

ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN VON KUNSTSCHNEE - EINE KAUSALANALYSE DER BELASTUNGSFAKTOREN

Alexander Cernusca, Herbert Angerer, Christian Newesely und Ulrike Tappeiner

ABSTRACT

For the last three years a research program designed to investigate the ecological impacts of differing methods of snow preparation and use of artificial snow has been carried out in several ski areas in Tyrol and Salzburg. A primary objective were measurements of temperature relations, oxygen and carbon dioxide concentration, as well as biological activity of soil organisms. For this purpose specialized computer-controlled data acquisition systems were developed, which permit a continuous registration of the above mentioned parameters within the particular ski area.

Available data indicate that soil freezing during winter is more pronounced in conventionally prepared ski runs, compared to natural snow cover. Furthermore, ice formation occurs at the soil surface, leading to a reduction of oxygen concentration to 2 % and a rise in carbon dioxide concentration up to 7 %. Oxygen depletion did not occur under natural snow cover. Artificial snow generation generally prevents, in contrast to conventional preparation, a freezing of lower soil horizons due to the larger snow mass per unit area. The results do, however, point to some potential hazards of artificial snow production. The duration of snow cover into spring on these sites can lead to oxygen depletion. In addition, the increase in meltwater runoff of artificially prepared ski runs can damage vegetation and may lead to soil erosion.

keywords: *artificial snow, soil oxygen concentration, meltwater runoff, erosion*

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Intensiver Schibetrieb stellt für Vegetation und Boden eine gravierende Belastung dar (CERNUSCA 1986, 1987 a,b). Bei geringer Schneelage werden mechanische Schäden durch die Kanten der Schier und durch die Gleisstege der Pistenfahrzeuge hervorgerufen. Starke Schneeverdichtung und Eisbildung bewirken eine Reduktion der thermischen Isolationsfähigkeit der Schneedecke und in weiterer Folge ein tieferes Frieren des Bodens, bzw. das besonders schädigende wiederholte Frieren und Auftauen des Bodens. Dadurch kann es zu Schäden an Feinwurzeln und zu erhöhter Bodenerosion kommen (CERNUSCA 1986). Die schlechte Luftdurchlässigkeit der stark verdichteten Schneedecke und die Verlängerung der Schneedeckenandauer bewirken weitere Schäden.

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse von Untersuchungen dargestellt, die seit 1986 in verschiedenen Schigebieten in Österreich durchgeführt wurden. Durch dieses Forschungsvorhaben sollte vor allem auch geklärt werden, wie sich künstlich beschneite Pisten bezüglich der Belastungsfaktoren Schneeverdichtung, Eisbildung, Bodenfrost, Sauerstoffmangel und Schmelzwassermenge von herkömmlich präparierten Pisten und von ungestörten Naturschneedecken unterscheiden.

2. VERSUCHSFLÄCHEN

Die Untersuchungen erfolgten in Tirol in den Schigebieten Gschwandtkopf bei Seefeld, Patscherkofel bei Innsbruck und Steinplatte bei Waidring sowie in Salzburg im Schigebiet Schmittenhöhe bei Zell am See. In den Schigebieten Patscherkofel und Steinplatte wurden nur herkömmlich präparierte Pisten und unbefahrene Referenzflächen außerhalb der Pisten, in den übrigen Schigebieten ergänzend dazu auch künstlich beschneite Pisten untersucht. Die wichtigsten Kenngrößen der Versuchsflächen sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Ein Großteil der untersuchten Pisten wurde vor 30 Jahren planiert und anschließend durch Einsaat von Wiesenkräutern und -gräsern begrünt. Der Deckungsgrad der Vegetation beträgt heute zwischen 70 und 100 %. Im Sommer werden die Flächen von Kühen beweidet. Als Folge der Geländekorrekturen besteht das Bodenprofil zumeist nur aus einem 5 bis 20 cm mächtigen A_h -Horizont, der unmittelbar in den C- bzw. C_v -Horizont übergeht. In den Schigebieten Gschwandtkopf, Patscherkofel und Schmittenhöhe beträgt die durchschnittliche Schneehöhe im nicht beschneiten Pistenbereich 40 bis 100 cm. Eine besonders große Schneehöhe weisen mit 100 bis 150 cm die Schipisten im Schigebiet Steinplatte auf. Durch die Beschneidung wird die Schneehöhe im Schigebiet Gschwandtkopf um durchschnittlich 40 bis 60 cm vergrößert (Abb. 1). Der Anteil des Kunstschnees an der Gesamtschneehöhe hängt sehr stark von den von Jahr zu Jahr schwankenden Witterungsbedingungen ab. Bei durchschnittlichem Witterungsverlauf beträgt der Anteil des Kunstschnees an der Gesamtschneehöhe zwischen 20 und 40 %, bei schneearmem Winter dagegen 50 bis 70 %. Außerdem wurde festgestellt, daß die künstlich beschneiten Pisten in Abhängigkeit von Exposition, Witterungsverlauf und Beschneidungsintensität um durchschnittlich 5 bis maximal 14 Tage verzögert ausapern.

Tab. 1: Kenndaten der Versuchsflächen

	Seefeld	Patscherkofel	Steinplatten	Zell am See
Höhenlage	1250 m	1800 m	1500 m	1200 m
Exposition	N	N	NE	NE
Neigung	0-15°	0-5°	0-5°	20°
Geologie	Hauptdolomit	Quarzphyllit	Hauptdolomit	Tonschiefer
Geländeplanierung	ja	ja	nein	ja
Niederschlag/a	1500 mm	900 mm	2000 mm	1200 mm
Vegetation	Rasensaat	Rasensaat	<i>Seslerio- semperviretum</i>	Rasensaat
Kunstschnee	ja	nein	nein	ja
Boden	Pistenkolluvium	Pistenkolluvium	Rendzina	Pistenkolluvium

3. METHODE

An jeder Versuchsfläche wurde die Lufttemperatur im 2 m Höhe sowie die Bodentemperatur in 0, 5, 10, 20 und 50 cm Tiefe kontinuierlich registriert (vgl. dazu NEWESELY 1989). Der Aufbau der Schneedecke (Schneehöhe, Kristallform und -größe, Schneedichte, Schneehärte) wurde in Zeitintervallen von sieben bis vierzehn Tagen im Profil aufgenommen. Außerdem wurden mit einem computergesteuerten Meßsystem (CERNUSCA 1987c) die Sauerstoff-(Platin/Zirkonium Sauerstoffsensoren S 230, Fa. Betatron, Japan) und die Kohlendioxidkonzentration (Infrarotgasanalysator PM 3, Fa. ADC, Großbritannien) unter der Schneedecke gemessen. Die Gasproben wurden mittels einer Pumpe (10 l/h) über Schlauchleitungen (10 m Länge) aus Meßküvetten angesogen, die zu Beginn der Wintersaison an der Bodenoberfläche

installiert worden waren. Um für die einzelnen Pistenbereiche statistisch abgesicherte Aussagen zu erhalten, wurden, über jede Versuchsfläche verteilt, jeweils 10 Meßküvetten eingebaut (vgl. dazu ANGERER 1989). Zur Analyse der Gasdurchlässigkeit der einzelnen Schneeschichten wurden Profile der CO_2 -Konzentration in der Schneedecke aufgenommen. Dazu wurden dünne Messingröhrchen (Außendurchmesser 2 mm) von oben in die Schneedecke zur Entnahme der Gasproben eingeführt. Mittels Bodenatmungsküvetten (CERNUSCA und DECKER 1984) wurde außerdem die CO_2 -Freisetzung aus dem Boden gemessen.

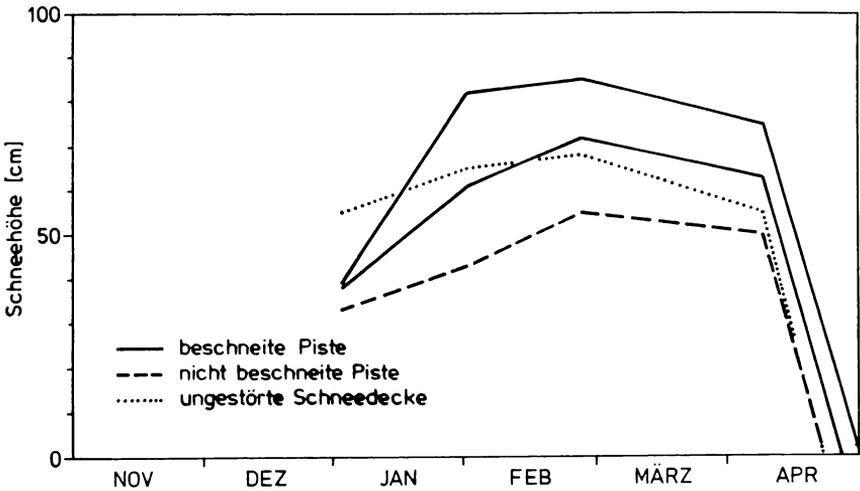


Abb. 1: Schneehöhe unterschiedlich präparierter Pisten im Schigebiet Gschwandtkopf im Verlauf des Winters 1986/87 (NEWESELY 1989). Für die ungestörte Umgebung ergab sich im Durchschnitt über den ganzen Winter eine Schneedichte von 329, für die nicht beschneite Piste von 475 und für die beschneiten Pisten zwischen 500 und 520 kg/m^3 .

4. ERGEBNISSE

4.1 Schneedichte

Natürlicher Neuschnee weist eine Dichte von 30 bis 100 kg/m^3 auf. In Naturschneedecken setzt unmittelbar nach dem Schneefall eine abbauende Schneemetamorphose ein (vgl. dazu LACKINGER 1985). Bei diesem Prozeß zerfallen die Neuschneekristalle innerhalb von zwei bis vier Wochen zu einer kugelförmigen Kristallform, wobei die Dichte der Schneedecke allmählich auf 250 bis 400 kg/m^3 ansteigt. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß in herkömmlich präparierten Pisten die abbauende Schneemetamorphose durch die vertikalen Druckeinwirkungen des Schibetriebes sehr stark beschleunigt und verstärkt wird, so daß bereits nach drei bis vier Tagen eine starke Schneeverdichtung auf Werte zwischen 400 und 500 kg/m^3 eintritt. Ein Vergleich von herkömmlich präparierten und beschneiten Pisten zeigt, daß Schneekanonen einen sogenannten "Kompaktschnee" erzeugen, dessen Dichte bereits bei der Beschneigung mit 350 bis 400 kg/m^3 ähnlich groß wie bei stark präparierten Naturschneepisten ist. Die zusätzliche Präparierung mittels Pistengeräten und der Schibetrieb bewirken vor allem gegen Ende der Wintersportsaison im Beschneigungsbereich einen weiteren Anstieg der Dichte bis auf Werte zwischen 520 und 640 kg/m^3 .

4.2 Thermische Eigenschaften

Abb. 2 zeigt am Beispiel des Schigebietes Gschwandtkopf vergleichende Messungen des Temperaturverlaufes an der Bodenoberfläche. Alle bis jetzt aus den untersuchten Schigebieten vorliegenden Temperaturregistrierungen zeigen übereinstimmend, daß nach Aufbau der natürlichen Schneedecke im Gelände außerhalb der Pisten kaum Bodenoberflächentemperaturen unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ auftreten. Im Bereich von nicht beschneiten Pisten sinkt dagegen die Temperatur an der Bodenoberfläche häufig bis $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ und es kommt zu dem besonders gefährlichen wiederholten Frieren und Auftauen des Bodens. Diese Gefahr wurde vor allem bei planierten Pisten festgestellt. Kunstschneepisten weisen in der Regel einen wesentlich günstigeren Temperaturverlauf als nicht beschneite Pisten auf. Vor allem ist das wiederholte Frieren und Auftauen des Bodens kaum zu beobachten. Als ungünstig ist dagegen zu beurteilen, daß als Folge des verzögerten Ausaperns der beschneiten Pisten die Bodentemperaturen im Frühjahr länger nahe bei $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen, wodurch die "Bodenaktivität" und das Pflanzenwachstum beeinträchtigt werden.

Die bessere thermische Isolationsfähigkeit von Kunstschneepisten ist ausschließlich auf die hier deutlich größere Schneehöhe zurückzuführen. Bei gleicher Schneehöhe weisen beschneite Pisten eine schlechtere thermische Isolationsfähigkeit als nicht beschneite Pisten auf (CERNUSCA 1987a). Vergleicht man nämlich die Wärmeleitfähigkeit unterschiedlich verdichteter Schneedecken, so zeigt sich, daß die sogenannte spezifische Wärmeleitfähigkeit, das ist die Wärmeleitfähigkeit einer 1 m dicken Schneedecke, mit der Dichte des Schnees zunimmt (Abb. 3). Gemittelt über den Winter 1986/87 wies im Schigebiet Gschwandtkopf die nicht beschneite Piste eine doppelt so große spezifische Wärmeleitfähigkeit wie die ungestörte Schneedecke außerhalb der Pisten auf. Bei den Kunstschneepisten war die spezifische Wärmeleitfähigkeit sogar noch um 20 % größer als bei der nicht beschneiten Piste.

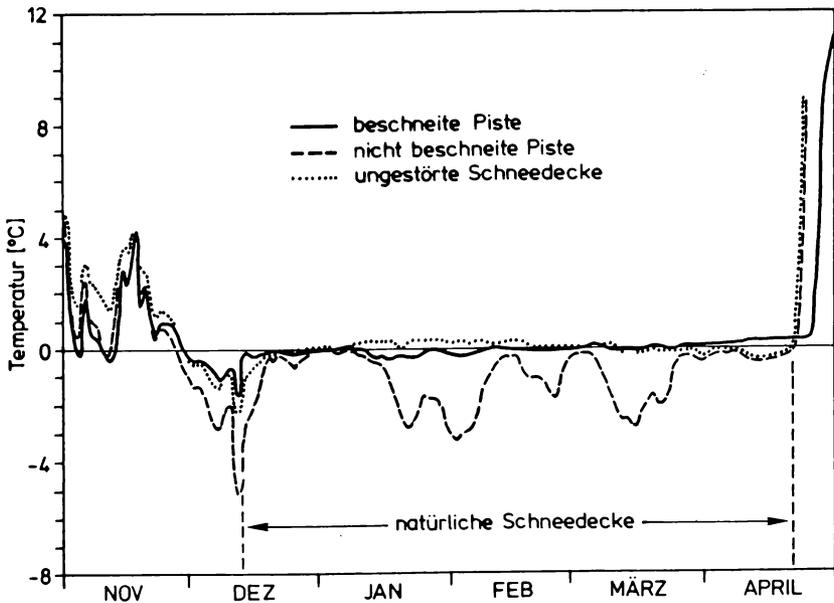


Abb. 2: Temperatur an der Bodenoberfläche bei unterschiedlich präparierten Pisten im Schigebiet Gschwandtkopf im Verlauf des Winters 1986/87 (NEWESELY 1989)

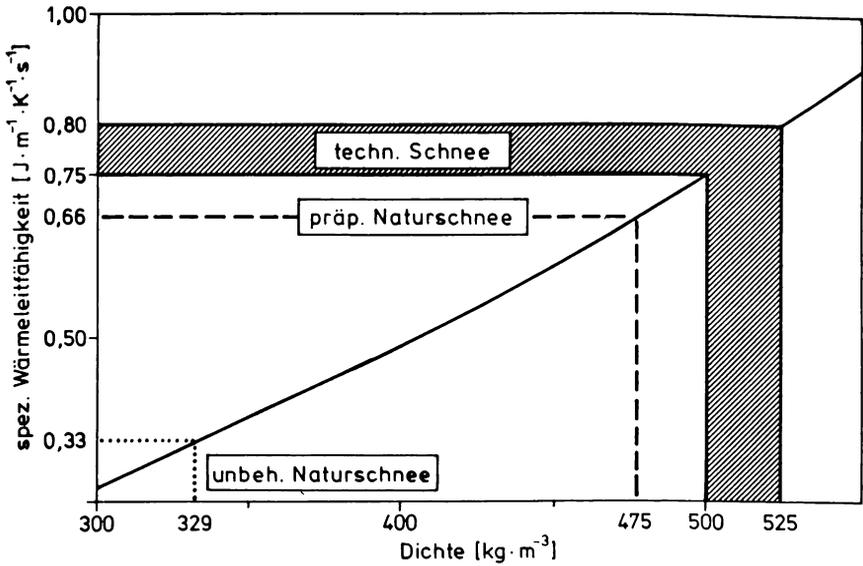


Abb. 3: Abhängigkeit der spezifischen Wärmeleitfähigkeit von der Schneedichte. Die Abhängigkeitskurve wurde nach Angaben bei GEIGER (1961) gezeichnet. Unter Berücksichtigung der jeweiligen durchschnittlichen Schneedichte ergibt sich für die herkömmlich präparierte Piste mit $0,66 \text{ J/m}\cdot\text{K}\cdot\text{s}$ eine genau doppelt so große spezifische Wärmeleitfähigkeit wie für die ungestörte Schneedecke. Kunstschneepisten weisen mit $0,75$ bis $0,80 \text{ J/m}\cdot\text{K}\cdot\text{s}$ die höchste spezifische Wärmeleitfähigkeit auf.

4.3 Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration

Schneeverdichtung und Eisbildung können im Pistenbereich zu "Erstickungserscheinungen" an Vegetation und Boden führen. Als Indikator für das Auftreten derartiger Schäden wurde der Verlauf der Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration unter der Schneedecke gemessen. Abb. 4 zeigt am Beispiel des Schigebietes Gschwandtkopf, daß unter ungestörten Naturschneedecken außerhalb der Pisten im Verlauf des Winters 1986/87 kein Sauerstoffmangel herrschte, wogegen unter den stark befahrenen Schipisten ab Anfang März eine starke Reduktion der Sauerstoffkonzentration auftrat. Außerdem wurde ein starker Anstieg der CO_2 -Konzentration festgestellt (Abb. 5). Frühere pflanzenphysiologische Untersuchungen einer Reihe von Autoren haben gezeigt, daß es bei Eiseinschluß und Schneeverkrustung zu Sauerstoffmangel und CO_2 -Anreicherung und in weiterer Folge über abnorme Stoffwechselwege zur Bildung giftiger Endprodukte kommt. Die Empfindlichkeit der Pflanzen bezüglich dieser toxischen Schädigung ist art- und sortenspezifisch (siehe Literaturübersicht bei LARCHER 1985). Die im Bereich von Kunstschneepisten im Schigebiet Gschwandtkopf festgestellte Verschiebung der Sauerstoffmangelerscheinungen in das Frühjahr ist eine unmittelbare Folge der größeren Schneehöhe und der längeren Schneedeckenandauer. Dies bestätigen Untersuchungsergebnisse für nicht beschneite Pisten mit großer natürlicher Schneehöhe im Schigebiet Steinplatte.

Das Auftreten von Sauerstoffmangel hängt stark von den jeweiligen Witterungsbedingungen, der Höhenlage, den Boden- und Vegetationsverhältnissen und der Intensität des Schibetriebes ab. Bei beschneiten Pisten spielt außerdem die Beschneiungsart (Einstellung der Schneekanonen, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit) und die Intensität der anschließenden Präparierung eine entscheidende Rolle.

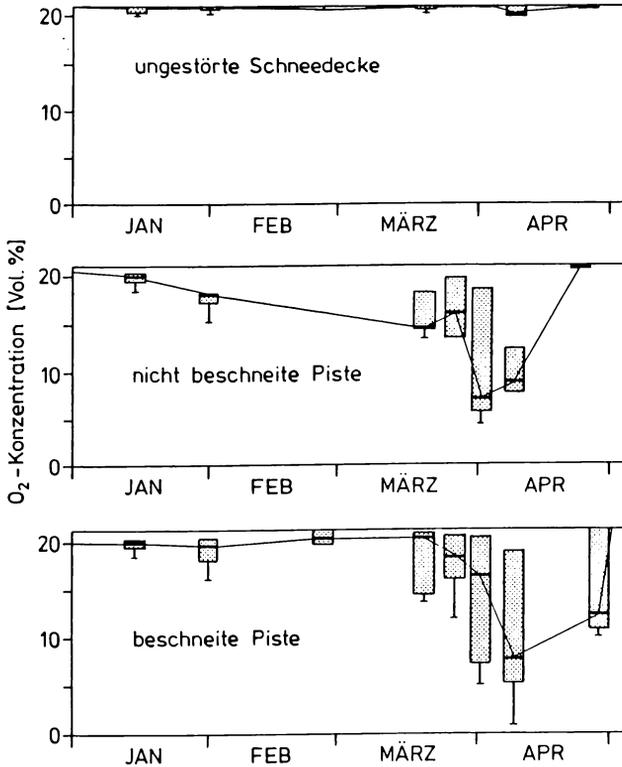


Abb. 4: Sauerstoffkonzentration an der Bodenoberfläche bei unterschiedlich präparierten Pisten im Schigebiet Gschwandtkopf im Verlauf des Winters 1986/87 (ANGERER 1989). Die gewählte Darstellungsform (Box and Whiskerplot) verdeutlicht die räumliche Streuung der Meßwerte: Die Boxen kennzeichnen 50 % der Meßwerte, die senkrechten Linien den gesamten Streubereich und die dicken horizontalen Linien den Verlauf des Median-Wertes.

Interessant sind in diesem Zusammenhang Untersuchungen mit einem Druckluftporometer im Schneelabor in Bern, die gezeigt haben, daß die Luftdurchlässigkeit von Kunstschnee bei Verdichtung wesentlich rascher als bei Naturschnee abnimmt (Abb. 6). Im Bereich von Kunstschneepisten ist daher die Vermeidung einer zu starken Schneesverdichtung besonders wichtig. Ungünstig dürfte sich in diesem Zusammenhang die Präparierung mit zu schweren Pisten­geräten (über 7 Tonnen) auswirken.

Als Indikator für die Luftdurchlässigkeit der Schneedecke wurde auch das Porenvolumen gemessen. Gemittelt über die Wintersaison 1986/87 ergab sich im Schigebiet Gschwandtkopf für die ungestörte Schneedecke ein Porenvolumen von 64,2, für die unbeschneite Piste von 48,2 und für die Kunstschneepisten von 46,5 Vol. %. Zum Zeitpunkt der reduzierten Luftdurchlässigkeit der Schneedecke wurden zwar im Pistenbereich auch die geringsten Porenvolumina festgestellt (nicht beschneite Piste 43,3 %; Kunstschneepiste 36,6 %), statistische Analysen zeigten aber keine signifikante Korrelation zwischen dem Porenvolumen und der Sauerstoffversorgung. Um die Ursachen der schlechten Luftdurchlässigkeit präparierter Schipisten weiter zu analysieren, wurden Profile der CO₂-Konzentration in der Schneedecke gemessen. Diese Messungen haben ergeben, daß die schlechte Luftdurchlässigkeit vor allem auf Eisschichten an

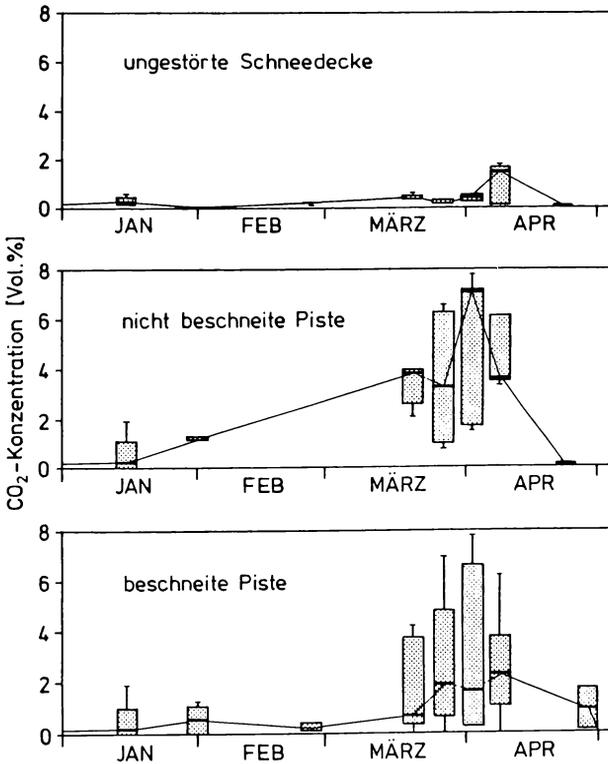


Abb. 5: Kohlendioxidkonzentration an der Bodenoberfläche bei unterschiedlich präparierten Pisten im Schigebiet Gschwandtkopf im Verlauf des Winters 1986/87 (ANGERER 1989).

der Bodenoberfläche zurückzuführen ist (Abb. 7). Ursache für die Eisbildung an der Bodenoberfläche sind die Phänomene der Schmelzmetamorphose (vgl. dazu LACKINGER 1985). Im Frühjahr bewirkt die Wärmezufuhr durch Sonneneinstrahlung und Wärmekonvektion von oben und durch aufsteigende Bodenwärme von unten die Bildung von freiem Wasser in der Schneedecke. Dieses sickert durch die Schneedecke und friert in den noch kälteren Schichten zu Eislamellen. Dieser natürliche Vorgang wird durch die vertikalen Druckeinwirkungen des Schibetriebes wesentlich beschleunigt. Durch die größere Schneehöhe wird die Eisbildung in Kunstschneepisten gegenüber nicht beschneiten Pisten zunächst verzögert, die längere Andauer der Schneedecke bewirkt aber in weiterer Folge eine für Vegetation und Boden ungünstige Verschiebung des Sauerstoffmangels in die beginnende Wachstumsperiode (Abb. 8).

4.4 Wasserwert und Schmelzwassermenge

Ein weiterer wichtiger Punkt im Zusammenhang mit der Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von Schneekanonen ist die Frage der stark erhöhten Schmelzwassermenge. Im Schigebiet Gschwandtkopf waren zum Zeitpunkt der verstärkt einsetzenden Schneeschmelze im Winter 1986/87 um 80 bis 150 l/m² (Abb. 9) und im besonders schneearmen Winter 1987/88 um 150 bis 300 l/m² zusätzliches Wasser in den Kunstschneepisten gespeichert. Im Beschneigungsbereich ergibt sich also eine deutliche Erhöhung der Gesamtschmelzwassermenge.

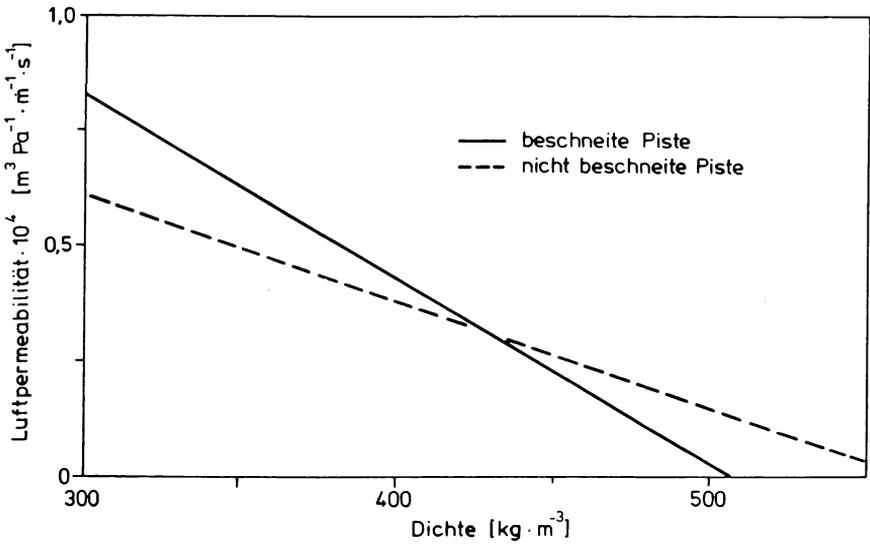


Abb. 6: Luftpermeabilität von Pisten (beschneit, nicht beschneit) in Abhängigkeit von der Schneedichte. Die Messungen erfolgten mit einem Druckluftporometer im Schneeslabor in Bern (KAMMER 1989).

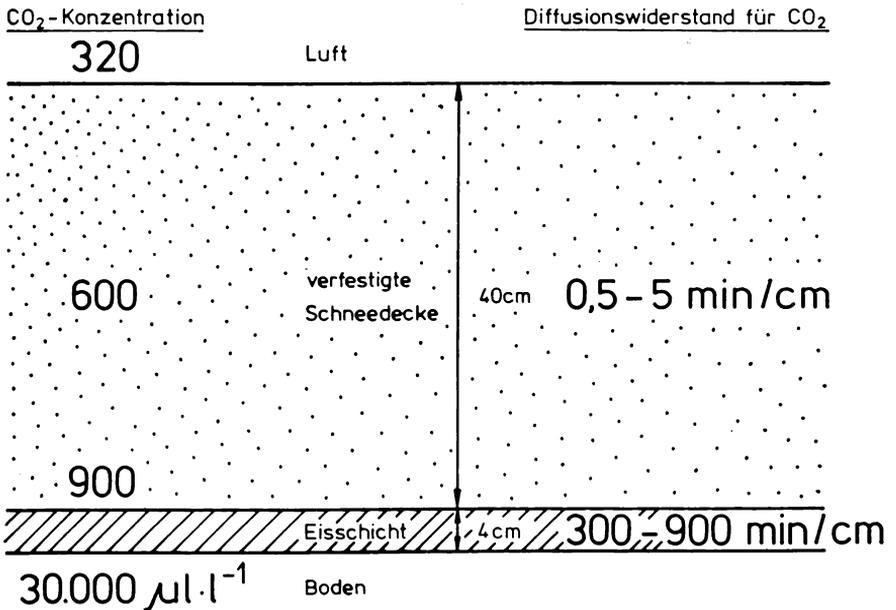


Abb. 7: CO₂-Konzentration in den einzelnen Schichten einer stark befahrenen Schipiste im Schigebiet Gschwandtkopf gegen Ende der Wintersaison (1988/89). Im rechten Teil der Abbildung ist außerdem der Diffusionskoeffizient für CO₂ dargestellt.

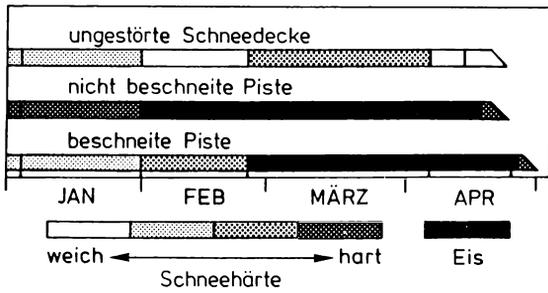


Abb. 8: Schneeschichtung und Eisbildung in der untersten Schicht (0 bis 10 cm) der Schneedecke im Schigebiet Gschwandtkopf im Verlauf des Winters 1986/87 (NEWESELY 1989).

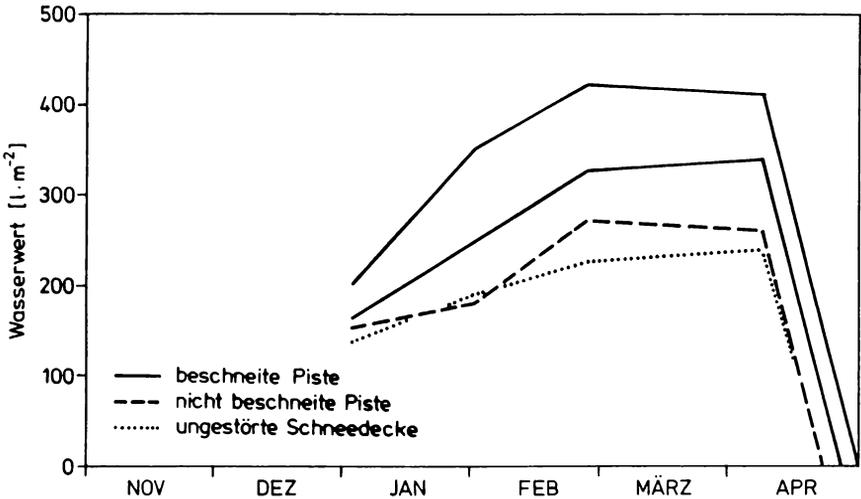


Abb. 9: Wasserwert unterschiedlich präparierter Pisten im Schigebiet Gschwandtkopf im Verlauf des Winters 1986/87 (NEWESELY 1989).

Zum Vergleich sind in Tab. 2 die Schmelzwassermengen ungestörter Naturschneedecken im Gebiet von Innsbruck, im Ötztal und in den Hohen Tauern dargestellt. Neben der Gesamtschmelzwassermenge ist vor allem auch die pro Zeiteinheit auftretende Schmelzwasserrate interessant. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß die Schmelzwasserrate aus Schipisten in erster Linie von der Exposition im Gelände, der Schneehöhe, der Strukturierung der Schneedecke und dem Witterungsverlauf abhängt. Bei einem Vergleich von beschneiten und nicht beschneiten Pisten ist vor allem die durch die Beschneigung vergrößerte Schneehöhe und die Verzögerung der Ausaperung entscheidend. Für mäßig beschneite Pisten wurden im Schigebiet Gschwandtkopf bei durchschnittlichen Witterungsbedingungen während der Schneeschmelze ähnliche Schmelzwasserraten wie bei nicht beschneiten Pisten festgestellt. Im Durchschnitt waren es 15 bis 25 l/m². d. Für Pisten bzw. Schigebiete mit größerer Schneehöhe und stärker verzögerter Schneeschmelze wurde mit 20 bis 40 l/m². d eine deutlich größere

Wasserfreisetzung während der Schneeschmelze festgestellt. Besonders hohe Schmelzwasser-raten traten bei Warmlufteinbrüchen (Föhn) bzw. bei warmem Regen auf. So wurde z.B. im Schigebiet Patscherkofel in 1.660 m NN am 9.4.1989 eine Schmelzwasserrate von 50 l/m². d (stündliche Maximalwerte von 12 l/m²·h!) gemessen. Zur Beschleunigung der Schneeschmelze wird auf Pistenflächen nach Ende der Schisaison häufig Dünger oder Gesteinsmehl aufgebracht. Wie Messungen im Schigebiet Steinplatte zeigten, kommt es dadurch zu einer Erhöhung der Abschmelzrate um durchschnittlich 30 bis 40 %. Die vorliegenden Unter-suchungsergebnisse zeigen außerdem, daß die in beschneiten Pisten im Frühjahr zusätzlich gespeicherte Wassermenge nicht etwa zum Großteil verdunstet, wie vielfach behauptet wird, sondern als Schmelzwasser abfließt: An einem warmen Schönwettertag im März beträgt die gesamte Wasserdampf-abgabe aus der Schneedecke durch Verdunstungs- und Sublimationsvor-gänge im Schigebiet Gschwandtkopf bei Seefeld nur 5 bis maximal 10 % des Schneedecken-schwundes, 90 bis 95 % fließen als Schmelzwasser ab.

Tab. 2: Jährliche Niederschlags- und Schmelzwassermenge für ungestörte Naturschneedecken an verschiedenen Orten in Tirol, Salzburg und Kärnten (nach KÖRNER et al. 1989).

Ort	Höhe (m)	Niederschlag (mm/a)	Schmelzwasser (mm/a)
Innsbruck	580	983	151
Seegrube	1960	1150	383
Hafelekar	2330	1235	480
Obergurgl	1980	891	504
Hohe Mut	2550	814	519
Sagritz	1085	973	215
Heiligenblut	1300	1080	430
Seppenbauer	1610	1407	633
Guttal	1910	1600	854
Wallackhaus	2300	1720	987

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUßFOLGERUNGEN

Bezüglich der Belastungsfaktoren Schneeverdichtung, Eisbildung, Bodenfrost, Sauerstoff-mangel und Schmelzwassermenge ergeben sich zusammenfassend folgende Befunde:

1. Als Folge der größeren Schneehöhe weisen künstlich beschneite Pisten in der Regel günsti-gere Temperaturverhältnisse als herkömmlich präparierte Pisten auf (Vermeidung tiefer Bodenfröste, Vermeidung von wiederholtem Frieren und Auftauen des Bodens). Außerdem schützt die größere Schneehöhe Boden und Vegetation besser vor mechanischen Schäden.
2. Ein zu hoher Wassergehalt des frisch erzeugten Schnees und eine zu starke Präparierung mit zu schweren Pistengeräten (über 7 Tonnen) wirken sich negativ auf die Temperaturver-hältnisse aus und fördern außerdem schädliche Eisbildung an der Bodenoberfläche.
3. Kunstschneepisten apert um durchschnittlich 5 bis maximal 14 Tage später als nicht be-schneite Pisten aus. Die längere Schneedeckenandauer bewirkt, daß die Bodentemperaturen im Frühjahr länger nahe bei 0 °C liegen, wodurch die "Bodenaktivität" und das Pflanzen-wachstum beeinträchtigt werden.
4. Im Beschneigungsbereich bewirken die größere Schneehöhe und die längere Schneedecken-andauer eine Zunahme der Gefahr von Erstickungserscheinungen.
5. Im Beschneigungsbereich ist eine Zunahme der Gesamtmenge des Schmelzwasserangebotes um 80 bis 150 l/m² festzustellen.
6. Besonders hohe Schmelzwasserraten (= Schmelzwassermenge/Zeiteinheit) sind bei Warm-lufteinbrüchen (Föhn) und bei warmem Frühjahrsregen zu erwarten.
7. Durch Auftaumittel (Gesteinsmehl, Dünger) kann es zu einer Steigerung der Schmelz-wasserrate um 30 bis 40 % kommen.

Die festgestellten Belastungsfaktoren wirken sich je nach den Boden- und Vegetationsverhältnissen sehr unterschiedlich aus. Im folgenden sollen nur die Auswirkungen im Bereich planierter Schipisten kurz beurteilt werden. Dieser Bereich ist deshalb besonders interessant, da nach einer Untersuchung von MOSIMANN (1987) in der Scheiz über 70 % aller Beschneiungsanlagen auf planierten Schipisten errichtet wurden.

Planierte Pisten sind wegen mangelhafter Begrünung und gestörter Bodenverhältnisse häufig besonders erosionsgefährdet (CERNUSCA 1986). Als positiv ist zu beurteilen, daß im Beschneungsbereich eine Reduktion der mechanischen Schäden und außerdem günstigere Bodentemperaturen zu erwarten sind. Als Folge der Belastungsfaktoren "längere Schneedeckenandauer" und "erhöhte Schmelzwassermenge" kann es nach Errichtung von Beschneiungsanlagen dennoch zu einer weiteren Zunahme der Erosionsgefahr im Bereich planierter Pisten kommen. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß in einer Reihe von Schigebieten als Folge der früheren Geländekorrekturen eine Störung des Wasserhaushaltes nicht nur im unmittelbaren Pistenbereich sondern auch im Unterhang außerhalb der Pisten vorliegt. Diese Störung macht sich durch erhöhte Hangdurchfeuchtung, Erosionserscheinungen insb. im Bereich der Vorfluter und durch Hangrutschungen bemerkbar (vgl. dazu LÖHMANNSRÖBEN und CERNUSCA, in diesem Band). Vor Inbetriebnahme einer Beschneiungsanlage ist daher genau zu prüfen, ob im gesamten Beschneungsbereich der zur Vermeidung von Erosionen notwendige Minimaldeckungsgrad der Vegetation (Phanerogamen) vom mindestenz 70 % gegeben ist. Außerdem ist zu untersuchen, ob die Durchwurzelung des Bodens ausreichend und ob das Wasserausleitungssystem voll funktionstüchtig ist. Und schließlich ist eingehend zu prüfen, ob im angrenzenden Gelände nicht bereits wasserhaushaltlich gestörte Hangabschnitte vorhanden sind, die vor Inbetriebnahme der Beschneiungsanlage saniert werden müßten.

Wegen der potentiellen negativen Auswirkungen auf Vegetation und Boden ist aus der Sicht der Ökologie zu fordern, daß vor Errichtung von Beschneiungsanlagen eine umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt wird (CERNUSCA 1988). Neben der Bereitstellung fundierter Entscheidungsgrundlagen für das Genehmigungsverfahren soll durch die UVP vor allem sichergestellt werden, daß

1. vor Errichtung der Beschneiungsanlage die Schipisten und das beeinträchtigte angrenzende Gelände ökologisch saniert werden,
2. die Errichtung und der Betrieb der Beschneiungsanlage durch Auflagen so geregelt werden, daß keine negativen Auswirkungen auftreten,
3. durch ein Überprüfungsverfahren nicht nur die Einhaltung sondern vor allem auch die Wirksamkeit der Auflagen in den ersten Betriebsjahren der Beschneiungsanlage überwacht werden.

Angesichts der potentiellen Gefahren sollte außerdem für alle in der Vergangenheit ohne UVP errichteten Beschneiungsanlagen so rasch wie möglich eine ökologische Bestandsaufnahme durchgeführt werden. Eine derartige Bestandsaufnahme stellt eine wesentliche Voraussetzung für allenfalls notwendige Sanierungsmaßnahmen dar.

LITERATUR

- ANGERER H., 1989: Entwicklung und Erprobung von Meßmethoden zur Messung der Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration unter Schneedecken. - Diplomarbeit, Institut für Botanik, Universität Innsbruck 1989.
- CERNUSCA A., 1986: Ökologische Auswirkungen des Baues und Betriebes von Skipisten und Empfehlungen zur Reduktion der Umweltschäden. - Sammlung Naturschutz 33, Europarat 1986.
- CERNUSCA A., 1987a: Potentielle ökologische Auswirkungen von Schneekanonen. - Naturschutzblatt, Bozen: 3-5.
- CERNUSCA A., 1987b: Wintersporterschließungen und Naturschutz - Ergebnisse einer Studie im Auftrag des Europarates. - Verh. Ges.f.Ökologie (Göttingen 1987): 173-181.

- CERNUSCA A., 1987c: Application of computer methods in the field to assess ecosystem function and response to stress. - In: J. D. TENHUNEN (ed.): Plant response to stress. NATO ASI Series, Vol. G15: 157-164.
- CERNUSCA A., (ed.) 1988: Umweltverträglichkeitsprüfung. - Enquete am Institut für Botanik der Universität Innsbruck, 18. März 1988. Veröff. Universität Innsbruck 165.
- CERNUSCA A., 1989: Zur Schneestruktur beschneiter Flächen - Einflußfaktoren und ökologische Auswirkungen auf Vegetation und Boden im Pistenbereich. - Motor im Schnee 5/89: 13-16.
- CERNUSCA A., DECKER P., 1984: Respiratorische Kohlenstoffverluste und Kohlenstoffbilanz einer alpinen Grasheide. - Verh. Ges. f. Ökologie (Göttingen 1984): 73-88.
- GEIGER R., 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht. - F. Vieweg, Braunschweig 1961.
- KAMMER P., 1989: Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation. Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Savognin, Graubünden (Schweiz). - Lizentiatsarbeit am Systematisch-geobotanischen Institut, Universität Bern.
- KÖRNER CH., WIESER G., CERNUSCA A., 1989: Der Wasserhaushalt waldfreier Gebiete in den österreichischen Alpen zwischen 600 und 2600 m Höhe. - In: CERNUSCA, A. (ed.): Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern. Veröff. Österr. MaB-Programm, Bd. 13, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck: 119-154.
- LACKINGER B., 1985: Entstehung und Ablagerung des Schnees. - In: GABL, K., LACKINGER, B. (eds.): Lawinenhandbuch, Tyrolia Innsbruck: 39-43.
- LARCHER W., 1985: Kälte und Frost. - In: SORAUER, R. (Begr.): Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 7. Aufl. 1 (Lfg. 5). Bary, Berlin 1985.
- MOSIMANN Th., 1987: Schneeanlagen in der Schweiz. Aktueller Stand - Umwelteinflüsse - Empfehlungen. - Materialien zur Physiogeographie, 10, Basel 1987.
- NEWESELY CH., 1989: Entwicklung und Erprobung von Meßmethoden zur Messung der Schneestruktur und des Temperaturverlaufes unter Schneedecken. - Diplomarbeit, Institut für Botanik, Universität Innsbruck 1989.

ADRESSE

Univ.- Prof. Dr. A. Cernusca,
 Mag. H. Angerer,
 Mag. Ch. Newesely,
 Dr. U. Tappeiner
 Institut für Botanik
 Sternwartestraße 15
 A-6020 Innsbruck
 ÖSTERREICH

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: [19_2_1990](#)

Autor(en)/Author(s): Cernusca Alexander, Angerer Herbert, Newesely Christian, Tappeiner Ulrike

Artikel/Article: [Ökologische Auswirkungen von Kunstschnee - eine Kausalanalyse der Belastungsfaktoren 746-757](#)