

Entstehung und Auswirkung von Sauerstoffmangel im Bereich unterschiedlich präparierter Schipisten

Christian Newesely, Alexander Cernusca und Maria Bodner

Synopsis

In late winter oxygen deficiency occurs frequently in the soil below prepared ski slopes. In the present study it was investigated firstly if and how this oxygen deficiency affects the plants growing there and, secondly, what is the cause for occurrence of this oxygen deficiency. The investigations of a number of plant species, which are characteristic for the vegetation of ski slopes, showed that the combination of oxygen deficiency and low temperatures seriously damages the plants and in some cases even causes the death of individuals. As cause for the oxygen deficiency processes could be recognised which are related to the preparation of the ski slopes. The preparation of a wet snow-cover implies the pressing of free water in the pores into the lower layers of the snow, which are still very cold, thus causing the formation of compact layers of ice at the soil surface. This ice-layer inhibits a supply of oxygen into the soil.

*Kunstschnee, Bodensauerstoff-Konzentration, Schipisten.
Artificial snow, soil oxygen concentration, skiing-area.*

1. Einleitung

Durch intensiven Schibetrieb wird die Vegetation im Pistenbereich stark belastet. Eine genaue Aufstellung der Belastungsfaktoren und deren Folgen sind in CERNUSCA & al. (1989) dargestellt. Die Verdichtung der Schneedecke bei der Präparierung mittels Pistengeräten fördert die Entstehung von Eisschichten. Stark verdichtete Schneedecken sind vor allem im Bereich künstlich beschneiter Pisten festzustellen. Durch die Verdichtung der Schneedecke wird die thermische Isolationsfähigkeit verringert, was ein Durchfrieren des Bodens begünstigt (CERNUSCA & al. 1989). Die schlechtere thermische Isolationsfähigkeit führt auch zu starken Schwankungen der Bodentemperatur, insbesondere der Temperatur an der Bodenoberfläche. Im Temperaturbereich um 0°C bedingt dies ein wiederholtes Frieren und Auftauen; es treten Wechselfrosterscheinungen auf. Die Verdichtung der Schneedecke bei der Präparierung führt zu Eisbildungen an der Bodenoberfläche, die das Auftreten von Sauerstoffmangel, sowie die CO₂-Anreicherung im Boden fördern. Sauerstoffmangel führt zu einem verstärkten Befall von Schneeschimmel. Die zunehmend anaeroben Bedingungen im Boden können das Faulen der Pflanzen bewirken. Die verdichtete Schneedecke schmilzt langsamer ab, so daß es zu einem verspäteten Ausapern der Pistenflächen kommt. Die Produktionszeit verkürzt sich. Alle diese Punkte können zu Ertragseinbußen für die Landwirtschaft, sowie zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung auf den betroffenen Flächen führen (KAMMER & HEGG 1989).

Im Rahmen dieser Arbeit soll speziell die Frage behandelt werden, wie sich ein im Schipistenbereich auftretender Sauerstoffmangel auf die Vegetation im Pistenbereich auswirkt und welche Faktoren für das Auftreten dieses Sauerstoffmangels verantwortlich sind.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsflächen

Die Untersuchungen erfolgten in Tirol in den Schigebieten Gschwandtkopf bei Seefeld, Patscherkofel bei Innsbruck und Steinplatte bei Waidring, in Salzburg im Schigebiet Schmittenhöhe bei Zell am See sowie im Schigebiet Monte Bondone in Trient (I). 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. In den einzelnen Schigebieten lagen die unterschiedlich präparierten Versuchsflächen (nicht befahrene Referenzfläche, herkömmlich präparierte nicht beschneite Piste, künstlich beschneite Piste) ähnlich exponiert nahe nebeneinander, so daß ein unmittelbarer Vergleich möglich war. Ein Großteil der in den Schigebieten Gschwandtkopf, Patscherkofel und Schmittenhöhe 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 Ah-Horizont, der unmittelbar in den C- bzw. Cv-Horizont übergeht. Der Boden der Pisten im Schigebiet Monte Bondone war zumeist über 50 cm mächtig. Planierungen erfolgten nur im Randbereich der Pisten im Verlauf der Errichtung der Beschneiungsanlage. Im Schigebiet Steinplatte lag von den 4 Versuchsflächen eine im Bereich einer planierten Schipiste. Diese Planierung wurde erst wenige Jahre vor den Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde der Oberboden mit dem Untergrundgestein durchmischt. Der Deckungsgrad auf dieser Fläche betrug weniger als 50%.

2.2 Methoden

An jeder Versuchsfläche wurde die Lufttemperatur in 2 m Höhe, sowie die Bodentemperatur in 0, 5, 10, 20 und 40 cm Tiefe kontinuierlich registriert (vgl. dazu CERNUSCA 1985). Der Aufbau der Schneedecke (Schneehöhe, Kristallform und -größe, Schneedichte, Schneehärte, Schneefeuchtigkeit) wurde in Zeitintervallen von sieben bis vierzehn Tagen im Profil aufgenommen. Außerdem wurden mit einem computergesteuerten Meßsystem (CERNUSCA 1991) die Sauerstoffkonzentration und die Kohlendioxidkonzentration unter der Schneedecke gemessen. Die Gasproben wurden mittels einer Pumpe (10 l h^{-1}) über Schlauchleitungen (10 m Länge) aus Meßküvetten angesaugt, 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 (CERNUSCA & al. 1989). Um die Auswirkungen von Sauerstoffmangel in Kombination mit Frosteinwirkungen auf Pflanzen im Pistenbereich zu analysieren, wurden verschiedene Pflanzenarten in unterschiedlich präparierten Pistenbereichen im Schigebiet Patscherkofel untersucht. Dazu wurden im Sommer ca. 1000 intakte Pflanzen aus der Piste entnommen, in Töpfe verpflanzt und anschließend wieder am Entnahmeplatz in der Piste und in der ungestörten Umgebung (Referenzflächen) exponiert. Untersucht wurden *Trifolium repens* (kriechender Weißklee), *Ranunculus acris* (scharfer Hahnenfuß), *Potentilla aurea* (Goldfingerkraut) und *Phleum pratense* (Wiesenlieschgras). Im Verlauf des Winters wurden dann diese Pflanzentöpfe aus dem Gelände entnommen und im Labor in Innsbruck streßphysiologisch untersucht. Im Labor wurde das ausgewählte Pflanzenmaterial zunächst eingehend auf Schäden begutachtet und anschließend in Kühltruhen bei Temperaturen von -5°C , $-7,5^\circ\text{C}$, -10°C , $-12,5^\circ\text{C}$, -15°C , $-17,5^\circ\text{C}$, -20°C , $-22,5^\circ\text{C}$ und -25°C für 24 Stunden gefrostet. Anschließend wurde unter Anwendung der TTC-Methode festgestellt, bis zu welchem Prozentsatz verschiedene Pflanzenteile durch die Frosteinwirkung geschädigt waren. Außerdem wurde die Regenerationsfähigkeit der geschädigten Pflanzen untersucht.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Schädigung der Vegetation durch Sauerstoffmangel und Frosteinwirkung

Pflanzenphysiologische Untersuchungen verschiedener Autoren (siehe Literaturverzeichnis bei SAKAI & LARCHER 1987) haben gezeigt, daß ein direkter Zusammenhang zwischen Frostempfindlichkeit und Sauerstoffmangel gegeben ist. Inwieweit das Zusammenwirken der beiden Streßfaktoren Sauerstoffmangel und niedrige Temperaturen tatsächlich zu einer Schädigung an Pflanzen im Pistenbereich führen kann, wurde im Zeitraum 1989-93 im Schigebiet Patscherkofel bei Innsbruck untersucht. Für diese streßphysiologischen Untersuchungen wurden vor allem jene Pflanzenarten ausgewählt, die im Bereich der untersuchten Schipisten gehäuft vorkommen.

Abbildung 1 zeigt Ergebnisse von Untersuchungen der Frostresistenz am Beispiel von *Trifolium repens*. Die Kurvenverläufe stellen den Zusammenhang zwischen Frosttemperatur und Schädigungsgrad dar. Die Pflanzen wurden jeweils am 15. März 1990 bzw. 1991 aus der Piste entnommen und anschließend Temperaturen zwischen -5°C und -25°C für 24 Stunden ausgesetzt. Im Jahr 1990 war das Pflanzenmaterial in der Schipiste Sauerstoffmangel ausgesetzt, wogegen im Winter 1991 wegen der geringen Schneehöhe im Pistenbereich am Patscherkofel kein Sauerstoffmangel auftrat. Die Bodenoberflächentemperaturen lagen in beiden Wintersaisons zwischen -3°C und -13°C . Die vorläufigen Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, daß in der Wintersaison 1989/90 Sauerstoffmangel kombiniert mit tiefen Temperaturen im Bereich der untersuchten Pflanzen auftrat und daß in diesem Jahr die aktuelle Frostresistenz deutlich herabgesetzt war. In der Wintersaison 1990/91 waren die untersuchten Pflanzen dagegen keinem Sauerstoffmangel ausgesetzt, da eine Vereisung der Schneedecke wegen der geringen Schneehöhe nicht gegeben war. Weder Sproß noch Wurzeln von *Trifolium repens* zeigten bis zu Temperaturen von -10°C eine Schädigung.

Messungen am 3. April 1990 ergaben im Pistenbereich Sauerstoffkonzentrationen von nur 2 Vol%. Pflanzenproben, die zu diesem Zeitpunkt entnommen wurden, waren stark geschädigt (siehe Abb. 1). Auch wenn zu erwarten ist, daß im April die Frostresistenz wegen der Frühjahrsaktivität der Pflanzen niedriger liegt, so dürften doch bei -5°C die untersuchten Pflanzen nicht geschädigt sein. Weitere Untersuchungen in den Wintern 1991/92 und 1992/93 zeigten keinen Sauerstoffstreß. Schäden am Pflanzenmaterial konnten keine festgestellt werden.

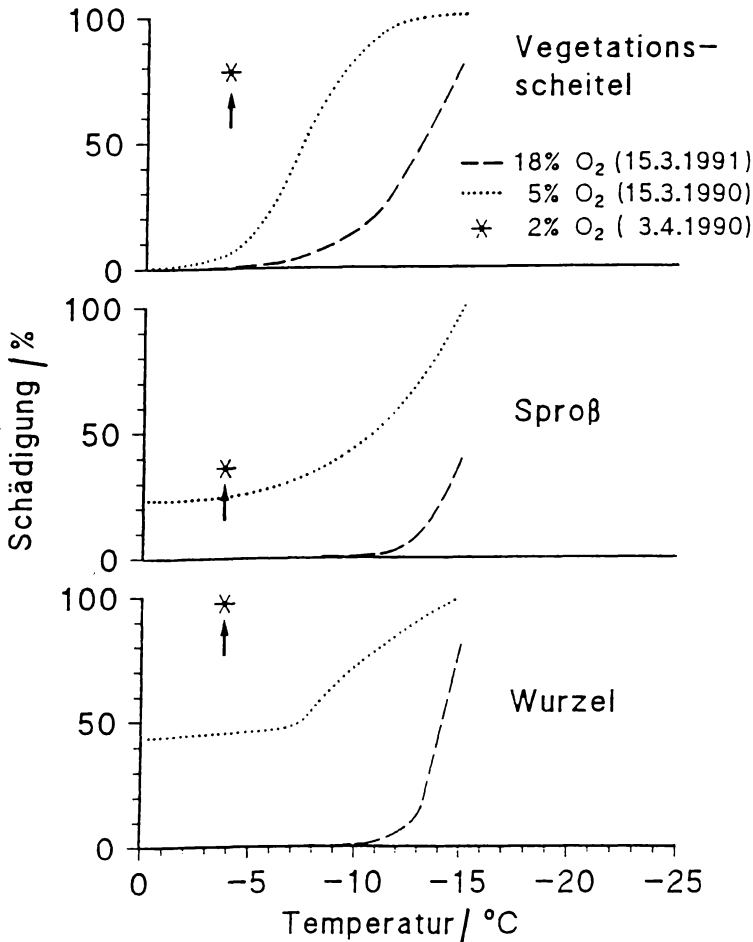


Abb 1: Verlauf der Frostschädigung von *Trifolium repens* unter Sauerstoffmangel in Abhängigkeit zur Temperatur. Die Pflanzen wurden der Schipiste am Patscherkofel entnommen. Der mit dem Pfeil markierte Schädigungsgrad wurde an Pflanzenproben festgestellt, die am 3. April 1990 bei einer Sauerstoffkonzentration von nur 2 Vol% aus der Piste entnommen wurden. Auch wenn zu erwarten ist, daß im April die Frostresistenz wegen der Frühjahrsaktivität der Pflanzen niedriger liegt, so dürften doch bei -5°C die untersuchten Pflanzen nicht geschädigt sein.

Fig. 1: Course of frost damage of *Trifolium repens* under lack of oxygen in response to temperature. The plants were taken from the ski slope of Mt. Patscherkofel. The degree of damage (marked by the arrow) was observed for plants which were sampled on 3 April 1990 at an oxygen concentration in the ski slope of only 2 vol%. Even though it can be assumed that in April the plants' frost resistance is lower, due to their spring activity, the plants were probably not damaged at -5°C .

3.1 Ursache für den Sauerstoffmangel unter präparierten Schipisten

Untersuchungen der Schneestruktur auf unterschiedlich präparierten Schipisten haben gezeigt, daß die Ursache für Sauerstoffmangel eine massive Vereisung der Bodenoberfläche bei nicht gefrorenem Boden ist. Auffallend ist, daß diese Vereisung sowohl auf konventionell präparierten Pisten, als auch auf Kunstschnepisten auftreten. Auf Kunstschnepisten setzt diese Vereisung jedoch meist erheblich früher ein. Auch die Dicke dieser Eisschichten ist oft erheblich größer.

Als Ursache für die Ausbildung dieser Eisschichten liegt in der Art der Präparierung mittels Pistengeräten. Die Vorgänge, die zur Entstehung der Eisschichten führen, sollen Anhand der Abbildung 2 erläutert werden. Darin werden die Bedingungen während der drei charakteristischen Zeitabschnitte Hochwinter, Spätwinter und Abschmelzperiode dargestellt.

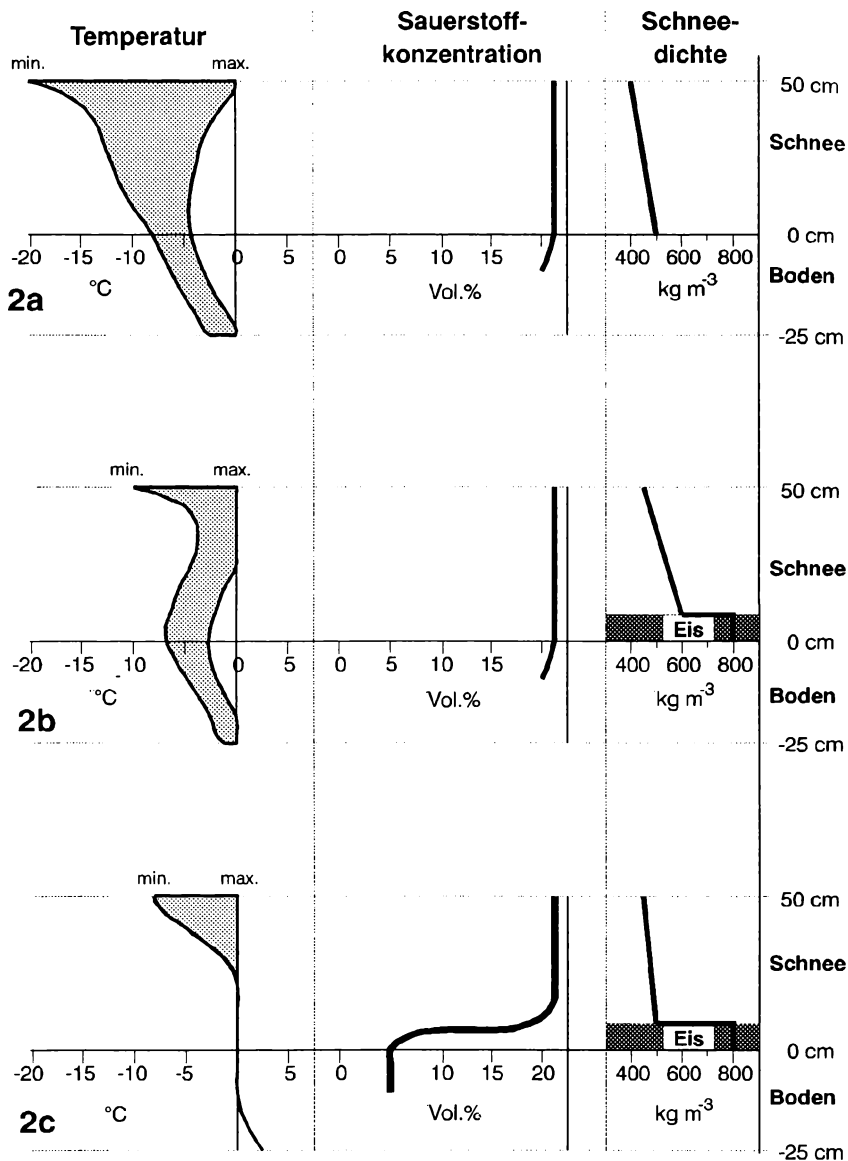


Abb 2: Schematischer Überblick der Entstehung von Sauerstoffmangel unter präparierten Schipisten: Die drei Teildiagramme zeigen jeweils die Minima und Maxima der Temperaturen in der Schneedecke und im Boden, den Verlauf der Sauerstoffkonzentration von der Schneeoberfläche bis in die obersten 5 cm des Bodens, sowie die Schneedichte und eventuell auftretende Bodenvereisungen zu den charakteristischen Zeitperioden: Hochwinter (Abb. 2a), Spätwinter (Abb. 2b) und Abschmelzperiode (Abb. 2c).

Fig. 2: Schematic view of the development of oxygen-deficiency under prepared ski slopes. The three parts of the diagram show the minima and maxima of the temperature in the snow cover and in the soil, the profiles of the oxygen concentration from the snow surface to the upper 5 cm of the soil, as well as the volumetric weight of the snow and the possible occurrence of ice at the soil surface at the characteristic periods winter (Fig. 2a), late winter (Fig. 2b) and snow melting period (Fig. 2c).

Hochwinter (Abb. 2a)

Die Schwankungsbreite der Temperaturen ist während dieser Periode am größten. An warmen Tagen können Werte an der Schneeoberfläche nahe dem Gefrierpunkt gemessen werden. In der Nacht und an kalten Tagen sinkt die Oberflächentemperatur häufig unter -10°C . Nach unten steigt die Temperatur an. Der Boden ist jedoch in den obersten Zentimetern meist gefroren. Während dieser Periode weist die Schneedecke eine krümelige Struktur auf. Zwischen den einzelnen Eiskristallen befinden sich luftgefüllte Hohlräume. Durch diese Hohlräume ist eine gute Luftdurchlässigkeit der Schneedecke gegeben. Weiter ist zu beobachten, daß die Dichte des Schnees in den oberen Schichten etwa 400 kg m^{-3} beträgt und nach unten hin bis etwa 500 kg m^{-3} zunimmt.

Spätwinter (Abb. 2b)

Mit Beginn der Frühjahrserwärmung, meist zwischen Mitte Februar und Mitte März, kommt es wegen der höheren Lufttemperaturen zu einer Erwärmung der Schneedecke von oben her. Die Wärmemenge reicht jedoch nicht aus um auch die tieferliegenden Schneeschichten stark zu erwärmen. Gleichzeitig erwärmt sich der Boden von unten nach oben, wobei die Bodenoberfläche jedoch weiterhin gefroren bleibt. Untersuchungen der Schneestruktur haben gezeigt, daß diese Erwärmung zu einem teilweisen Schmelzen des Schnees in den obersten Schichten führt. Es bildet sich freies Wasser in der Schneedecke. Unter natürlichen Bedingungen sickert dieses Wasser zumeist nur geringfügig nach unten und bleibt in den Poren der oberen Schneeschichten gebunden. Dort friert es während der Nacht wieder aus. Es bildet sich eine sogenannte Harschschicht aus. Ganz anders sieht es unter dem Einfluß der Präparierung einer derart durchfeuchteten Schneedecke aus. Das Wasser, das sich in den Poren zwischen den Eiskristallen angesammelt hat, wirkt wie ein Schmiermittel. Während der Präparierung gleiten die Eiskristalle sehr leicht aneinander; die Poren werden zusammengedrückt; die Dichte des Schnees nimmt auf über 600 kg m^{-3} zu. Das Wasser, das die Poren zuvor noch gefüllt hatte wird nach unten, in tiefere Schneeschichten gepreßt. Im Verlauf der wiederholten Präparierung wird es immer weiter nach unten gedrückt, und erreicht so die noch kalten Schneeschichten an der Bodenoberfläche. Da ein weiteres Versickern des Wassers in den Boden aufgrund der gefrorenen Bodenoberfläche nicht möglich ist, staut sich das Wasser und füllt die Poren dieser untersten Schneeschicht. Aufgrund der noch tiefen Temperaturen friert es mit dem Schnee zu einer kompakten Eisschicht zusammen. Diese Eisschicht ist nahezu luftundurchlässig (CERNUSCA & al. 1989). Sauerstoffkonzentrationen, die zu den beobachteten Schäden an den Pflanzen führen, können zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht festgestellt werden.

Abschmelzperiode (Abb. 2c)

Die Temperatur der Schneedecke beträgt durchgehend etwa 0°C . Nur in den obersten Schneeschichten lassen sich tageszeitliche Schwankungen der Schneetemperatur feststellen. Auch im Boden sind die Temperaturen soweit angestiegen, daß auch die Bodenoberfläche nicht mehr gefroren ist. Die Schneedecke ist stark durchfeuchtet, die Vereisung der Bodenoberfläche ist sehr kompakt. Das durchsickernde Schmelzwasser fließt über dieser Eisschicht ab. Durch die Erwärmung des Bodens beschleunigt sich der Stoffwechsel der Bodenorganismen. Dadurch wird der im Boden vorhandene Sauerstoff aufgebraucht. Die massive Eisschicht an der Bodenoberfläche behindert jedoch den Gasaustausch mit der Atmosphäre sehr stark, so daß der veratmete Sauerstoff kaum mehr ersetzt werden kann. Dies führt zu einem Sauerstoffdefizit, wobei Konzentrationen von unter 5 Vol% gemessen wurden.

Das oben beschriebene Schema der Entstehung von Sauerstoffmangel gilt sowohl für Kunstschnee als auch für konventionell präparierte Pisten. Ausschlaggebend dabei ist nur die Art der Präparierung! Auf Kunstschneepisten führt die, oft um Wochen verzögerte Ausaperung jedoch dazu, daß der Sauerstoffmangel erheblich länger bestehen bleibt und sich in eine Zeitperiode im späten Frühjahr verschiebt, in der die natürliche Aktivität der Pflanzen verstärkt einsetzt.

Im Rahmen der langjährigen Untersuchungen wurden auch Pistenflächen untersucht, auf denen der Boden bei kurz zuvor durchgeführten Planierung zerstört wurde. Dabei zeigte es sich, daß es auf diesen Flächen zu keinem gefährlichen Sauerstoffmangel gekommen ist obwohl auch hier der aufgetaute Boden von einer kompakten Eisschicht bedeckt war. Die Erklärung liegt darin, daß der im Boden vorhandene Sauerstoff nicht verbraucht wurde, da das Bodenleben bei der Planierung nachhaltig geschädigt wurde.

4. Schlußfolgerungen für die Praxis

Die Untersuchungen in einer Reihe von Schigebieten haben gezeigt, daß Sauerstoffmangel unter präparierten Schipisten nur dann auftritt, wenn sich über aufgetautem Boden eine kompakte Eisschicht befindet. Dies zeigt, daß es von größter Wichtigkeit ist, die Entstehung derartiger Eisschichten zu verhindern. Generell bedeutet

dies, daß auf die Präparierung durchfeuchteter Schneedecken grundsätzlich verzichtet werden sollte. Als Konsequenz für die Praxis ergibt sich, daß die Präparierung der Schipisten nicht am späten Nachmittag bis Abend, sondern am frühen Morgen erfolgen sollte. Zu diesem Zeitpunkt ist das Schmelzwasser des vergangenen Tages in der Regel in den oberen Schneeschichten gefroren, so daß es nicht nach unten ausgepreßt werden kann. In diesem Fall würden die oberen Schneeschichten bei der Präparierung wieder aufgelockert, und für den Schifahrer gefährliche Vereisungen der Schipisten könnten vermindert werden.

Literatur

- CERNUSCA, A., 1985: Der Einsatz von Taschencomputern für Programmgesteuerte Datenerfassung, Auswertung und Versuchsüberwachung in der Ökologie. - Verh. Ges. Ökol. 13: 369-377.
- CERNUSCA, A., ANGERER, H., NEWESLY, CH. & U. TAPPEINER, 1989: Ökologische Auswirkungen von Kunstschnee - Eine Kausalanalyse der Belastungsfaktoren. - Verh. Ges. Ökol. 19: 746-757.
- CERNUSCA, A., 1991: Meßsystem zur Analyse der Sauerstoff- und CO₂-Konzentration unter Schipisten. - In: WIESER, W. & A. CERNUSCA, 1991: Entwicklung und Einsatz neuer wissenschaftlicher Geräte und Methoden. - Veröffentlichungen der Universität Innsbruck Nr. 181: 35-39.
- KAMMER, P. & O. HEGG, 1989: Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation. - Verh. Ges. Ökol. 19: 758-767.
- SAKAI, A. & W. LARCHER, 1987: Frost Survival of Plants. Responses and Adaptation to Freezing Stress. - Ecological Studies 62, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York: 321 pS.

Adresse

Mag. Ch. Newesely, Univ.-Prof. Dr. A. Cernusca, Dr. Maria Bodner, Institut für Botanik, Sternwartestraße 15, A-6020 Innsbruck.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [23_1994](#)

Autor(en)/Author(s): Newesely Christian, Cernusca Alexander, Bodner Maria

Artikel/Article: [Entstehung und Auswirkung von Sauerstoffmangel im Bereich unterschiedlich präparierter Schipisten 277-282](#)