

Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten

Zusammenfassung eines Forschungsprojektes
am Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Einleitung

Die Schneedecke der Skipisten ist im Vergleich zur natürlichen Schneedecke in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften verändert, da die Pisten mechanisch präpariert werden und z.T. durch Beschneigung Wasser und darin gelöste Mineralien und Kristallisationskeime eingetragen werden. Das Projekt „Auswirkungen von organischen und anorganischen Schneezusätzen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten“ am Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos hatte zum Ziel, diese Veränderungen chemisch und physikalisch zu charakterisieren und Reaktionen von Vegetation und Boden auf die veränderten Umweltbedingungen zu prüfen und darzustellen.

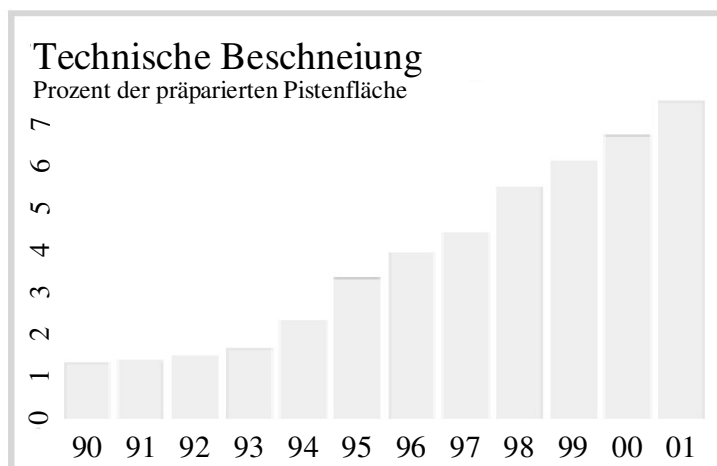


Abb. 1. Zunahme der künstlichen Beschneigung in der Schweiz (aus Seilbahnen Schweiz 2001, <http://www.seilbahn.net/daten/statschweiz/wirtschaftsbericht%20Schweiz.pdf>)

Methoden

Um Fragen nach den Eigenschaften der Schneedecke auf Skipisten und ihren Auswirkungen auf Vegetation und Boden nachgehen zu können, wurde ein Forschungsansatz mit vergleichenden Untersuchungen im Feld sowie mit Experimenten im Versuchsfeld und im Labor gewählt.

Orte für Untersuchungen auf Skipisten

Die Feld-Untersuchungen wurden in den Skigebieten von Davos (Jakobshorn, Parsenn, Rinerhorn), Lenzerheide (Danis), Laax, St. Moritz (Corvatsch), Scuol, Alptal, Morgins, Nendaz, Montana (Cry d'Err), und Zermatt (Matterhorn) durchgeführt. Hier wurden jeweils auf einer Kunst- und einer Naturschneepiste sowie unmittelbar ausserhalb derer auf

Kontrollflächen die Eigenschaften von Schneedecke, Vegetation und Boden ermittelt.

Untersucht wurden die Eigenschaften Schneehöhe, Dichte der Schneedecke, chemische Eigenschaften des Schnees, Temperatur an der Basis der Schneedecke, Ausaperung, Eigenschaften und mikrobielle Aktivität des Bodens, sowie Zusammensetzung, Diversität und Produktivität der Vegetation.

Datenerhebungen auf Skipisten

Die Schnee-Eigenschaften wurden in allen Skigebieten in der ersten März-Hälfte 2000 erhoben, die Vegetationszusammensetzung im Verlauf des Sommers 2000 bestimmt. Die Temperatur an der Basis der Schneedecke wurde mit Hilfe kleiner Temperatur-Logger über zwei Winter gemessen.

Experimente

Die Experimente wurden in Versuchsfeldern in der Landschaft Davos und in Gewächshäusern durchgeführt. In einem Versuchsfeld wurde mit künstlich angelegten Pistenflächen der Einfluss der physikalischen Eigenschaften der Schneedecke auf Vegetation und Boden geprüft. In weiteren Versuchen wurden die Reaktionen der Pflanzen auf verschiedene chemische Eigenschaften des Pisten-Schnees und seiner Zusätze untersucht. Die statistische Analyse der Daten erfolgte vorwiegend mit Varianzanalyse.

Resultate

Eigenschaften der Schneedecke

Höhe, Dichte, Masse und Ausaperung des Schnees

Höhe

Auf den Kunstschnepisten der untersuchten Skigebiete war anfangs März die Schneedecke mit 140 cm durchschnittlich um 20% höher als auf den Vergleichsflächen des unbehandelten Schnees ausserhalb der Pisten. Demgegenüber lag auf Pisten mit Naturschnee ein Drittel weniger Schnee als daneben. Der Unterschied in der Schneehöhe zwischen Kunst- und Naturschnepisten betrug ca. 70 cm.

- ☛ Auf Kunstschnepisten liegt ca. 70 cm höher Schnee als auf Naturschnepisten.

Dichte

Der Kunstschnee (im Mittel 523 g/l) war rund 33% dichter als Schnee der Kontrollflächen. Auch der Schnee der Naturschnepisten war deutlich dichter als auf den Kontrollflächen (464 g/l: 344 g/l). Die Differenz beträgt hier 26%. Die Dichte der Schneedecke auf dem Versuchsfeld „Bolgen“ in Davos zeigte dasselbe Muster wie in den Skigebieten.

- ☛ Schneedichte ist auf Pisten allgemein über 1/3 erhöht, besonders auf Kunstschnepisten.

Schneemasse

Aus Schneehöhe und Dichte lässt sich der Wasserwert der Schneedecke berechnen. Auf den Kunstschnepisten ist der Wasserwert der Schneedecke mit 733 l/m² im Durchschnitt doppelt

so hoch wie auf den Kontrollflächen (368 l/m²). Durch die Kunstschnee-Produktion wurde also durchschnittlich mehr als 360 l Wasser pro Quadratmeter eingetragen.

- ☛ Schneemasse ist auf Kunstschnepisten 2fach erhöht.

Ausaperung

Die Ausaperung der Skipisten mit Kunstschnee erfolgte nach 195 Tagen Schneebedeckung rund 16 Tage später als diejenige der Vergleichsflächen (4. Mai, ca. 178 Tage Schneebedeckung). Demgegenüber aperten die Pisten mit Naturschnee im Mittel nach ca. 182 Tagen aus, während deren Vergleichsflächen noch 5 Tage später nach 187 Tagen schneefrei waren. Diese Unterschiede im Zeitpunkt der Ausaperung sind im Wesentlichen auf die unterschiedliche Schneemenge zurückzuführen.

- ☛ Ausaperung erfolgt auf Kunstschnepisten 2-3 Wochen später.

Eigenschaften von Schnee mit Kristallisationskeimen

Schnee, der mit Snomax für das Versuchsfeld hergestellt wurde, lag in der Dichte zwischen dem sehr dichten Kunstschnee ohne Zusätze und Naturschnee (alle Schneetypen präpariert). Vermutlich bewirkte Snomax die bezweckte bessere Kristallisation der Eiskristalle, wodurch der Schnee lockerer wurde als der ohne Snomax.

- ☛ Dichte von Snomax-Schnee liegt zwischen der von Kunstschnee ohne Zusätze und der von Naturschnee.

Schneechemismus

Die chemische Analyse des Schmelzwassers von Kunstschnee zeigte im Durchschnitt rund viermal höhere Leitfähigkeiten als Schnee der Kontrollflächen und der Pisten mit Naturschnee. Die hohe Leitfähigkeit des Kunstschnees ist auf einen erhöhten Ionengehalt der Schneedecke zurückzuführen. Die chemischen Spezies unterscheiden sich in Art und Konzentration zwischen Kunstschnee und Kontrollfläche zum Teil deutlich. Sulfat, Kalzium, Chlorid, Schwefel und Natrium sind in signifikant höheren Konzentrationen im Kunstschnee vorhanden. Diese Spezies wurden durch das Schmelzwasser eingebracht. Umgekehrt ist Ammonium im Schnee der Kontrollflächen in höheren Konzentrationen zu finden, was möglicherweise auf feuchte Deposition aus der Atmosphäre während der Schneefälle zurückzuführen ist. Neben den deutlichen Unterschieden zwischen Kunstschnee und natürlicher Schneedecke wurden in geringerem Masse auch Unterschiede zwischen Standorten und innerhalb der Schneedecke zwischen einzelnen Schichten der Schneedecke gefunden. Diese sind auf unterschiedliche Qualitäten des Schmelzwassers, auf unterschiedliche Deposition natürlicher und anthropogener Aerosole und auf unterschiedliche ionische und organische Prozesse in der Schneedecke selber zurückzuführen. Unter den durch Kunstschnee eingetragenen Ionen sind auch für Pflanzen essentielle Stoffe enthalten. Ihre zusätzliche Zufuhr könnte folglich auf Pflanzen eine düngende Wirkung haben.

- ☛ Kunstschneedecke enthält 4fach mehr Mineralstoffe und Ionen als Naturschneedecke.

Boden

Bodentemperaturen

Die Temperaturen an der Grenzschicht zwischen Boden und Schneedecke lagen im Allgemeinen um null Grad unter Kunstschnepisten und den Vergleichsflächen, hingegen deutlich unter null Grad unter Naturschnepisten (siehe Abb. 2). In der Mehrzahl der Skigebiete zeigten die Messwerte unter Naturschnepisten starke Bodenfröste mit Temperaturen kälter als -5°C . Die unterschiedlichen Temperatur-Werte unter dem Schnee rühren daher, dass die Leitfähigkeit mit der Dichte des Schnees zunimmt, aber der Wärmefluss letztlich mit der Höhe des Schnees wieder abnimmt.

- ☛ Starke Bodenfröste traten unter präpariertem Naturschnee auf.

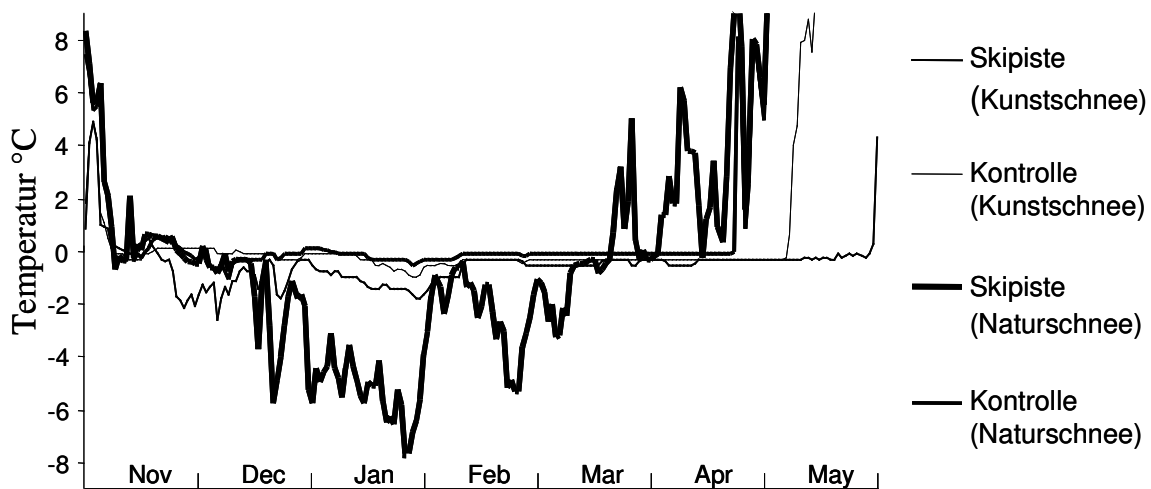


Abb. 2. Tagesmittel-Temperaturen der Bodenoberfläche im Skigebiet Nendaz zwischen November 1999 und Mai 2000. Nendaz kann als repräsentativ angesehen werden für die mittleren Werte, die in den anderen Skigebieten gefunden wurden. Das Einschneidatum war auf allen vier Flächen vergleichbar. Die niedrigsten Temperaturen und die grössten Temperaturschwankungen kamen unter den Naturschnepisten vor. Die Schneeschmelze war am stärksten auf den Kunstschnepisten verzögert.

Ausaperung

Die Ausaperung der Skipisten mit Kunstschnee erfolgte nach 195 Tagen Schneebedeckung im Mittel rund 16 Tage später als diejenige der Vergleichsflächen (4. Mai, ca. 178 Tage Schneebedeckung, siehe Abb. 3). Demgegenüber aperten die Pisten mit Naturschnee im Mittel nach ca. 182 Tagen aus, während deren Vergleichsflächen noch 5 Tage später nach 187 Tagen schneefrei waren. Diese Unterschiede im Zeitpunkt der Ausaperung sind im Wesentlichen auf die unterschiedliche Schneemenge zurückzuführen.

- ☛ Die Bodenerwärmung im Frühjahr erfolgte 2-3 Wochen später auf Kunstschnepisten wegen der verspäteten Ausaperung.



Abb. 3. Verspätete Ausaperung auf Kunstschnepiste in Davos. Kunstschnepisten apern 2-3 Wochen später aus als Flächen mit Naturschnee.

Die Temperaturen, welche unter dem Schnee im Versuchsfeld gemessen wurden, entsprechen zumeist den Befunden der Skipisten. Da sich aber die präparierten Schneearten in diesem Experiment anders als auf der Piste nur in der Dichte und nicht in der Höhe unterschieden, fielen die Unterschiede geringer aus. Die Verzögerung der Schneeschmelze zwischen dem unbehandelten Naturschnee und dem präparierten Kunstschnee betrug im Versuchsfeld ca. 2 Tage, was in erster Linie auf unterschiedliche Schneedichten zurückzuführen war.

- ☛ Auch bei gleicher Höhe wirken sich unterschiedliche Schneearten auf Bodentemperaturen und Ausaperung aus.

Humusschicht, Stickstoffhaushalt und mikrobielle Diversität des Bodens

Die Bodenuntersuchungen auf den Skipisten zeigten als Haupteinflüsse die sommerlichen Pistenplanierungen auf. Auf den planierten Pisten waren die Gehalte an organischer Substanz wegen der Störung der Humusschicht deutlich verringert im Vergleich zu unplanierten Pisten und Kontrollflächen.

- ☛ Geländeplanierungen sind stärkste Störung des Bodens auf Skipisten.

Auf der Versuchsfläche wurden Einflüsse von veränderten Schneedecken auf den Stickstoffhaushalt des Bodens festgestellt. Verstärkter Bodenfrost und Frostwechsel unter verdichteten Schneedecken bewirkten vermutlich eine erhöhte Ammonifizierung und somit eine verstärkte Stickstofffreisetzung. Die Luft an der Bodenoberfläche unter der Schneedecke war Ende Winter im Vergleich zur Aussenluft vermutlich durch die Atmung von Bodenorganismen leicht mit Kohlendioxid angereichert. Allerdings wurden keine Unterschiede zwischen den verschiedenen behandelten Schneedecken gefunden.

- ☛ Bodentemperaturen beeinflussen Stickstoffhaushalt.

Die mikrobielle Aktivität und Diversität im Boden von Skipisten war in erster Linie von der

Pflanzendiversität beeinflusst (siehe auch ‚Vegetation‘) und kaum direkt von den Pistenbehandlungen. Eine Verringerung der Pflanzendiversität durch anhaltenden Skipisten-Betrieb könnte sich somit auch auf wichtige Funktionen von Mikroorganismen im Boden auswirken.

- ☛ Mikrobielle Diversität im Boden ist korreliert mit Pflanzendiversität.

Vegetation

Vegetation verschiedener Skipistentypen

Aus den Vegetationsaufnahmen in den Skigebieten ist ersichtlich, dass mit zunehmender Höhe nährstoffärmere, kühlere und hellere Bedingungen herrschen, und die Böden besser durchlüftet sind. Die Produktivität nimmt mit steigender Höhe deutlich ab, und die Bewirtschaftung erfolgt extensiver als in tieferen Lagen. Die Vegetation ist tendenziell diverser (Shannon-Index), je höher die Flächen liegen.

Zeigerarten für Feuchte und Nährstoffversorgung

Die Vegetation auf Pisten zeigte eine bessere Versorgung durch Wasser und eine leichte Veränderung des Boden-pH an. Die Veränderungen waren je grösser, je länger eine Piste beschneit worden war. Die Vegetation aller Pisten, ob planiert oder unplaniert, beschneit oder unbeschneit, zeigte in ihrer Zusammensetzung im Vergleich zu den jeweiligen Kontrollflächen einen erhöhten Nährstoffgehalt des Bodens an. Planierte Pisten waren deutlich stärker skelettiert und inhomogener und ihr Boden war tendenziell grobkörniger und stärker durchlüftet.

- ☛ Mehr Nährstoffzeigerarten auf Pisten allgemein. Je länger die Beschneigung umso mehr Nährstoffzeigerarten.

Diversität und Produktivität

Die Anzahl der Pflanzenarten war auf Pisten geringer als auf Vergleichsflächen. Während allgemein auf Pisten durchschnittlich vier Arten weniger vorkommen als auf den Kontrollflächen, weisen planierte Flächen gegenüber allen anderen Flächen sechs Arten weniger auf (31.7 vs. 37.8). Auch der Shannon-Index zeigt eine geringere Pflanzendiversität auf Pisten als auf Vergleichsflächen.

Die Gesamtproduktivität (Biomasse) ist durch die Benutzung als Skipiste im Allgemeinen verringert, besonders aber auf Planien. Diese sind fast viermal weniger produktiv als die jeweiligen Vergleichsflächen. Beschneigung hatte keinen Einfluss auf die Produktivität.

- ☛ Geringere Pflanzendiversität und -produktivität auf Pisten allgemein, besonders auf Planien.

Experimente zur Pflanzendiversität zeigten, dass verringerte Diversität nicht nur eine Reaktion der Vegetation auf Störung war. Verringerte Diversität wirkte sich auch negativ auf die Produktivität und vor allem auf die Bedeckung des Bodens mit Pflanzen aus.

- ☛ Höhere Pflanzendiversität bewirkt dichteren Bewuchs des Bodens.

Funktionelle Gruppen: Holzpflanzen, Gräser, Kräuter und Leguminosen

Der Anteil der Gräser an der Pflanzendecke nimmt auf Pisten, die beschneit werden, ab. Holzpflanzen sind auf Pisten vermutlich durch mechanische Schädigung sowohl im Anteil an der Deckung als auch an der Artenzahl deutlich reduziert (vgl. Abb. 4), ihr Deckungsgrad nimmt wieder zu, wenn die Pisten beschneit werden. Krautpflanzen haben auf beschneiten und planierten Pisten einiger Skigebieten einen grösseren Anteil an der Artenzahl als auf Kontrollflächen. Leguminosen haben auf Pisten höhere Anteile an der Deckung und an der Artenzahl, zudem sind in einigen Skigebieten die Deckungsgrade durch Beschneigung angestiegen.

- ☛ Weniger Holzpflanzen auf Pisten allgemein, aber mehr Holzpflanzen auf Kunstschnepisten als auf Naturschnepisten.



Abb. 4. Alpenrose auf frisch präparierter Skipiste mit zu geringer Schneeauflage.

Zeigerarten für Schneeverteilung und Länge der Vegetationszeit

Schneetälchenarten, welche auf Lebensräume mit mächtigen Schneedecken und kurzen schneefreien Perioden spezialisiert sind, nehmen in ihrer Deckung zu, wenn eine Piste beschneit wird. Windeckenarten, welche an Orten wachsen, die während des Winters nur kurz und oberflächlich mit Schnee bedeckt sind, nehmen bei Beschneigung ab, und zwar sowohl in Deckung wie auch in Artanteil.

- ☛ Mehr Schneetalarten auf Kunstschnepisten; mehr Windheidearten auf Naturschnepisten.

Früh nach der Schneeschmelze blühende Arten reagieren auf alle Arten der Pistenmanipulation mit einer Abnahme. Spät blühende Arten haben auf Pisten höhere Deckungsgrade, und auf Beschneigung reagieren sie mit einer Zunahme der Artanteile.

- ☛ Mehr spätblühende und weniger frühblühende Arten auf Pisten allgemein.

Relevanz der Faktoren „Planierung“, „Kunstsnee“ und „Skipiste allgemein“

Bei allen Analysen der Skipistenvegetation tritt der Faktor „Planierung“ als der entscheidende im Zusammenhang mit Skibetrieb hervor. Durch den Faktor „Kunstsnee“ ist die Vegetation wenig stärker verändert als durch den Faktor „Skipiste“ allgemein. Eine Ausnahme stellen die Gruppen der Schneetälchen- und Windeckenarten dar. Diese Arten, die auf speziell

schneereiche bzw. -arme Habitate spezialisiert sind, zeigten deutliche Reaktionen auf die Beschneigung. Ein Einfluss von Snomax auf die Vegetation konnte in den untersuchten Skigebieten nicht festgestellt werden.

☛ Planierung wichtigster Störfaktor auf Skipisten.

Tabelle 1. Qualitative Zusammenfassung der Reaktionen der Vegetation auf Pistenbenutzung, Kunstschnee und Planierung. Die Spalten Kunstschnee und Planierung beziehen sich auf Reaktionen, die über die Reaktion auf Skipistenbenutzung hinausgehen. ↗ = Zunahme, ↘ = Abnahme, fette Pfeile = Signifikanzniveau $p < 0.05$, dünne Pfeile = Signifikanzniveau $p < 0.1$. * auf Planien Abnahme, auf unplanierten Pisten Zunahme.

| | Einfluss von Pisten generell | Verwendung von Kunstschnee | Sommerliche Geländeplanierung |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| <u>Zeigerwerte</u> | | | |
| F (Feuchte) | ↗ | ↗ | |
| N (Nährstoffe) | ↗ | ↗ | ↗ |
| R (Reaktion=pH) | ↗ | ↗ | |
| H (Humuszahl) | ↘ | | ↘ |
| L (Lichtzahl) | ↗ | | ↗ |
| Artenzahl | ↘ | ↘↗* | |
| Diversität (Shannon) | ↘ | ↘↗* | ↘ |
| Produktivität | ↘ | | ↘ |
| Offene Bodenfläche (%) | ↗ | | ↗ |
| <u>Deckungsgrade [%]</u> | | | |
| Gräser | | ↘ | |
| Holzpflanzen | ↘ | ↗ | ↘ |
| Kräuter | | | |
| Leguminosen | ↗ | ↗ | |
| Schneetälchenarten | | ↗ | |
| Windeckenarten | | ↘ | |
| Frühblüher | ↘ | ↘ | ↘ |
| Spätblüher | ↗ | | |
| <u>Artanteile [%]</u> | | | |
| Gräser | ↘ | | ↘ |
| Holzpflanzen | ↘ | | ↘ |
| Kräuter | | ↗ | ↗ |
| Leguminosen | ↗ | | |
| Schneetälchenarten | | | |
| Windeckenarten | | ↘ | |
| Frühblüher | ↘ | | ↘ |
| Spätblüher | | ↗ | |

Einfluss des Schnees auf die phänologische Entwicklung der Pflanzen

Auf der Versuchsfläche in Davos zeigten die Blütenpflanzen unter Kunstschnee eine

verzögerte Entwicklung. Der Krokus blühte auf den Teilflächen mit Kunstschnee ohne Zusätze um einen Tag später als auf Kontrollflächen. Mitte Mai, zur Blütezeit des Wald-Vergissmeinnicht, und anfangs Juni, beim Verblühen des Löwenzahns, war die verspätete Entwicklung der Pflanzen auf den Kunstschnee-Teilflächen immer noch deutlich sichtbar. Mitte Juni dann, zu Beginn der Blütezeit des Schlangenknocherichs, war ein Unterschied in der Entwicklung der Pflanzen nicht mehr ersichtlich. Obwohl die Unterschiede in den Eigenschaften der Schneedecke auf dem Versuchsfeld relativ gering waren, zeigten sie noch bis in den Juni hinein kleine, jedoch sichtbare Auswirkungen auf die Entwicklung der Pflanzen. Die Biomasse, welche am 18. Juli auf den einzelnen Teilflächen geerntet wurde, war unabhängig von der Behandlung des vergangenen Winters auf allen Flächen gleich (ca. 600 g Trockengewicht/m²).

- ☛ Verzögerung der Pflanzenentwicklung durch späte Ausaperung ist bis weit in den Sommer hinein feststellbar.

Auswirkungen von Schneezusätzen

Auswirkungen auf die Phänologie

So wie die Dichte des Kunstschnees mit Snomax-Zusätzen zwischen der von Naturschnee und der vom Kunstschnee ohne Zusätze lag, so war auch die phänologische Entwicklung der Pflanzen intermediär. Ebenso wie beim Kunstschnee ohne Zusätze war die leichte Verzögerung bis zum Verblühen des Löwenzahnes Anfang Juni sichtbar.

- ☛ Verzögerte Entwicklung der Pflanzen unter Snomax-Schnee ist geringer als unter Kunstschnee ohne Zusätze.

Frostschädigung

In Experimenten zu einer möglichen Frostwirkung durch Snomax auf ausgesuchte alpine Pflanzen konnten keine Effekte festgestellt werden. Weder Klee noch Thymian zeigten mehr Frostschädigungen als die unbehandelten Kontrollen.

- ☛ Keine Frostschädigung durch Snomax war feststellbar.

Düngewirkung von Ammoniumnitrat

Die Biomasseproduktion der Vegetation auf dem Versuchsfeld zur Schneechemie zeigte deutliche Reaktionen auf die Behandlung mit qualitativ unterschiedlichem Wasser. Auf Teilflächen, welche mit Ammoniumnitrat (PTX) begossen wurden, war die Biomasseproduktion um rund 25% höher als auf den Flächen der anderen Behandlungen (für die Produktion von Kunstschnee verwendetes Wasser, letzteres angereichert mit Snomax und destilliertes Wasser als Kontrolle).

- ☛ Stark düngende Wirkung erfolgt durch Schneehärter Ammoniumnitrat.

Auswirkungen von Snomax auf Pflanzenwachstum

In Experimenten im Gewächshaus haben alle drei untersuchten Arten (Goldhafer, Weissklee und Thymian) auf die Behandlung mit Snomax (Giessen mit Snomax-Wasser) reagiert. Der Goldhafer zeigte gesteigertes Wachstum, während sowohl der Weissklee als auch der Thymian im Vergleich zu den Kontrollen im Wachstum zurückblieben. Die Ursache für diese

selektive Wirkung ist noch nicht klar. Möglich ist allerdings, dass der Goldhafer durch den Stickstoffeintrag von Snomax gefördert wird, wohingegen die symbiontischen Stickstofffixierenden Bakterien an den Wurzeln des Klees durch den Eintrag von Snomax in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Mykorrhiza-Experimente im Gewächshaus zum Einfluss von Snomax auf das Zusammenspiel von Pilz und Pflanze (in diesem Fall Silberwurz) zeigten, dass mit Snomax Wurzeln sich stärker verzweigten. Bestimmte Mykorrhiza-Pilze wirkten sich positiv auf das Wachstum der Silberwurzpflanzen aus.

- ☛ Auswirkungen von Snomax auf verschiedene alpine Pflanzenarten waren unterschiedlich (wachstumsfördernd und wachstumshemmend).

Fazit

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen deutliche Unterschiede der physikalischen und chemischen Schnee-Eigenschaften von Kunstschnee im Speziellen und Skipisten im Allgemeinen gegenüber der natürlichen Schneedecke. Die Vegetationsstudien widerspiegeln in einer Vielzahl von Merkmalsausprägungen Unterschiede der winterlichen Schneebedeckung. Für die kommenden Jahre und Jahrzehnte ist zu erwarten, dass sich die durch Kunstschnee verursachten Veränderungen bei anhaltender Beschneigung stärker ausprägen. Die zukünftigen Veränderungen auf Skipisten sollten daher, auch in Hinblick auf potentielle Erosionsgefahr, sorgfältig beobachtet und untersucht werden.

Es kann zusammenfassend empfohlen werden, keinen Kunstschnee zu verwenden, wenn ein Eintrag von Ionen (z.B. K, Ca) problematisch ist (z.B. in nährstoffarmen Mooren, auf Magerrasen etc.). In einem neu zu beschneidenden Gebiet sollten zunächst die wichtigsten Ansprüche an die Landschaft festgelegt werden (Landwirtschaft, Pflanzenschutz, Tourismus etc.), um abwägen zu können, ob Kunstschnee oder Pisten diesen Ansprüchen gerecht werden. In sehr sensiblen Situationen (Vorkommen seltener, empfindlicher Arten, hohes Erosionsrisiko) muss eventuell erwogen werden, von Pistennutzungen allgemein abzusehen. Bei der Verwendung der Schneezusätze ist wegen der Düngewirkung Zurückhaltung bei Ammoniumnitrat als Snowhardener angebracht. Die Auswirkungen von Kristallisationskeimen scheinen weniger dramatisch. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum sollten sie weiterhin sorgfältig beobachtet werden.

Weitere Literatur zum Thema (Auswahl)

Technische Aspekte

Brown, R. (1997) Man-made snow. *Scientific American*, **1**, 100.

Fauve, M., Rhyner, H., & Schneebeli, M. (2002) *Pistenpräparation und Pistenpflege - Das Handbuch für den Praktiker* Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF.

Kocak, R. & van Gemert, H. (1988) Man-made snow: biotechnology assisting the skiing industry. *Australian Journal of Biotechnology*, **2**, 37-38.

Seilbahnen Schweiz (2001). Wirtschaftsbericht 2001. Paul Haupt AG, Bern.

SMI Snowmakers: <http://www.snowmakers.ch/produkte/snowmax.asp>.

Gesellschaftliche und Klimatische Aspekte

- Abegg, B. (1996). Klimaänderung und Tourismus - Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- Abegg, B., Koenig, U., Buerki, R., & Elsasser, H. (1997) Climate Impact Assessment im Tourismus. *Die Erde*, **128**, 105-116.
- Bürki, R. & Elsasser, H. (2000a) Nachfragetrends und Umweltveränderungen an der Schwelle zum 21. Jahrhundert - Das Beispiel Wintertourismus in den Alpen, pp. 13-16.
- Bürki, R. & Elsasser, H. (2000b) Touristische Nachfragetrends und Klimawandel in den Alpen. *Montagna*, **1/2**, 13-16.
- Elsasser, H. & Messerli, P. (2001) The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps. *Mountain Research and Development*, **21**, 335-339.
- Mosimann, T. (1987) Schneesanlagen in der Schweiz, aktueller Stand - Umwelteinflüsse - Empfehlungen. *Materialien zur Physiogeographie*, **10**, 112.

Ökologische Aspekte

- Aarrestad, P.A. (1993) SNOMAX i kunstig snolegging; botansk-ökologiske undersøkelser i alpinanlegg. *Norsk institut for naturforskning oppdragsmelding*, **183**, 1-44.
- Bonjour, C. & Carle, G. (1997) *Risiko und Auswirkungen von Zusätzen bei der Beschneigung und bei der Pistenpräparation*. Semesterarbeit, Umweltnaturwissenschaften ETH Zürich.
- BUWAL (1997). Snomax™, Rep. No. 28. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Cernusca, A., Angerer, H., Newesely, C., & Tappeiner, U. (1990) Ökologische Auswirkungen von Kunstschnee - eine Kausalanalyse der Belastungsfaktoren. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, **19**, 746-757.
- CIPRA (1998) *Alpenreport: Daten, Fakten, Probleme, Lösungsansätze* Paul Haupt, Bern.
- Devarennes, G. (1994) *Effet de la neige artificielle sur des écosystèmes montagneux*. Maîtrise en sciences de l'eau, Université du Québec, Sainte-Foy.
- Kammer, P. & Hegg, O. (1990) Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, **19**, 758-767.
- Kammer, P.M. (2002) Floristic changes in subalpine grasslands after 22 years of artificial snowing. *Journal for Nature Conservation*, **10**, 109-123.
- Lichtenegger, E. (1992) Einfluss der Beschneigung auf die Vegetation. Bisherige Erkenntnisse und Erfahrungen. *Der Förderungsdienst*, **40**, 152-159.
- Rixen, C. (2002) *Artificial snow and snow additives on ski pistes: interactions between snow cover, soil and vegetation*. PhD thesis, University of Zurich.
- Rixen, C., Stoeckli, V., & Ammann, W. (2003) Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **5**, 219-230.