.: Klimaänderung und Tourismus. Klimaforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Schlussbericht NFP 31, Zürich 1996.

und Ostern betrifft. Der Schitourismus würde sich auf hochgelegene Regionen, insbesondere in Frankreich und der Schweiz, konzentrieren – mit allen negativen ökologischen Konsequenzen. Für die Arbeitsplatzsituation und das wirtschaftliche Gefüge von monostrukturierten Tourismusregionen sind dramatische Änderungen zu erwarten.



© Greenpeace/Stefan Kreuzer

## 2. Wie entstehen Lawinen?

Bereits ab einer Hangneigung von  $30^\circ$  können bei entsprechender Schneelage Lawinen abgehen. Lawinen erreichen sehr hohe Geschwindigkeiten, abhängig von Masse, Steilheit, Schneeart und Untergrund. Nasse Fließlawinen mit schwerem Schnee können  $70 \text{ km/h}$  erreichen, Staublawinen sogar  $250 \text{ km/h}$ . Das Zusammenspiel von Masse und Geschwindigkeit verursacht die große Zerstörungskraft der Lawinen.

**Lawinen bilden sich bereits ab  $30^\circ$  Hangneigung und erreichen  $250 \text{ km/h}$**

Von Lawinen spricht man generell, wenn die Entfernung zwischen der Anrissstelle und dem Endpunkt der Ablagerung mehr als 50 Meter beträgt. Alles andere sind Schneerutsche. Nach der Anrissform der Lawine wird unterschieden zwischen Lockerschneelawinen (bei Hangneigungen von  $40^\circ$ – $60^\circ$ ) und den gefährlichen Schneebrettlawinen (bei Hangneigungen von  $30^\circ$ – $50^\circ$ ), bei denen mit einem Ruck ein ganzer Hang mit katastrophalen Folgen abgehen kann.

Am Schnee hängt im Winter alles – der Tourismus, die Freude der Kinder, die Bildung von Lawinen. Schnee ist nicht gleich Schnee, und je nach Schneeart und Schichtbildung ändert sich das Lawinenrisiko. Poren in den Schneekristallen oder Schneekörnern können mit Luft gefüllt sein (Pulverschnee) oder mit Wasser (Frühjahrssulz). Bereits während des Niederschlags und später am Boden unterliegen die Schneekristalle einer dauernden Änderung. Diese Metamorphosen werden von der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Strahlung u.a. beeinflusst. Neue Korngrößen und Kristallformen können entstehen. Krusten an der Oberfläche wie Harschdeckel, Firnspiegel oder Windkrusten können sich bilden. Dichte, Porenanteil und Struktur verändern sich und damit auch die Festigkeit und Verformbarkeit des Schnees.

**Schichtbildung und Schneemetamorphose beeinflussen das Lawinenrisiko**

Die Festigkeit des Schnees entsteht bei Neuschnee durch die Verkeilung der einzelnen Kristalle, später gefrieren die Eiskörner zu festen Verbindungen. Je nach Beanspruchung der Schneedecke wird von Zugfestigkeit, Druckfestigkeit und Scherfestigkeit gesprochen. Die innere Festigkeit und die Verbindung mit dem Boden – durch Anfrieren oder Verzahnung – hält die Schneedecke im Gleichgewicht. Extremer Neuschneezuwachs, Wind oder rasch steigende Temperaturen können dieses Gefüge destabilisieren und Lawinen auslösen.

Hoher Neuschneezuwachs über mehrere Tage und starker Wind sind die Hauptfaktoren zur Bildung von Lawinen

Entscheidend für die Bildung von großen Katastrophenlawinen sind, mit abnehmender Bedeutung, folgende Faktoren:

### Neuschneezuwachs

Die Erfahrung hat gezeigt, dass für die Bildung von großen Lawinen ein hoher Niederschlag über drei Tage (3-Tages-Niederschlagssumme) einen wichtigen Faktor darstellt. Nur in seltenen Fällen besitzt der 1-Tages-Niederschlag bzw. der Niederschlag über einen größeren Zeitraum die Intensität zur Auslösung großer Lawinen. Ein Beispiel dafür waren die Ereignisse von Galtür 1999: Der Neuschneezuwachs war dort über einen Zeitraum von zehn Tagen so enorm hoch, dass eine Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 400 Jahren dafür besteht. Diese gigantische Neuschneesumme spiegelt das Katastrophenpotential wieder.

### Wind

Der Wind gilt als „Baumeister der Lawinen“. Er bewirkt eine ständige Umlagerung des frisch gefallenen Schnees. In Mulden und an der Leeseite kann es dadurch zu extremen Schneemächtigkeiten kommen. Die natürliche Rauigkeit der Bodenoberfläche im Gebirge wird dadurch ausgeglichen und damit die Grundlage für eine homogene, flächige Schwachschichtbildung gelegt. Die Verzahnung der Schneekristalle untereinander wird durch den Wind reduziert, wodurch die Schneeschicht weniger stabil wird. An Geländekanten können zudem Wechten entstehen, die wegen ihrer Unberechenbarkeit und als Initialabbrüche eine dauernde Gefahr darstellen.

### Schwachschichtbildung

Große Lawinen sind fast ausschließlich sogenannte Schneebrettlawinen. Sie entstehen am häufigsten bei Hangneigungen zwischen 30° und 50°. Entscheidend ist dabei das Einschneien einer Schwachschicht (Oberflächenreif, Harsch), die nicht die nötigen Reibungskräfte auf die darunter liegende Schneeschicht übertragen kann. Durch starken Schneefall, Windverfrachtungen oder auch die Einkerbung einer Schispur kann der Anbruch einer flächigen Schneetafel ausgelöst werden. Am Beginn steht ein Scherriss, der sich hangparallel ausbreitet und von einem Zugriss gefolgt wird. Die Größe der Anbruchfläche kann von einigen Quadratmetern bis zu über 100 Hektar reichen. Annähernd 95% der Lawinen, in welchen Schifahrer ums Leben kommen, werden von ihnen selbst ausgelöst. Weniger

heimtückisch und gefährlich als Schneebrettlawinen sind Lockerschneelawinen, weil geringere Schneemassen im Spiel sind. Sie entstehen in steilerem Gelände durch punktförmigen Anriss, können aber eine Schneebrettlawine größeren Ausmaßes auslösen.



© Greenpeace/Stefan Kreuzer

### **Gesamtschneehöhe**

Für die Bildung von flächigen Schwachschichten – und nur so kann sich eine große Fläche mit einem Ruck lösen – ist es weiters notwendig, dass die „alte“ Schneedecke eine solche Mächtigkeit erreicht hat, um die Rauigkeitselemente des Bodens (Gesteinsblöcke, Rippen, Mulden ...) auszugleichen.

### **Temperaturänderung**

Vor allem rasche Temperaturerhöhungen bewirken einen Verlust der Eisbindungen und damit zunehmende Lawinengefahr.



- 6 Auer, I. et al.: 20th Century Increase of Boundary Layer Turbidity Derived From Sunshine and Cloudiness Series. Proceedings of the 8th Conference of Mountain Meteorology. 3.-7. August 1998, Flagstaff, Arizona. AMS Boston.
- 7 Wanner, H. et al.: Klimawandel im Schweizer Alpenraum. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2000.
- 8 Nach Daten von Böhm, R. et al.: Is there a NAO signal in Alpine Climate Time Series? Unveröffentlichter Konferenzbeitrag. 2nd International Climate and History Conference, University of East Anglia, Norwich, 7.-11. Sept. 1998; und IPCC-DDC (Intergovernmental Panel on Climate Change — Data Distribution Centre. CD-ROM, Version 1.0, April 1999.

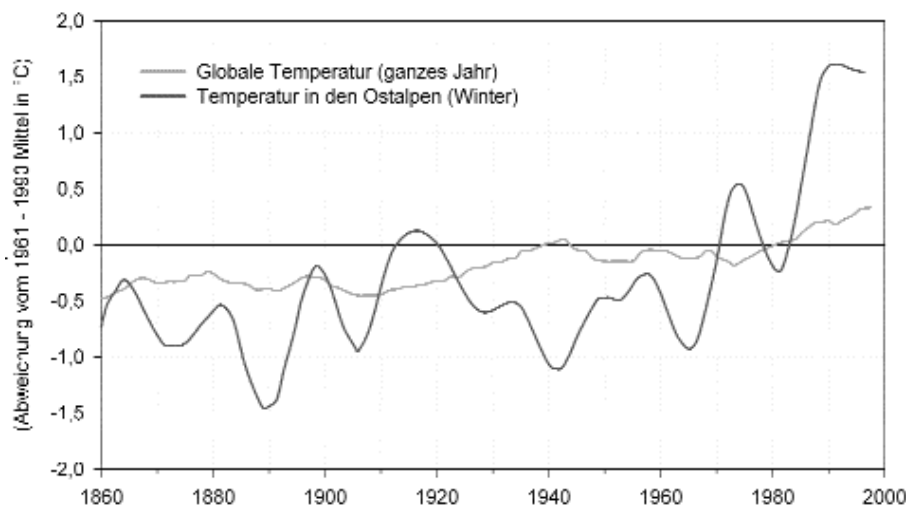
### **3. Klimawandel im Alpenraum – Wie sich Klimafaktoren im 20. Jahrhundert verändert haben**

Für die Lawinenaktivität sind die grundlegenden meteorologischen Parameter das Niederschlagsaufkommen, welches die Schneedecke bestimmt, das Starkniederschlagsaufkommen (vor allem ab Dreitagesereignissen), die Wind- und Luftdruckverhältnisse, welche von der Großwetterlage abhängig sind und die Temperaturverhältnisse einer Region. In diesem Kapitel wird versucht, für diese Parameter die globalen und alpenspezifischen Trends über das 20. Jahrhundert herauszuarbeiten.

#### **Temperatur**

Rekordhitzen im Juli, grüne Wiesen zur Weihnacht: Auch wenn ein einzelne Hitzewoche nicht als Anzeichen des Klimawandels gesehen werden kann, ist eines klar: Die Temperaturkurven im 20. Jahrhundert (bis 1995) zeigten weltweit nach oben, und zwar um  $0,3^{\circ}$  bis  $0,6^{\circ}$  C. Diese globale Klimaveränderung hat regional und jahreszeitlich sehr unterschiedliche Ausprägungen. Der Alpenraum, insbesondere im Winter, ist davon besonders stark betroffen. Die Zunahme der Wintertemperaturen in den Ostalpen ist bedeutend stärker als der weltweite Ganzjahrestemperaturanstieg. In Österreich gingen die Ganzjahrestemperaturen seit dem Jahr 1880 gleich um  $1,8^{\circ}$  C nach oben<sup>6</sup>, was weit über dem weltweiten Durchschnitt liegt. Es muss jedoch hinzugefügt werden, dass um 1880 der Höhepunkt einer natürlichen Abkühlungsphase erreicht war, und der Temperaturanstieg deshalb besonders deutlich ausfiel. Auch in der Schweiz sind die Minimumtemperaturen zwischen 1901 und 1993 im Mittel um rund  $2^{\circ}$  C angestiegen. Die größte Erwärmung gab es in den Wintermonaten, wobei davon speziell die höheren Lagen, der Südwesten und der Süden der Schweiz betroffen sind. Die Temperaturen sind insgesamt ausgeglichener und weniger extrem geworden. Für die Zukunft sprechen alle Klimamodelle von einer generellen Zunahme der Temperatur, vor allem auf der Nordhalbkugel. Bei einer Verdoppelung des Kohlendioxids in der Atmosphäre wird für den Alpenraum eine Erwärmung um  $2,5^{\circ}$  C erwartet.<sup>7</sup>

**Die Temperaturkurve zeigt weltweit nach oben. In den Alpen besonders stark**



Entwicklung der Wintertemperatur in den Ostalpen (4 Stationen über 2000 m Seehöhe in Westösterreich) von 1860–1996 verglichen mit der globalen Temperaturentwicklung über das ganze Jahr.<sup>8</sup> In den Alpen geht die Kurve deutlich stärker nach oben als weltweit.

**Auch der Niederschlag steigt in den Alpen mehr als anderswo**

### Niederschlag

Regen, Hagel, Raureif, Schnee: Weltweit ist der terrestrische Niederschlag (der Niederschlag über dem Festland) im 20. Jahrhundert um ein Prozent gestiegen. Diese Zunahme ist statistisch signifikant, aber räumlich und zeitlich sehr unterschiedlich. Ebenso wie bei der Erwärmung ist der Alpenraum auch von zunehmenden Niederschlägen stärker betroffen als andere Regionen. Es muss gesagt sein, dass natürliche langjährige Niederschlagsschwankungen immer vorgekommen sind. Wichtig für die Lawinenaktivität ist selbstverständlich die Entwicklung der Niederschläge im Winter.

**Die Winterniederschläge in den Alpen haben im 20. Jahrhundert deutlich zugenommen, im Norden stärker als im Süden**

Welche Trends lassen sich nun für die Alpen erkennen? Im Schweizer Alpenraum wurde für den Zeitraum 1901 bis 1990 unter Heranziehung von 113 kontinuierlich arbeitender Regenmessstationen eine hochsignifikante Niederschlagszunahme in den Wintermonaten von 10% festgestellt. Im Schweizer Mittelland, dem Jura und Teilen des Wallis (nördlich der Alpen) stieg der Winterniederschlag um 20%, in kleinen Teilen dieser Regionen sogar um 30–40%.<sup>9</sup> Die Niederschlagszunahme ist auf der Alpennordseite weitaus stärker als südlich des Gebirges, was durch eine bessere Abschirmung dieser Regionen von den Westwinden erklärt werden kann.<sup>10</sup> Alpenweit

<sup>9</sup> Widmann, M. und C. Schär: A Principal Component and Long-Term Trend Analysis of Daily Precipitation in Switzerland. International Journal of Climatology, Vol. 17, 1997.

<sup>10</sup> Pfister, C.: Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Verlag Paul Haupt, 1998.

wurde für die Periode 1891–1990 eine Zunahme der Niederschläge im Winter um bis zu 20% ermittelt, allerdings mit weniger signifikanten Trends als die Schweizer Untersuchung.<sup>11</sup> Für Süddeutschland wurde im gleichen Zeitraum ein Niederschlagsplus im Winterhalbjahr von 30% festgestellt.<sup>12</sup> Bei einem Vergleich der Perioden 1880–1935 und 1936–1991 wurde in Nordtirol eine Zunahme der Winterniederschläge von 10%, in Südtirol hingegen eine Abnahme von 5% ermittelt.<sup>13</sup>

Für diese winterliche Niederschlagszunahme gibt es unterschiedliche Begründungen. Eine Ansicht ist, dass die regenproduzierenden Wettersysteme mehr Feuchtigkeit gegen die Alpen bringen.<sup>14</sup> Andere Untersuchungen folgern jedoch, dass die Zunahme der Niederschläge durch veränderte Wetterlagenhäufigkeiten beeinflusst werden.<sup>15</sup> Als Erklärung kann auch die Erwärmung des Meerwassers im Nordostatlantik dienen. Diese höhere Wassertemperatur führt zu mehr Verdunstung. In Kombination mit einer verstärkten Westwindzirkulation, die seit etwa 30 Jahren festgestellt wird, könnte dies der Grund für einen vermehrten Feuchtigkeitstransport gegen die Alpen sein. Bei erhöhter Geschwindigkeit haben die Luftmassen zudem die Tendenz, ein Gebirge zu überfließen statt ihm seitlich auszuweichen. Durch eine solche Hebung wird die Niederschlagsaktivität zusätzlich verstärkt. Andererseits ist die Luftfeuchtigkeit direkt abhängig von der Lufttemperatur. Bei einer Erwärmung um 1°C ist eine Zunahme der absoluten Luftfeuchtigkeit von ungefähr 8% zu erwarten.<sup>16</sup>

**Höhere Temperaturen –  
mehr Verdunstung – mehr  
Niederschlag**

### Welche Prognosen gibt es für die Zukunft?

Im 21. Jahrhundert werden nach den Erwartungen aller Klimamodelle die Niederschläge im Alpenraum weiter steigen. Entgegen den Trends der Vergangenheit könnte in den folgenden Jahrzehnten jedoch die Alpensüdseite einen Großteil der Zunahme abbekommen. Ein alpenpezifisches Szenario erwartet ein kräftiges Niederschlagsplus von

**Die Zukunft: Weiterhin  
mehr Niederschlag, vor  
allem auf der Alpensüdseite**

11 Schönwiese, C.D. et al.: Klimatrend-Atlas Europa 1891-1990. Verlag Zentrum für Umweltforschung, 1993.

12 Rapp, J. und C.D. Schönwiese: Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie B, Band 5, 1995.

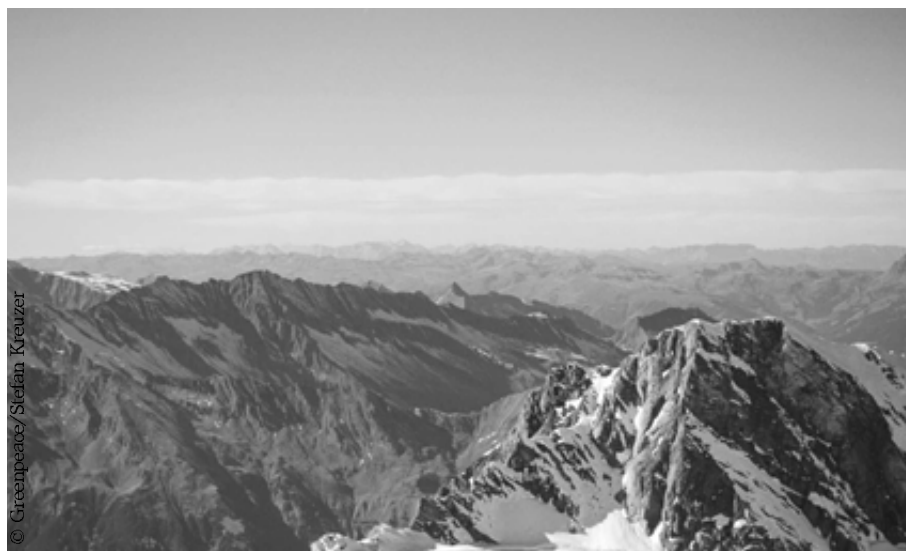
13 Fliri, F.: Der Niederschlag in Tirol in den letzten 150 Jahren. In: Aktuelle Aspekte der Hydrologie, Vol. 53, 1993.

14 Widmann und Schär 1997.

15 Wanner et al. 2000.

16 Bader, S. und P. Kunz: Klimarischen – Herausforderungen für die Schweiz. Wissenschaftlicher Schlussbericht NFP 31, Zürich 1998. 17 Gyalistras, D. et al.: Future Alpine Climate. In: Cebon, P. et al. (Hg.): Views from the Alps. Regional Perspectives on Climate Change, MIT Press 1994.

40% im Winter an der Südseite und eine mäßige Zunahme von 5% im Norden.<sup>17</sup> Diese Umkehrung der bisher gültigen Verteilung hängt mit einem erwarteten Umschlagen der „Nordatlantischen Oszillation“ zusammen, die das großräumige Wettergeschehen über Europa entscheidend beeinflusst (siehe dazu das übernächste Kapitel). Auch das Klimamodell der ETH Zürich rechnet mit verstärktem Niederschlag südlich der Alpen durch vermehrte Feuchtigkeit aus dem Mittelmeerraum. Andere, nicht regionalspezifisch gearbeitete Prognosen gehen von einer Zunahme der Niederschläge im Norden Europas (nördlich 45° Breite) aus vor allem in der kalten Jahreszeit und einer Abnahme südlich davon, vor allem im Sommer.



### Starkniederschläge

Heftiger Schneefall, mehrere Tage hindurch, oft länger als eine Woche, das ist die Grundvoraussetzung für Lawinenabgänge. Galtür war dazu ein klassisches Beispiel.

**40% des Niederschlages in den Alpen stammt aus Starkniederschlägen**

Extreme Niederschläge prägen den Alpenraum außergewöhnlich stark. Ungefähr 40% der jährlichen Niederschlagsmenge in den Alpen stammen aus Starkniederschlägen, die im Durchschnitt an nur 10 Tagen im Jahr auftreten. Die Südseite der Alpen ist von einer zehnfach höheren Frequenz von Starkniederschlägen betroffen wie das kontinentale europäische Flachland.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Gyalistras, D. et al.: Future Alpine Climate. In: Cebon, P. et al. (Hg.): Views from the Alps. Regional Perspectives on Climate Change, MIT Press 1994.

<sup>18</sup> Frei, C. et al.: Climate Dynamics and Extreme Precipitation and Flood Events in Central Europe. 2000.

Was sind Starkniederschläge? Dazu gibt es unterschiedliche Definitionen. In dieser Untersuchung werden Starkniederschläge als Niederschlagsereignisse mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von mindestens 10 Tagen verstanden. Genauer differenziert: Niederschläge mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 10 Tagen gelten als moderate, von 30 Tagen als intensive, von 100 Tagen als starke und von 365 Tagen als extreme Niederschlagsereignisse. Dazu muss die betroffene Fläche mindestens 500 Quadratkilometer betragen. Lokale Gewitter, die eine andere Entstehung haben als großräumige Starkniederschläge, werden dadurch ausgeschieden. Für die Lawinenaktivität wäre insbesondere detailliertes Wissen über Mehrtages-Starkniederschläge (3 bis 7 oder mehr Tage) nützlich – Eintagesereignisse haben kaum Lawinen zu Folge. Dazu gibt es leider keine Untersuchungen. Es müssen daher Eintagesereignisse als Indikator herangezogen werden.

**Keine Untersuchungen über mehrtägige Starkniederschläge**

Weltweit sind Forschergruppen zu dem Ergebnis gekommen, dass in jenen Regionen, in denen die Niederschläge zunehmen, dies auf die Zunahme der intensiven, starken und extremen Niederschläge zurückzuführen ist. Für Skandinavien, die USA, Indien, Japan und Australien wurde dies eindeutig belegt.

**Niederschlagszuwachs heißt Zuwachs von Starkniederschlägen**

Welche Situation finden wir nun in den Alpen? Grundsätzlich ist anzumerken, dass, entgegen der weitverbreiteten Annahme, die Stauwirkung an der Alpennordseite für Starkniederschläge nur von geringer Bedeutung ist. Extremniederschläge können nordalpin bei verschiedenen Strömungslagen zustande kommen. Auf der Alpensüdseite hingegen können starke Dauerniederschläge nur bei südlicher Anströmungsrichtung entstehen.

Für die Schweiz wurde auf der Alpennordseite und inneralpin ein deutlicher Anstieg der ganzjährigen Starkniederschläge seit den 1970er Jahren festgestellt. Die Anzahl der Starkniederschläge pro Jahr in der Periode 1976–1996 hat gegenüber dem Zeitraum 1901–1975 von 1,5 auf 3,6 bzw. um 137% zugenommen. Im Unterschied dazu ist auf der Alpensüdseite die Anzahl der Starkniederschläge nur mäßig signifikant um 32% gewachsen.<sup>19</sup>

**Die Anzahl der winterlichen Starkniederschläge nördlich der Alpen hat sich deutlich erhöht**

<sup>19</sup>Courvoisier, H.W.: Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901–1996. Arbeitsbericht der schweizerischen meteorologischen Anstalt, Nr. 194, 1998.

### Die Zukunft: Niederschläge kommen nicht öfter, dafür intensiver

Neueste Untersuchungen in den Schweizer Alpen haben für den Zeitraum 1901–1994 eine statistisch signifikante Frequenzzunahme von winterlichen Intensivniederschlägen bei 40 von 113 beobachteten Stationen gefunden. Auch die moderaten Niederschläge (Wiederkehrwahrscheinlichkeit 10 Tage) nahmen ähnlich signifikant zu. Für Stark- und Extremniederschläge sind die Trends hauptsächlich nicht statistisch signifikant, was aber nicht notwendigerweise heißt, dass kein Trend vorhanden sein muss. Extreme Niederschläge sind schon von ihrer Definition her so selten, dass mit statistischen Methoden nur sehr schwer ein Trend gefunden werden kann. Die beobachtete Zunahme im Winter bewegt sich zwischen 20 und 80% über die vergangenen 100 Jahre. Durchschnittlich nahm im 20. Jahrhundert die Frequenz der Intensivniederschläge in der Schweiz im Winter um 30% zu.<sup>20</sup>



Für das 21. Jahrhundert deuten globale Klimasimulationen darauf hin, dass die Niederschläge in den mittleren und höheren Breiten der Nordhalbkugel weiter zunehmen werden und hauptsächlich Starkniederschlagsereignisse dafür verantwortlich sind. Auch regionale Klimamodelle erwarten eine Zunahme der winterlichen Starkniederschläge in Europa.

<sup>20</sup>Frei, C. und C. Schär: Detection Probability of Trends in Rare Events: Theory and Application to Heavy Precipitation in the Alpine Region. *Journal of Climate*, 2000.21 Bader, S. und P. Kunz: Klimarisiken - Herausforderungen für die Schweiz. Wissenschaftlicher Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1998.

## 4. Die Nordatlantische Oszillation

Die nordatlantische Oszillation, kurz: NAO, ist Europas Wettermaschine. Sie ist hauptverantwortlich für die großräumigen Hoch- und Tiefdruckgebiete, die langfristigen Klimaschwankungen und damit die Wettersituation im Alpenraum. Besonders im Winter ist die NAO stark ausgeprägt und dürfte ein der Lawinenaktivität zugrunde liegender Hauptfaktor sein.

**Die NAO steuert das Wettergeschehen in Europa**

### **Was verbirgt sich hinter diesem Kürzel – Was ist die NAO?**

Die NAO bezeichnet den großräumigen Druckunterschied zwischen zwei guten Bekannten aus dem Wetterbericht: Dem Islandtief im Nordwesten des europäischen Festlandes und dem Azorenhoch westlich von Spanien und Portugal. Dieser Druckunterschied kann mehr oder weniger stark ausgeprägt sein und bewirkt klimatische Schwankungen über Jahre und Jahrzehnte. Die NAO ist zudem gekoppelt an eine größere Oszillationsbewegung, die arktische Oszillation. Weiters beeinflussen die El Niño-Southern Oszillation (ENSO), die Quasizweijährige Oszillation (QBO) und das Eurasian Pattern (EU) das europäische Wettergeschehen.

### **Auf welche Weise wirkt sich die NAO auf unser Wetter aus?**

Ist der Druckunterschied zwischen Islandtief und Azorenhoch hoch (d.h. entweder ein stark ausgeprägtes Hoch, ein stark ausgeprägtes Tief oder beides), spricht man von einem positiven NAO Index, im umgekehrten Fall von einem negativen.

Bei einem positiven Index (NAO+) ergibt sich aufgrund der Druckunterschiede eine starke von Süden nach Norden gerichtete Luftströmung (vom Hochdruck- zum Tiefdruckgebiet). Aufgrund der Erdrotation und der dadurch wirkenden Coriolis-Kraft wird diese Strömung in Form eines Wellenmusters in West-Ost Richtung abgelenkt. Dies führt zu einem Hochdruckrücken über Europa, den sogenannten „Ausläufern des Azorenhochs“. Westwinde vom Atlantik blocken so die arktische Nordströmung ab. Für die Alpen heißt dies: hoher Luftdruck, hohe Temperaturen und Trockenheit, insbesondere in den höheren Lagen.<sup>21</sup>

**Positiver NAO Index heißt Hochdruck, Wärme, Trockenheit**

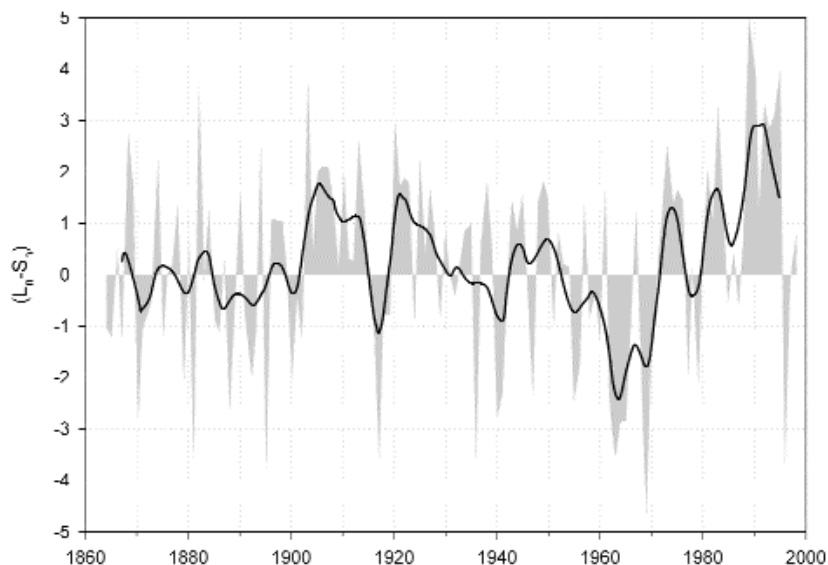
<sup>21</sup>Bader, S. und P. Kunz: Klimarissen – Herausforderungen für die Schweiz. Wissenschaftlicher Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1998.

## Negativer NAO Index heißt Tiefdruck, Kälte, Niederschlag

Bei gering ausgeprägter Druckdifferenz über dem Atlantik, also einem negativen NAO Index, sind die Westwinde hingegen abgeschwächt und verlaufen auf südlicheren Zugbahnen. Über den Alpen befindet sich in diesem Fall ein Tiefdruckgebiet. Von Norden stoßen dann ungehindert arktische Luftmassen nach Mitteleuropa vor, die mehr Feuchte und tiefere Temperaturen mit Winterschneefällen in den Alpenraum bringen.

## Die NAO schwankt und mit ihr das Klima

Die NAO ist mehrjährigen Schwankungen unterworfen, die manchmal periodisch, oft aber auch unregelmäßig ablaufen. Neben internen Faktoren wird die NAO von der Sonne, der Erdbahn, von Vulkan-tätigkeiten und möglicherweise von menschlichen Einwirkungen beeinflusst. Zum ersten mal seit 1700 trat eine ausgeprägt positive NAO-Phase im beginnenden 20. Jahrhundert ein.<sup>22</sup> Die längste Negativperiode im 20. Jahrhundert trat zwischen 1950 und etwa 1974 auf. Tiefe Temperaturen und massive Schneefälle prägten die Winter jener Zeit. In diese Periode fielen zahlreiche Schiliftplanungen im Alpenraum. Mitte der 1970er Jahre schlug der NAO Index in eine positive Phase um und brachte trockenere und wärmere Winter nach Mitteleuropa. Viele der vermeintlich schneesicheren Gebiete können so heute nur mit künstlicher Beschneigung den Schitourismus aufrecht erhalten.



**Zeitliche Entwicklung des NAO Indexes 1864 – 1998.<sup>23</sup> Seit etwa 1974 herrscht eine extreme Positiv-Phase.**

<sup>22</sup>Wanner et al. 2000.

<sup>23</sup>Parker, D.E. und C.K. Folland: The Nature of Climate Variability. Meteorological Magazine, Vol. 117, 1988.



Seit über 20 Jahren befindet sich die NAO nun durchgehend in einer extremen Positivphase, der längsten, die bisher beobachtet werden konnte. Ein substantieller Teil des in Europa festgestellten Temperaturanstieges ist auf diese außergewöhnliche NAO Phase zurückzuführen.<sup>24</sup> Ob dieser positive NAO-Index von anthropogenen Treibhausgasemissionen verstärkt oder verursacht wurde, kann derzeit weder bewiesen noch ausgeschlossen werden.

Als Auslöser für den NAO Phasensprung ins Plus wird die „Große Salinitätsanomalie“ gesehen. Dahinter verbirgt sich ein Rückgang des Salzgehalts im Meerwasser bei Grönland Ende der 1960er Jahre. Gleichzeitig kühlte sich das Meerwasser um 1 bis 2°C ab, was eine Ausweitung der Meereisbildung nach sich zog.

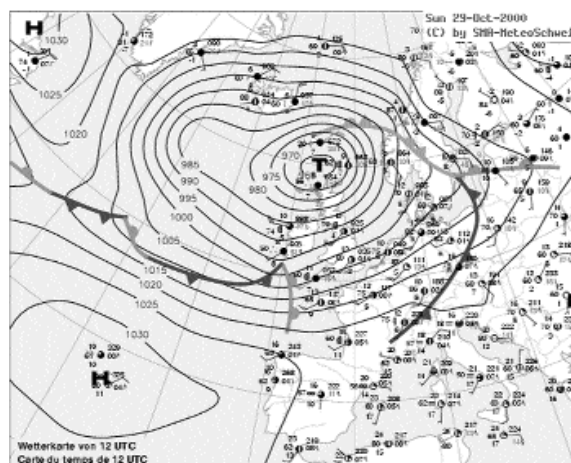
Wie hat sich die positive NAO Phase seit etwa 1980 auf die Großwetterlagen in Europa und im Alpenraum ausgewirkt? Für die Schweiz wurde nachgewiesen, dass mit dem positiven NAO Index auch der Luftdruck gestiegen ist und die winterlichen Hochdruckgebiete länger angehalten haben, als zu anderen Zeiten des 20. Jahrhunderts.<sup>25</sup> Der Erwartung entsprechend sind Westwindlagen in den Wintermonaten der vergangenen beiden Jahrzehnte mit über 40% deutlich häufiger aufgetreten als in den hundert Jahren davor, als die

**Die NAO ist derzeit positiv wie nie**

**Die positive NAO brachte in den Alpen Hochdruck, Westwindlagen und weniger Stürme**

<sup>24</sup>Hurrell, J. W. und H. Van Loon: Decadal Variations in Climate Associated with the North Atlantic Oscillation. *Climate Change*, Vol. 36, 1997.

<sup>25</sup>Beniston, M. et al.: An Analysis of Regional Climate Change in Switzerland. In: *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 49, 1994.



Häufigkeit dieser Wetterlage bei 30% lag. Sturmartige Winde, wie sie in einer NAO+ Phase zu erwarten wären, sind jedoch nicht eingetreten. Im Gegenteil: Im Schweizer Mittelland haben sich die Windgeschwindigkeiten verringert, vor

allem die Zeit vor 1940 war bedeutend windiger als die Gegenwart. Nordeuropa hingegen ist besonders seit den 1970er Jahren von starken Stürmen betroffen. Die Westwinde sind also wie erwartet stärker geworden, jedoch nicht über den Alpen. Die winterlichen Tiefdruckbahnen dürften sich nach Norden verlagert haben und hinterlassen so immer öfter in Norddeutschland und Südkandinavien ihre Spuren. Der Alpenraum hingegen liegt vermehrt am südlichen Rand dieser Sturmfelder oder sogar außerhalb davon.<sup>26</sup>

**Paradox: Positive NAO und steigender Niederschlag**

Der positive NAO Index der vergangenen Jahrzehnte brachte also höheren Luftdruck, vermehrte Westwindlagen und – entgegen den Erwartungen – schwächere Winde in den Alpenraum. NAO+ sollte in der Theorie auch Trockenheit bringen. Tatsächlich haben die Niederschläge im Alpenraum, wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt, jedoch deutlich zugenommen. Woher kommt dieses Paradox: Einerseits herrscht die längste und ausgeprägteste NAO+ Phase, andererseits sind der Winterniederschlag um 20% und die Anzahl der Starkniederschläge um 137% hochgeschneit?

**Verdunstung führt zu Überlagerungseffekt und mehr Niederschlag**

Die Erklärung liegt in den gestiegenen Temperaturen. Aufgrund größerer Wärme hat die Verdunstung über dem Atlantik zugenommen. So gelangt mehr Feuchtigkeit nach Europa und zu den Alpen. Die außergewöhnlich lange positive NAO Phase, die eigentlich hohe Temperaturen, hohen Druck und geringe Niederschläge erzeugen sollte, wird auf diese Weise von der verstärkten Verdunstung überlagert und bringt deshalb vermehrt Niederschläge in die Alpen.

<sup>26</sup>Bader und Kunz 1998

Falls die NAO in Zukunft wieder in eine negative Phase umspringt, muss mit einer noch stärkeren Erhöhung der Niederschläge und Starkniederschläge gerechnet werden, auch auf der Südseite der Alpen, wo bisher ein geringerer Niederschlagszuwachs verzeichnet wurde. Für den NAO Index lässt sich jedoch keine Prognose abgeben. Seinem allgemeinen Schwankungsmuster entsprechend sollte die NAO in den nächsten Jahren jedenfalls in einen negativen Modus zurückspringen. Dies würde in Europa zu einem geringeren Ansteigen der Temperaturen, geringerem Druck und zu vermehrtem Eindringen feuchter, arktischer Luftmassen führen.

**Der ohnehin hohe Niederschlag nimmt weiter zu – und wenn die NAO umschlägt, dann erst richtig**

Auch die nach Norden verschobenen Sturmbahnen könnten wieder näher an den Alpenraum rücken und eine Zunahme der Stürme in den Alpen bewirken. Dem steht jedoch die Erwartung von Klimasimulationen entgegen, dass sich die nördlichen Breiten stärker erwärmen als die Tropen, sich daher das Temperaturgefälle zwischen dem Äquator und den Polen verringert. Dadurch würde es zu einer Abschwächung der allgemeinen Zirkulation kommen. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Hochdruckgebiete und Tiefdrucktröge würde sich

**Mehr Stürme oder längere Einwirkzeiten?**



© Greenpeace/Stefan Kreuzer

dadurch verlangsamen. Es entstünden so längere Einwirkzeiten der jeweiligen Wetterlagen auf ein Gebiet. Die Wahrscheinlichkeit für

Bleibt die NAO positiv, waren die Treibhausgase daran beteiligt

mehrtägige Starkniederschläge und Unwetter würde dadurch steigen. Für ein Umspringen der NAO sind derzeit nur erste Anzeichen zu erkennen. Verbleibt die NAO weiter in ihrer positiven Phase werden



Temperatur, Druck und auch – durch die verstärkte Verdunstung – Niederschläge weiterhin leicht ansteigen. Falls die NAO in den nächsten 10 Jahren nicht in eine negative Phase zurückkehrt, kann man annehmen, auch ohne direkten Beleg und ohne die genaue Wirkungsweise zu kennen, dass die NAO von der menschlichen Aktivität beeinflusst wird. Die anthropogenen Treibhausgase würden somit das Klima- und Wettergeschehen über Europa mitbestimmen.

## 5. Klima, Schnee und Lawinen

Unzählige Medienberichte, Stellungnahmen von Forschern, immense Schadenssummen, wissenschaftliche Publikationen und Symposien sonder Zahl: Die Auswirkungen des Klimawandels auf Naturgefahren werden intensiv diskutiert. Umso überraschender ist, dass zur Thematik Klimaänderung und Lawinengefahr bisher kaum Untersuchungen durchgeführt wurden. Vorwiegend das Nationale Forschungsprojekt (NFP) 31 der Schweiz versucht auf der Basis von Datenanalysen Zusammenhänge zwischen Klimaveränderung und Lawinen herzustellen.<sup>27</sup> Vorausgeschickt werden muss, dass die Lawinenaktivität nicht direkt gemessen werden kann, und deshalb über die von den Lawinen verursachten Schäden erfasst wird. Für die letzten 300 Jahre dürften die großen Schadlawinen einigermaßen vollständig dokumentiert sein. Von den zahllosen Lawinen, die jedes Jahr abgehen, richtet jedoch nur der kleinste Teil Schaden an.

**Der Zusammenhang zwischen Lawinen und Klima ist wenig untersucht**

Heftige Schneefälle über mehrere Tage, Wind, Schwachschichten im Schnee, eine große Gesamtschneehöhe und rasche Temperaturzunahmen: Das sind die Hauptfaktoren zur Bildung großer Katastrophenlawinen (vgl. Kapitel 2). Welche Wetterlagen tragen nun zur Entstehung kritischer Lawinensituationen bei?

Untersuchungen von 20 schweren Lawinenperioden zwischen 1885 und 1985 kamen zum Ergebnis, dass praktisch in allen Fällen kühl-feuchte Luftmassen aus Nordwesten begleitet von heftigem Wind für die extremen Neuschneezuwächse verantwortlich waren. Diese Höhenträge waren über längere Zeit hin nahezu stationär, sodass es über den Alpen immer wieder zu Niederschlägen kam. Der starke Wind führte dabei zur Ablagerung außergewöhnlicher Schneemassen in den Lee-Lagen.<sup>28</sup> Perioden hoher Lawinenaktivität fielen auch weiter zurückliegend mit feucht-kalten Wintern zusammen. Besonders deutlich ist dies für den Zeitraum 1805 bis 1817 mit fünf schweren Lawinenwintern in der Schweiz dokumentiert.<sup>29</sup>

**Kühl-feuchte Luft aus Nordwesten, heftiger Wind mehrere Tage hindurch: Daraus sind Lawinen gebaut**

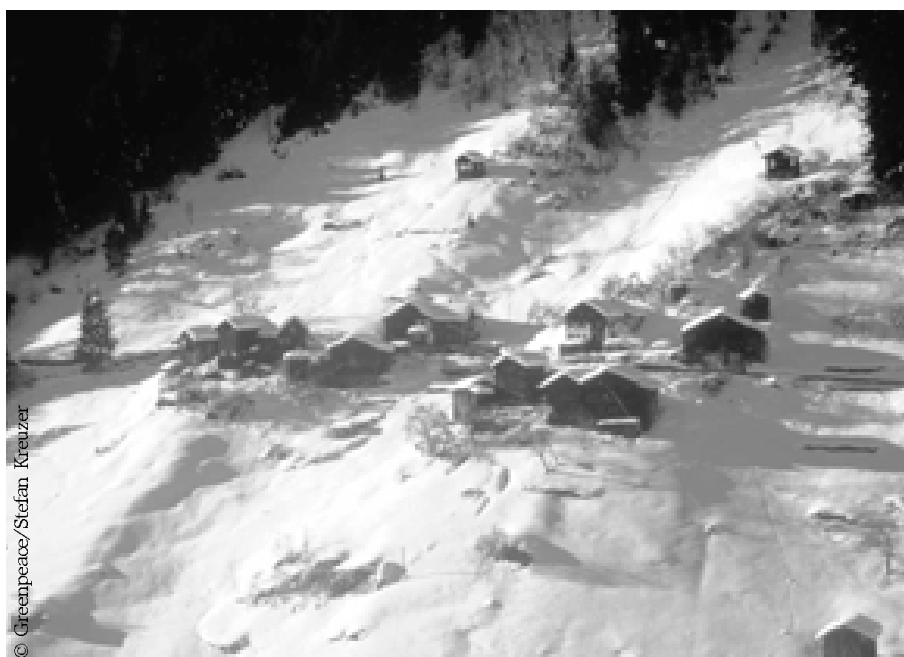
<sup>27</sup>Schneebeli, M. et al.: Wechselwirkungen zwischen Klima, Lawinen und technischen Maßnahmen. Schlussbericht NFP 31. Zürich 1998.

<sup>28</sup>Calonder, G.P.: Ursachen, Wahrscheinlichkeit und Intensität von Lawinenkatastrophen in den Schweizer Alpen. Diplomarbeit, Zürich 1986.

<sup>29</sup>Pfister 1998.

## Hochdruckwetterlage

Kälte und Hochdruck – wenn etwa ein Hoch über Skandinavien alle atlantischen Strömungen abblockt und gleichzeitig für die Zufuhr polarer Kaltluft aus Sibirien sorgt – besitzen bei geringer Schneelage einen negativen Einfluss. Durch Schwimmschneebildung und die Entstehung von Oberflächenreif kann sich die Lawinenbereitschaft deutlich erhöhen. Umgekehrt führt hoher Druck verbunden mit warmer Luft zu besserer Stabilität der Schneedecke.



## Nordwestwetterlage

Stürmische Höhenwinde und eine ausgeprägte Nordweststaulagen sorgten in den Jahren 1951, 1954, 1968 und 1971 für immensen Neuschneezuwachs (bis zu 170 cm in zwei Tagen). Die Alpen befanden sich dabei im Mischungsbereich von arktischer Kaltluft und milder, feuchter Atlantikluft.

## Südföhnlage

Südföhn steigert durch hohe Niederschläge auf der Alpensüdseite die Lawinengefahr. Nördlich des Alpenhauptkamms führen Föhnstürme zu Schneeverfrachtungen, wodurch potentielle Abbruchgebiete eine höhere Lawinenbereitschaft bei darauffolgenden Schneefällen besitzen.

**Allgemein kann gesagt werden, dass jene Winter mit hoher Lawinenaktivität auch die niederschlagsreichsten Winter sind.** Wie Klimaänderungen den Aufbau der regionalen Schneedecke beeinflus-

sen, was für die Lawinengefahr entscheidend ist, kann aufgrund der komplexen Zusammenhänge nicht beurteilt werden. Lawinen betreffen meist nur einzelne Talschaften oder Regionen. Noch nie während der letzten 600 Jahre wurde z.B. der Alpenraum als ganzes von ein und demselben Lawinen-Wetter-Ereignis heimgesucht. Deshalb lässt eine erwartete Änderung des Klimas auch keine Prognosen für ein bestimmtes Gebiet zu. Die allgemeinen Trends für eine Zunahme von Temperatur und Niederschlag lassen jedoch eine gesteigerte Lawinenaktivität im Alpenraum erwarten.

**Regionale Vorhersagen sind nicht möglich, aber generell lassen die Klimatrends eine gesteigerte Lawinenaktivität erwarten.**

Das Schweizer Forschungsprojekt NFP 31 zu Klima und Lawinen geht hingegen davon aus, dass das natürliche Lawinenrisiko etwa auf gleichem Niveau bleiben oder zurückgehen wird. Ein massiver Anstieg der maximalen Niederschläge durch Klimaveränderungen wird darin als wenig wahrscheinlich bewertet. Dazu ist anzumerken, dass diese Aussagen auf Messungen an nur drei Stellen beruhen und für den Alpenraum nicht repräsentativ sind. Erwartete Klimaänderungen, wie sie in hier beschrieben sind, wurden in dieser Prognose nicht berücksichtigt.

Durch technische Verbauungen und beginnende Gefahrenzonenplanung in Österreich und der Schweiz konnten die Lawinenschäden ab etwa 1970 eingeschränkt werden. Nach schweren Lawinenabgängen wurden in den vergangenen 30 Jahren die meisten kritischen Anrissgebiete verbaut. In Galtür wurden nach der Lawinenkatastrophe 1999 für 11.750 Laufmeter Stahlschneebrücken und zwei Schutzdämme im Dorf 130 Millionen Schilling (9,5 Mio Euro – 18,5 Mio DM – 14,5 Mio sfr) ausgegeben.<sup>30</sup> In Zukunft dürften sich die Schadenereignisse damit deutlich reduzieren – jedoch nur, wenn die Raumnutzung gleich bleibt und die generelle Lawinenaktivität sich nicht klimabedingt erhöht.

**Technische Verbauungen haben das Schadensrisiko begrenzt**

<sup>30</sup>Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: Presseaussendung, Wien, 16.12. 1999.

## 6. Schlussfolgerungen

**Temperatur, Niederschläge und Starkniederschläge im Winter werden weiter zunehmen**

Das Winterklima des Alpenraums hat sich im 20. Jahrhundert verändert. Wichtige Parameter, die der Lawinenaktivität zugrunde liegen, weisen eindeutige Trends auf: Die Wintertemperatur im Ostalpenraum hat sich seit 1880 um mehr als 1°C erhöht. Die Niederschläge, insbesondere auf der Alpennordseite, sind angestiegen ebenso wie die Anzahl der Starkniederschläge zugenommen hat.

Die Erwartungen der Experten für die zukünftige Entwicklung des Winterklimas in Europa sind sehr schwierig zusammenzufassen und zum Teil auch widersprüchlich. Viele Einflussfaktoren sind gegenwärtig noch unbekannt. Allgemein wird für den Alpenraum eine weitere Zunahme der Temperatur, der Niederschläge und der Starkniederschläge erwartet. Für die Entwicklung der Druckverhältnisse und die Entwicklung der Nordatlantischen Oszillation NAO kann keine Prognose abgegeben werden. Im Fall einer weiterhin positiven NAO Phase dürften Niederschläge, Starkniederschläge und Temperatur leicht ansteigen. Für das Umspringen in eine negative NAO Phase wird ein Abflachen des Temperaturanstieges und ein deutliches Ansteigen der Niederschläge nördlich wie südlich der Alpen erwartet.

**Schlussfolgerungen: Die Schneedecke verringert sich; Nassschneegrundlawinen treten früher auf; höhere Temperaturen können kritische Situationen entschärfen; mehr Starkniederschläge können mehr Lawinen bringen**

Die eindeutigen Trends der entscheidenden Klimafaktoren im Alpenraum lassen eine Zunahme der Lawinenaktivität in höheren Regionen (über 1500m) in Zukunft als wahrscheinlich erwarten. Unter der Annahme, dass Temperaturen und Niederschlag weiterhin steigen, können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

**Verstärkend für die Lawinentätigkeit wirken:**

- Eine Steigerung der 3-Tages-Starkniederschläge könnte zu einer Steigerung der Lawinenaktivität führen, vor allem in höheren Lagen.
- In **höheren Lagen** ist mit mehr Schnee zu rechnen, da trotz Erwärmung die Wintertemperaturen dort nicht den Gefrierpunkt überschreiten werden. Mehr Verdunstung durch höhere Temperaturen und mehr Feuchte vom Atlantik lassen mehr Schnee erwarten, wodurch das Lawinenrisiko erhöht wird.

### Neutral wirken:

- Die räumliche und zeitliche Ausdehnung der Schneedecke könnte sich vor allem in tieferen Lagen verringern. Das heißt aber nicht zwingend, dass sich weniger Schadlawinen ereignen werden, da extreme Wetterverhältnisse jederzeit auftreten können.
- Wärmere Temperaturen würden die Schneedecke früher durchfeuchten und damit früher als bisher zu Nassschneegrundlawinen führen. Die Anzahl der schadenverursachenden Nassschneegrundlawinen wird über den ganzen Winter gesehen etwa gleich bleiben.



© Greenpeace/Stefan Kreuzer

### Abschwächend wirken:

- Höhere Temperaturen könnten aber auch dazu führen, dass sich die Schneedecke in tieferen Lagen besser setzt und kritische Lawinensituationen dadurch früher und öfter entschärft werden.

Genauere Vorhersagen zur Entwicklung der Lawinensituation auf regionaler und lokaler Ebene im Alpenraum sind jedoch schwierig zu treffen. Die lokale Lawinenbildung kann nicht auf einige wenige meteorologische Parameter zurückgeführt werden. Entscheidend ist die saisonale Entwicklung – die Geschichte – des Schneedeckenaufbaus, die regional und lokal sehr unterschiedlich sein kann. Unbeschadet davon, dass sich keine Vorhersagen für einzelne Orte treffen lassen, dürfte eine übergeordnete Klimaveränderung mit mehr Niederschlag und

höheren Temperaturen sehr wohl zu einer größeren Lawinengefahr im gesamten Alpenraum führen.

Welchen Einfluss eine Klimaänderung auf die Hauptwindrichtung haben kann, lässt sich eben sowenig regional differenzieren. Derzeit sind jene Bereiche, in denen Schnee eingeweht wird, Winter für Winter sehr ähnlich. In welchen Gebieten durch möglicherweise geänderte Windverhältnisse auch neue Lawinensituationen entstehen können, ist nicht vorhersagbar.

**Nur Verbauungen haben  
Schäden vermindert, sind  
aber teuer**

Die Lawinenschäden sind in der Vergangenheit stets auf etwa ähnlichem Niveau geblieben. Das obwohl Siedlungen, Verkehr und Tourismus massiv in lawinengefährdete Gebiete vorgedrungen sind. Technische und planerische Maßnahmen haben die Schäden jedoch begrenzen können. Mit hoher Wahrscheinlichkeit hätten die Lawinenereignisse nach 1970 noch viel schwerwiegendere Folgen gehabt, wenn nicht laufend neue Verbauungen erstellt und umfangreiche Sicherungsmaßnahmen getroffen worden wären. Der Einfluss technischer und raumplanerischer Maßnahmen im besiedelten Raum ist vermutlich stärker als eine mögliche klimabedingte Veränderung der Schadlawinenaktivität. Es sollte in näherer Zukunft versucht werden, die Qualität der Lawinenprognosen zu steigern, um kritische Situationen vorausschauend zu vermeiden. Die notwendigen Lawinenverbauungen zur Abfederung eines durch den Klimawandel ausgelösten Anstiegs der natürlichen Lawinentätigkeit wären für den gesamten Alpenraum sehr teuer, technisch nicht überall durchführbar und sind auch aus Umweltschutzgründen nicht anzustreben.

## Impressum

Autor:  
Mag. Andreas Maier

Für den Inhalt verantwortlich:  
Mag. Erwin Mayer

Herausgeber:  
Greenpeace Österreich



Greenpeace Österreich  
Siebenbrunnengasse 44  
A-1050 Wien  
Tel ++43/1/5454580  
Fax ++43/1/5454588  
Email: [office@greenpeace.at](mailto:office@greenpeace.at)  
Homepage: [www.greenpeace.at](http://www.greenpeace.at)  
(Diese Broschüre kann direkt via Greenpeace Österreich-Homepage heruntergeladen werden)

Greenpeace Deutschland  
Große Elbstraße 39  
D-22767 Hamburg  
Tel. ++49/40/306180  
Fax ++49/40/3061800  
Email: [mail@greenpeace.de](mailto:mail@greenpeace.de)  
Internet: [www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)

Greenpeace Schweiz  
Heinrichstraße 147  
Postfach, CH-8031 Zürich  
Tel. ++41/1/4474141  
Fax ++41/1/4474199  
Email: [gp@greenpeace.ch](mailto:gp@greenpeace.ch)  
Internet: [www.greenpeace.ch](http://www.greenpeace.ch)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Cover-Fotos: © Greenpeace  
SOS Gletscher (Protestaktion), Lawinenverbauung: K. Schütz  
Galtür (hintere Umschlagseite): S. Kreuzer

# GREENPEACE