Zusammenfassung des Schlussberichts „Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten“

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

Veronika Stöckli, Christian Rixen & Sonja Wipf

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 durch die Beschneiung 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 Eidg. 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.

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. 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. Es interessierten die Eigenschaften Schneehöhe, Dichte der Schneedecke, chemische Eigenschaften des Schnees, Temperatur an der Basis der Schneedecke, Vegetationszusammensetzung, Produktivität sowie Struktur, Chemismus und mikrobielle Aktivität des Bodens. Die Wintereigenschaften 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.

Die Experimente wurden in Versuchsfeldern in der Landschaft Davos und in Gewächshäusern in Birmensdorf durchgeführt. In den Versuchsfeldern wurden einerseits mit künstlich angelegten Pistenflächen der Einfluss der physikalischen Eigenschaften der Schneedecke auf Vegetation und Boden geprüft. Andererseits wurden in einem zweiten Versuch 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

Schneehöhen und -dichten

Auf den Kunstschneepisten 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 Kunstschnee (523 g/l) war rund 33% dichter als Schnee der Kontrollflächen. Auch der Schnee der Naturschneepisten 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. Kunstschnee mit Snomax wies dabei leicht geringere Dichten auf als Kunstschnee produziert ohne Snomax.

Aus Schneehöhe und Dichte lässt sich der Wasserwert der Schneedecke berechnen. Auf den Kunstschneepisten ist der Wasserwert der Schneedecke mit 73.3 l/m^2 im Durchschnitt doppelt so hoch wie auf den Kontrollflächen (36.8 l/m^2). Durch die Kunstschnee-Produktion wurde also durchschnittlich mehr als 36 l Wasser pro Quadratmeter eingetragen.

Bodentemperaturen und Ausaperung

Die Temperaturen an der Grenzschicht zwischen Boden und Schneedecke lagen im Allgemeinen um null Grad unter Kunstschneepisten und den Vergleichsflächen, hingegen deutlich unter null Grad unter Naturschneepisten. In sechs Skigebieten zeigten diese Messwerte während einiger Tage Temperaturen kälter als -5°C. Unter Kunstschneepisten wurden demgegenüber in nur zwei Skigebieten Temperaturen geringer als -5°C gemessen. 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.

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.

Die Temperaturen, welche unter dem Schnee im Versuchsfeld gemessen wurden, entsprechen zumeist den Befunden der Skipisten. Allgemein waren die Werte kaum unter Null Grad und die Unterschiede zwischen den Behandlungen zwar deutlich, aber sehr gering. 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.

Chemismus

Die chemische Analyse des Schmelzwassers von Kunstschnees 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 Kotrollfläche zum Teil deutlich. Sulfat, Kalzium, Chlorid, Schwefel und Natrium sind in signifikant

höheren Konzentrationen im Kunstschnee vorhanden. Diese Spezies wurden durch das Schneiwasser 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 Schneiwassers, auf unterschiedliche Deposition natürlicher und anthropogener Aerosole und auf unterschiedliche ionische und organische Prozesse in der Schneedecke selber zurückzuführen. Unter den durch Kunstschnee eingetragenen chemischen Spezies sind auch für Pflanzen essentielle Stoffe enthalten. Ihre zusätzliche Zufuhr könnte folglich auf Pflanzen eine düngende Wirkung haben.

Vegetation

Vegetation verschiedener Skipistentypen

Aus den Vegetationsaufnahmen in den Skigebieten ist allgemein 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.

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

Die Anzahl der Pflanzenarten ist 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). Der Shannon-Index zeigt eine geringere Pflanzendiversität auf Pisten als auf Vergleichsflächen. Auch hier sind die Unterschiede nicht in allen Klassen von Pisten signifikant und variieren je nach Vegetationsgesellschaft.

Die Gesamtproduktivität (Biomasse) wird weder durch die Benutzung als Skipiste noch durch die Beschneiung verändert. Eine Ausnahme hierzu bilden wiederum die Planien. Diese sind fast viermal weniger produktiv als die jeweiligen Vergleichsflächen.

Der Anteil der Gräser an der Pflanzendecke nimmt auf Pisten, die beschneit werden, ab. Holzpflanzen sind auf Pisten sowohl im Anteil an der Deckung als auch an der Artenzahl deutlich reduziert, 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 Beschneiung angestiegen.

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 Beschneiung ab, und zwar sowohl in Deckung wie auch in Artanteil.

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 Beschneiung reagieren sie mit einer Zunahme der Artanteile.

Bei allen Analysen der Skipistenvegetation tritt der Faktor „Planierung“ als der entscheidende im Zusammenhang mit Skibetrieb hervor. Durch den Faktor „Kunstschnee“ 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 Beschneiung. Ein Einfluss von Snomax auf die Vegetation konnte in den untersuchten Skigebieten nicht festgestellt werden.

Phänologie

Auf der Versuchsfläche in Davos zeigten die Blütenpflanzen unter Kunstschnee eine verzögerte Entwicklung. Der Krokus blühte auf den Teilflächen mit Kunstschnee ohne Snomax um einen Tag später als auf Kontrollflächen. Trotz dieses geringen Unterschiedes in der Entwicklung war Mitte Mai, zur Blütezeit des Wald-Vergissmeinnicht und anfangs Juni beim Verblühen des Löwenzahns die verspätete Entwicklung der Pflanzen auf den Kunstschnee-Teilflächen immer noch deutlich sichtbar. Mitte Juni dann, zu Beginn der Blütezeit des Schlangenknöterichs, ist ein Unterschied in der Entwicklung der Pflanzen nicht mehr ersichtlich. Obwohl die Unterschiede in den Eigenschaften der Schneedecke auf dem Versuchsfeld nur 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).

Auswirkungen von Schneezusätzen

Die Biomasseproduktion der Vegetation auf dem Versuchsfeld zur Schneechemie zeigte deutliche Reaktionen auf die Behandlung mit qualitativ unterschiedlichem Wasser. Auf Teilflächen, welche mit 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).

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.

In Experimenten im Gewächshaus haben alle drei untersuchten Arten (Goldhafer, Weissklee und Thymian) auf die Behandlung mit Snomax 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 Stickstoff-fixierenden 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 eine stärkere Verzweigung von Wurzeln beobachtet wurde. Bestimmte Mykorrhiza-Pilze wirkten sich sehr positiv auf das Wachstum der Silberwurzpflanzen aus.

Boden

Die Bodenuntersuchungen auf den Skipisten zeigten als Haupteinflüsse die Pistenplanierungen und die Pflanzendiversität 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. Die mikrobielle Aktivität und Diversität im Boden von Skipisten war in erster Linie von der Pflanzendiversität beeinflusst 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.

Auf der Versuchsfläche wurden Einflüsse von veränderten Schneedecken auf den Stickstoffhaushalt des Bodens festgestellt. Verstärkter Bodenfrost und Frostwechsel unter verdichteten Schneedecken bewirkte eine erhöhte Ammonifizierung und somit eine verstärkte Stickstofffreisetzung. Die Luft an der Bodenoberfläche unter der Schneedecke war Ende Winter im Vergleich zur Aussenluft leicht mit Kohlendioxid angereichert. Allerdings wurden keine Unterschiede zwischen den verschieden behandelten Schneedecken gefunden. Für Lachgas (N_2O) ergaben sich weder Unterschiede zwischen der Aussenluft und der Luft an der Bodenoberfläche noch zwischen den Behandlungen.

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 Beschneiung 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). In einem zu beschneienden Gebiet sollten zunächst die wichtigsten Ansprüche festgelegt werden (Landwirtschaft, Pflanzenschutz, Tourismus etc.), um abzuwägen, ob Einflüsse durch Kunstschnee oder Pisten allgemein negativ zu bewerten sind. 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 Schneehärter angebracht. Die Auswirkungen von Kristallisationskeimen scheinen weniger dramatisch. Aufgrund ihrer teils negativen Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum sollten sie weiterhin sorgfältig beobachtet werden.

© SLF Davos, Juni 2002