©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Laufener Seminarbeitr. 6/99, S. 29 - 38 • Bayer. Akad. f. Naturschutz u. Landschaftspflege – Laufen / Salzach 1999

Auswirkungen der künstlichen Beschneiung von Schipisten auf die Umwelt

Christian NEWESELY und Alexander CERNUSCA

1. Einleitung

Im gesamten Alpenbogen sind über 1 000 km^2 Schipisten und über 10 000 Liftanlagen in Betrieb. In Österreich alleine sind es 3 100. Um den Schibetrieb auch in schneearmen Wintern aufrecht zu erhalten, werden und wurden in vielen Schigebieten Beschneiungsanlagen errichtet. Zur Zeit sind in Europa mehr als 540 derartige Anlagen in Betrieb. Alleine in Österreich stehen 300. Im Zeitraum 1990 bis 1996 hat sich die Anzahl der Beschneiungsanlagen mehr als verdoppelt. Im österreichischen Bundesland Tirol wurden im Jahr 1997 15 km^2 Pistenfläche mit 107 Beschneiungsanlagen beschneit. Dies entspricht etwa 15% der gesamten Pistenfläche. Mit der Zunahme der Beschneiungsanlagen ist auch die Diskussion über die ökologische Verträglichkeit dieser Anlagen gewachsen. Die Befürworter weisen darauf hin, daß für die künstliche Beschneiung ausschließlich Luft und Wasser verwendet werden. Das zusätzliche Wasser soll sich, nach Ansicht der Befürworter, sogar positiv auf das Wachstum der Pflanzen auswirken. Warnende Stimmen von Naturwissenschaftlern, die negativen Auswirkungen der Beschneiung nicht zu übersehen, werden meist erst dann wahrgenommen, wenn Schäden aufgetreten sind und eine Sanierung ansteht.

Dieser Beitrag soll die Auswirkungen der künstlichen Beschneiung auf das Ökosystem, auf der Grundlage der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse, erläutern. Dabei muß zwischen lokalen und regionalen Auswirkungen unterschieden werden.

2. Lokale Auswirkungen

Unter lokal versteht man einerseits jede direkte Auswirkung auf die Schipiste, andererseits aber auch die Auswirkungen auf jene Gebiete, die indirekt von der Beschneiung betroffen sind. Die folgende Aufstellung soll die lokalen Auswirkungen zusammenfassen.

- Auswirkungen auf Vegetation und Boden im Beschneiungsbereich
- Wasserversorgung:
  Chemismus des Wassers (Gehalt an Mineralstoffen), Limnologie und Hydrologie (Restwassermenge in angezapften Bächen, Speicherteiche)
- Wasserabfluß:
  Hydrogeomorphologie (erhöhte Schmelzwassermenge, Durchfeuchtung angrenzender Hänge)
- Auswirkungen auf angrenzende Waldökosysteme
- Auswirkungen auf das Wild
- Lärm

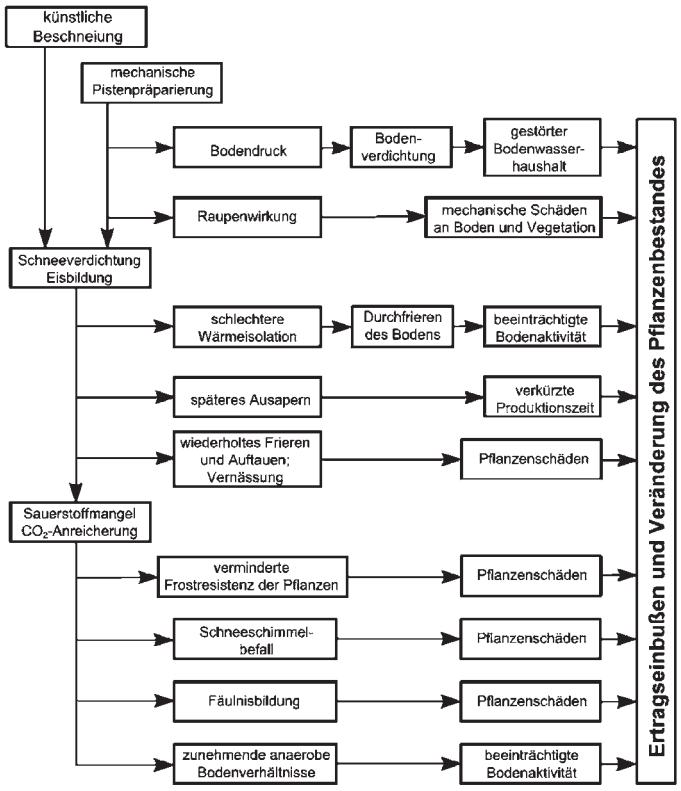

Abbildung 1

Schematische Darstellung der Wirkzusammenhänge, die bei mechanischer Pistenpräparierung und dem Einsatz von Kunstschnee zu Einschränkungen der pflanzlichen Stoffproduktion und zu Vegetationsveränderungen führen (nach CERNUSCA 1986)**.**

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Die ökologischen Auswirkungen sollen nun genauer dargestellt werden.

2.1 Auswirkungen auf Vegetation und Boden im Beschneiungsbereich

Zahlreiche Untersuchungen (NEWESELY 1997, CERNUSCA 1986) haben gezeigt, daß sich der intensive Schibetrieb sowohl auf den Boden als auch auf die Vegetation belastend auswirkt. Eine Zusammenfassung der Belastungsfaktoren zeigt Abbildung 1. Die Folgen der Belastung lassen sich dabei grundsätzlich in direkt und indirekt gliedern.

2.1.1 Direkte ökologische Auswirkungen

Direkte Belastungen sind die unmittelbare Folge der Präparierung und des Schibetriebs. Im Bereich herkömmlich präparierter Pisten überwiegen bei geringer Schneehöhe die mechanischen Schäden durch die Kanten der Schier und die Gleisstege der Pistengeräte. Diese mechanischen Schäden sind zwar tiefgreifend, zumeist jedoch lokal auf Kuppen und windexponierte Stellen begrenzt. Als Folge der größeren Schneehöhe können mechanische Schäden auf beschneiten Pisten weitgehend verhindert werden. Einen weiteren direkten Belastungsfaktor stellt die Bodenverdichtung als Folge der Präparierung mit schweren Pistengeräten dar. Die Bodenverdichtung führt zu einem Verlust des Porenraums im Boden und beeinflußt damit den Wasserhaushalt der Schipisten (CERNUSCA et. al. 1990 a). Die Auswirkungen der Bodenverdichtung werden durch die Beschneiung jedoch nicht beeinflußt.

2.1.2 Indirekte ökologische Auswirkungen

Weitaus stärker als die direkten Belastungsfaktoren sind die indirekten Belastungsfaktoren. Diese Belastungen wirken sich auf die gesamte Schipiste aus und sind nicht auf kleinere Bereiche der Pisten beschränkt. Als für das Ökosystem wichtigste indirekte Belastungsfaktoren sind der Bodenfrost, die verkürzte Produktionszeit und die durch die Schneeverdichtung bedingte Reduktion der Luftdurchlässigkeit der Schneedecke zu nennen. Eine verdichtete Schneedecke hat einen viel geringeren Anteil an Luftporen als eine natürliche Schneedecke (NEWESELY 1997). Dadurch wird die thermische Isolationsfähigkeit der Schneedecke stark reduziert. Als Folge davon kann der Frost tief in den Boden eindringen. Die tiefen Temperaturen einerseits und Wechselfrosterscheinungen andererseits stellen eine erhebliche Belastung für die Vegetation auf den Schipisten dar. Durch die größere Schneehöhe wird dieser Effekt auf beschneiten Pisten etwas verringert. In Abbildung 2 (aus NEWESELY 1987) ist der Zusammenhang zwischen Bodenfrost und Schneehöhe für unterschiedliche Schneedichten dargestellt. Die Daten für dieses Diagramm stammen aus den Schigebieten Gschwandtkopf / Seefeld (A) (1986-1989), Schmittenhöhe / Zell am See (A) (1988-91), Monte Bondone / Trient (I) (1991-92), Patscherkofel / Innsbruck (A) (1989-1991) und Steinplatte / Waidring (A) (1987-1989). In dieses Diagramm wurden jeweils die Schneehöhe und die Schneedichte eingetragen, die während der kältesten Periode im jeweiligen Winter gemessen wurden. Dabei wurden die Punkte je nach der Bodentemperatur, die in diesem Zeitraum auf den Flächen gemessen wurde, mit unterschiedlichen Symbolen dargestellt. Sterne zeigen, daß der Boden unter der Schneedecke kälter als -1° C war. Kreise zeigen, daß die Bodentemperatur nur wenige 1/10° C unter 0° C lag. Um zu erkennen, welche Beziehung zwischen diesen Daten und der Temperaturleitfähigkeit der Schneedecke besteht, wurden die Isolinien, die den Zusammenhang zwischen unterschiedlicher Temperaturleitfähigkeit, Schneehöhe und Schneedichte darstellen, dem Diagramm hinzugefügt. Die Temperaturleitfähigkeit stellt den Quotienten aus Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der jeweiligen Schneedecke dar. Deutlich ist zu erkennen, daß die Isolinie, die einer Temperaturleitfähigkeit von 2 µW J^{-1} entspricht, eine Grenze zwischen den Sternen und den Kreisen darstellt. Das bedeutet, daß eine Schneedecke mit einer Temperaturleitfähigkeit über 2 µW J^{-1} das tiefe Frieren des Bodens begünstigt, bei einer Temperaturleitfähigkeit unter diesem Wert jedoch nur geringer oder kein Bodenfrost auftritt. Auch wenn diese Art der Auswertung rein empirisch ist, läßt sich aus den Werten doch eine Tendenz ablesen. So ist der Boden unter einer präparierten Schipiste mit einer Schneedichte von 500 kg m^{-3} erst ab einer Schneehöhe von mehr als 60 cm vor tiefem Bodenfrost geschützt. Bei einer lockeren Naturschneedecke mit einer Dichte von 200 kg m^{-3} reicht dagegen eine Schneehöhe von 40 cm aus.

Der Schnee ist auf künstlich beschneiten Pisten im Schnitt um 5-30% dichter als der präparierte Schnee auf konventionell präparierten Schipisten (NEWESELY 1997). Diese Prozentzahlen werden auch von KÜRY (1987, zitiert bei MOSIMANN 1987) genannt. Um eine entsprechende Wärmeisolationsfähigkeit der Schneedecke zu erreichen, muß die Schneehöhe auf beschneiten Pisten größer sein. Als Ursache für die größere Schneedichte konnten zwei Faktoren erkannt werden. Der künstlich erzeugte Schnee hat meist einen sehr hohen Anteil an freiem Wasser, was die Verdichtung des Schnees aufgrund der Schmierwirkung des Wassers fördert. Außerdem werden mit Schneekanonen keine stark gegliederten Schneekristalle erzeugt, sondern eher kleine Eiskugeln. Diese Eiskugeln lagern sich unmittelbar während der Beschneiung in sehr dichten Schichten ab (NEWESELY 1997). Die während der Beschneiung oder auch unmittelbar nach der Beschneiung durchgeführte Präparierung fördert das Entstehen sehr dichter Schneedecken noch weiter.

Besonders ungünstig ist dabei, daß durch die Verdichtung der feuchten Schneedecke massive Eisschichten an der Bodenoberfläche entstehen (CERNUSCA et. al. 1989, NEWESELY et. al. 1994).

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

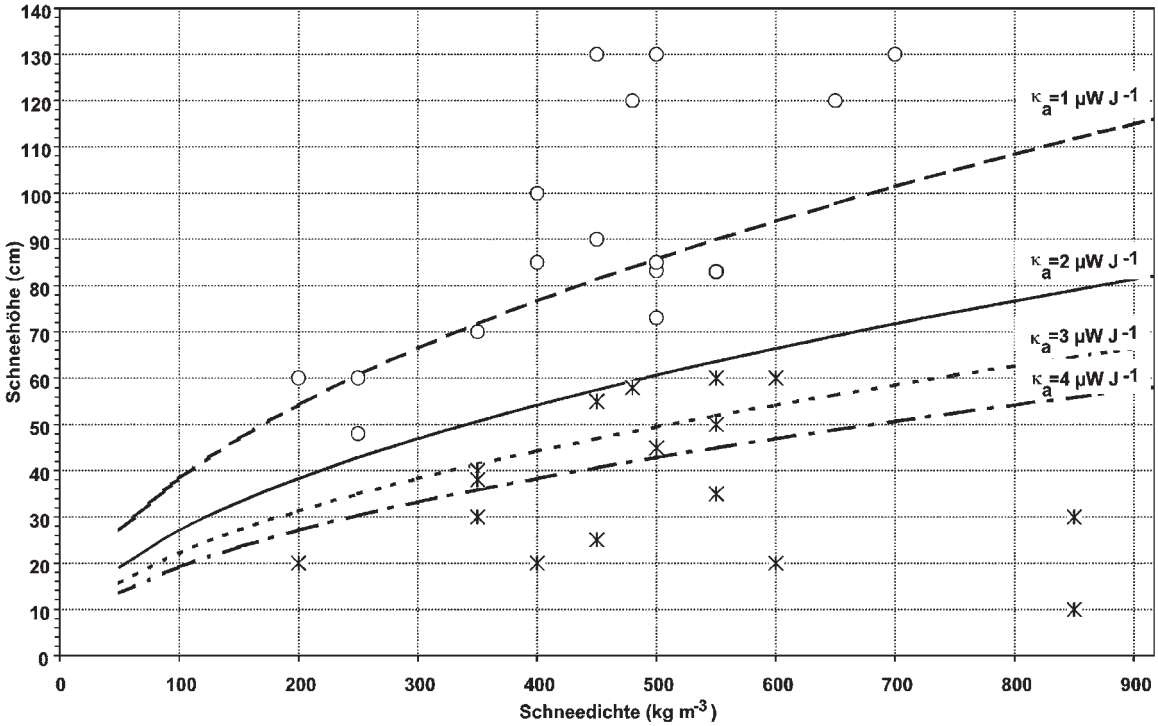

Abbildung 2

Zusammenhang zwischen Schneedichte und Schneehöhe bei verschiedenen Temperaturleitfähigkeiten (ka). Die Sterne stellen die Werte für Schneedecken dar, unter denen die Bodentemperatur unter -1°C gesunken ist. Die Kreise stellen die Werte für Schneedecken dar, unter denen die Bodentemperatur nicht unter -0,2°C gesunken ist (aus NEWESELY 1997)**.**

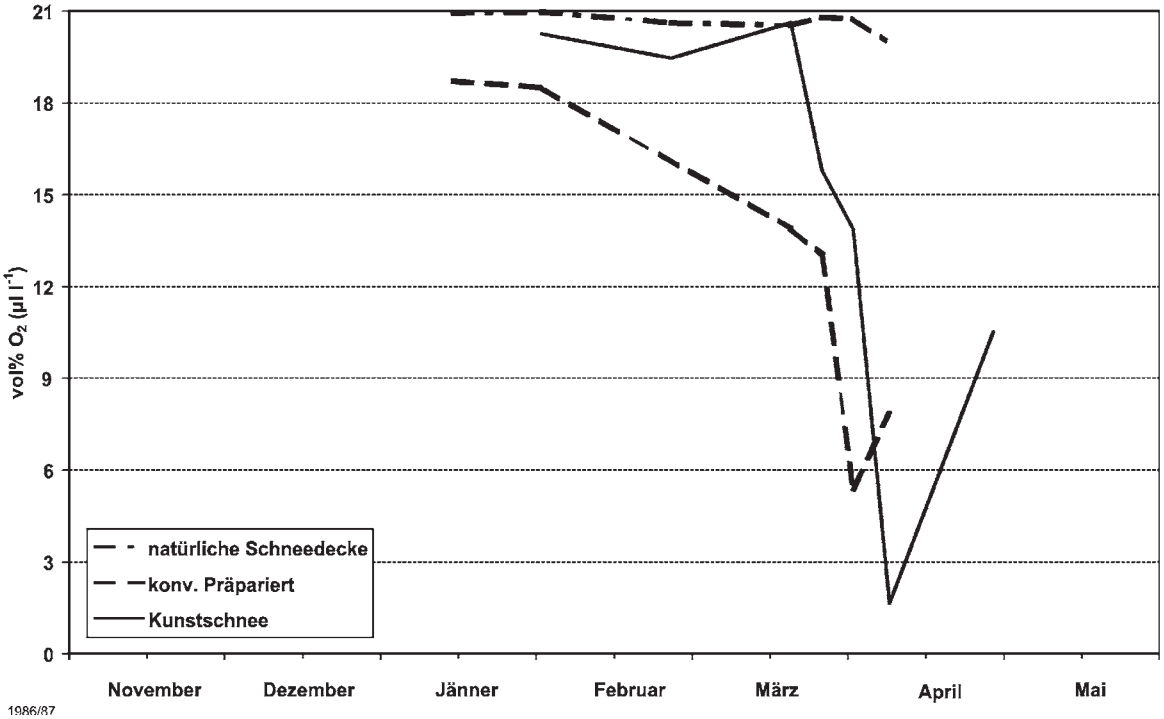

Abbildung 3

Verlauf der Sauerstoffkonzentration an der Bodenoberfläche im Vergleich zwischen der konventionell präparierten Schipiste, der Kunstschneepiste und dem ungestörten Gelände am Rand der Schipiste (aus NEWESELY 1997)**.**

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

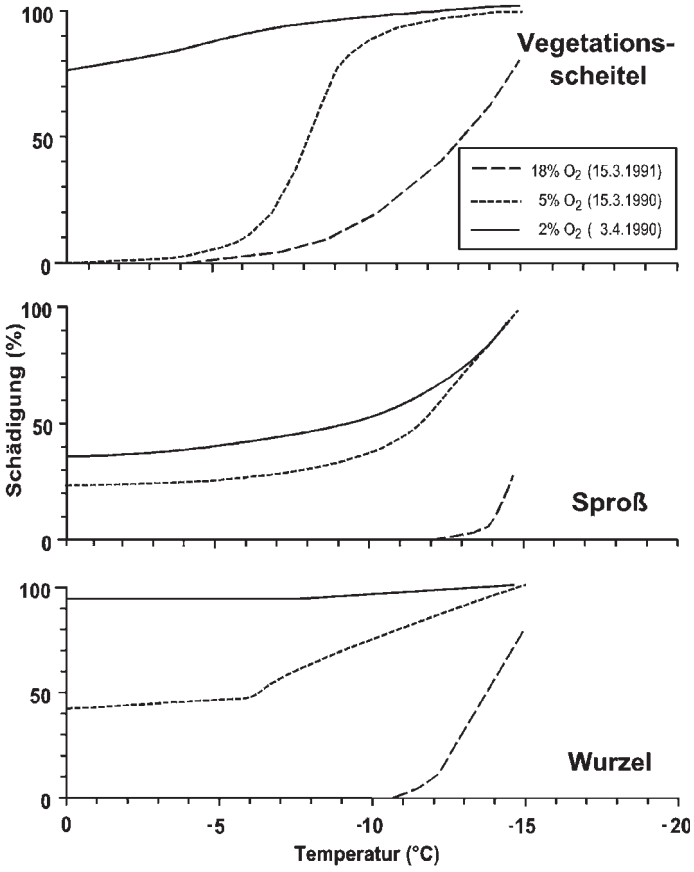

Abbildung 4

Verlauf der Frostschädigung von *Trifolium repens* unter Sauerstoffmangel in Abhängigkeit zur Temperatur.
Die Pflanzen wurden der Schipiste am Patscherkofel entnommen. Auch wenn zu erwarten ist, daß im April die Frostresistenz wegen der Frühjahrsaktivität der Pflanzen niedriger liegt, so dürften die untersuchten Pflanzen bei -5° C nicht geschädigt sein (aus NEWESELY et. al. 1994).

Als Folge davon wird die Luftdurchlässigkeit der Schneedecke stark vermindert. Daraus resultiert die Gefahr von „Erstickungserscheinungen" an Vegetation und Boden.

2.1.3 Sauerstoffmangel unter präparierten Schneedecken

Als Indikator für das Auftreten von Erstickungserscheinungen wurde der Verlauf der Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration unter der Schneedecke über mehrere Jahre in insgesamt 5 verschiedenen Schigebieten gemessen. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Sauerstoffkonzentration im Boden, unter unterschiedlich präparierten Pistenflächen und im ungestörten umgebenden Gelände am Beispiel der Ergebnisse aus dem Winter 1986/87 aus dem Schigebiet Gschwandtkopf in Seefeld (ANGERER 1989, NEWESELY 1997).

Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, tritt unter ungestörten Naturschneedecken außerhalb der Pisten niemals Sauerstoffmangel auf. Unter den stark befahrenen Schipisten konnte Anfang März eine starke Reduktion der Sauerstoffkonzentration festgestellt werden. Auffallend ist dabei, daß im Bereich der Kunstschneepisten das Sauerstoffdefizit zeitlich verzögert auftritt. Diese Verschiebung der Sauerstoffmangelerscheinungen in das Frühjahr ist eine unmittelbare Folge der größeren Schneehöhe und der längeren Schneedeckenandauer.

Der Sauerstoffmangel wirkt sich nun unmittelbar auf Pflanzen und Boden aus. Genaue Untersuchungen der Frostresistenz von Pflanzen aus dem Pistenbereich zeigten eine deutliche Zunahme der Frostempfindlichkeit mit dem Grad des Sauerstoffmangels (NEWESELY et. al. 1994). Besonders deutlich war dies bei *Trifolium repens* (Abbildung 4) zu sehen.

Der Sauerstoffmangel führte in Kombination mit tiefen Temperaturen zu einer starken Schädigung aller untersuchten Pflanzenteile. Die Untersuchungen dafür erfolgten im Spätwinter 1990 bzw. 1991. Während im Jahr 1990 das Pflanzenmaterial Sauerstoffmangel ausgesetzt war, war im Winter 1991, wegen des sehr raschen Ausaperns der Pisten, kein Sauerstoffmangel festzustellen. Die Bodenoberflächentemperatur lag in beiden Wintersaisonen zwischen -3 und -13° C.

Die Abbildung 4 zeigt deutlich, daß die Wurzeln von *Trifolium repens* im Winter 1990 bei einer Sauerstoffkonzentration von 2% vol schon bei 0° C einen Schädigungsgrad von 98% aufwiesen. Im darauffolgenden Winter 1991 waren die untersuchten Pflanzen dagegen keinem Sauerstoffmangel ausgesetzt. Daher zeigten sowohl Sproß als auch Wurzel bis zu Frosttemperaturen von -10° C keinerlei Schädigung! Dieses resistenzökologisch wichtige Ergebnis wird auch nachdrücklich durch weitere Ergebnisse im selben Projektgebiet bestätigt. Untersuchungen im Frühjahr 1990 zeigten, daß die Population des im Pisten-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

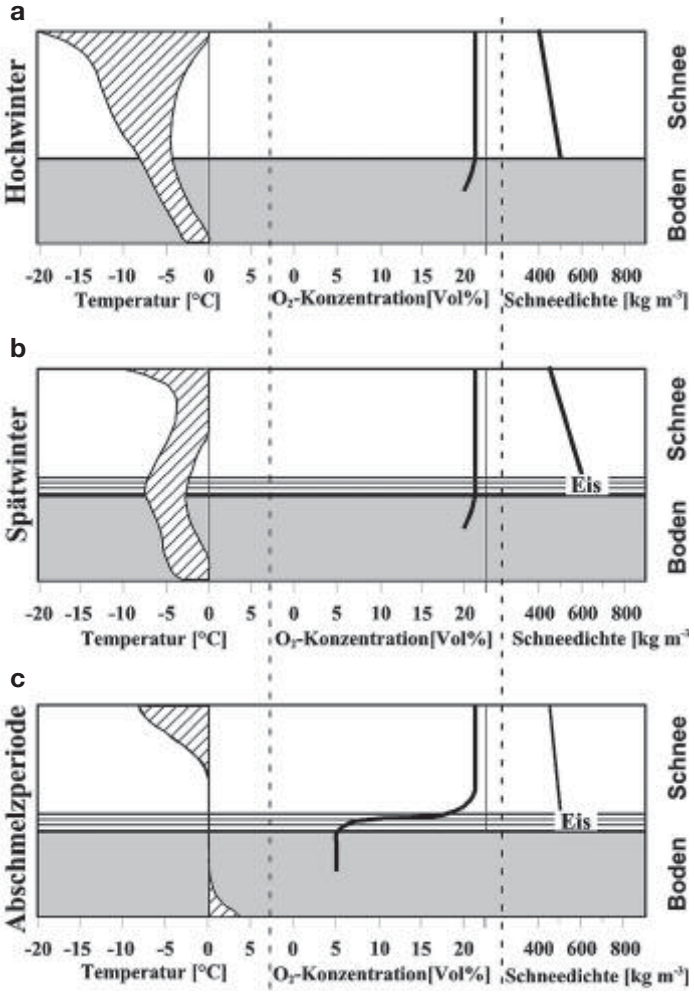

Abbildung 5

Schematischer Überblick über die 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 (Abbbildung 5a), Spätwinter (Abbildung 5b) und Abschmelzperiode (Abbildung 5c) (aus NEWESELY et. al. 1994).

bereich ansonsten sehr häufig vorkommenden *Trifolium repens* fast vollständig abgestorben war. Bedingt wurde dies durch die in Kombination aufgetretenen Streßfaktoren Sauerstoffmangel (bis 2% vol O2) und tiefe Frosttemperaturen (unter -12° C). Erst im Verlauf des Sommers erholte sich die Population durch Keimung aus Samen, die eine höhere Resistenzschwelle besitzen. Aufgrund dieser Untersuchungen wurde eindeutig festgestellt, daß die Vegetationsdecke auf den Schipisten durch Sauerstoffmangel und die daraus resultierenden Erstikkungserscheinungen geschädigt wird, und nicht durch die niedrigen Temperaturen

2.1.4 Die Entstehung von Sauerstoffmangel

Um die Entstehung von Sauerstoffmangel zu erklären, müssen die beiden ausschlaggebenden Faktoren, die Temperatur in der Schneedecke und im Boden und der Aufbau der Schneedecke, sowie deren Veränderung durch die Präparierung, genauer erläutert werden. Abbildung 5 zeigt die Zusammenhänge zu drei charakteristischen Zeitabschnitten.

Hochwinter (Abbildung 5a)

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. Dadurch 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 (Abbildung 5b):

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 tiefer liegenden 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 ge-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

bunden. Dort friert es während der Nacht wieder aus. Es bildet sich eine sogenannte Harschschicht. 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 hat 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 et. al. 1989). Sauerstoffkonzentrationen, die zu den beobachten Schäden an den Pflanzen führen, können zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht festgestellt werden.

Abschmelzperiode (Abbildung 5c):

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 vorhandenen 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.

Die Temperaturunterschiede sind während dieser Periode am höchsten. An warmen Tagen können Werte nahe dem Gefrierpunkt gemessen werden. In der Nacht und an kalten Tagen sinkt die Oberflächentemperatur häufig unter -10° C. Der hier eingetragene Wert soll dies nur symbolisieren. Nach unten hin ist ein Ansteigen der Temperaturen zu erkennen. Der Boden ist jedoch in den obersten Zentimetern meist gefroren.

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 Planierungen 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.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die beobachteten stärkeren Sauerstoffmangelerscheinungen im Bereich von Kunstschneepisten folgende Ursachen haben dürften:

1. Längere Schneedeckenandauer
2. Zu starke Präparierung des Kunstschnees
3. Intensiver Schibetrieb und Präparierung der stark durchfeuchteten Schneedecken im Frühjahr
4. Zu hoher Gehalt an freiem Wasser im frisch erzeugten Kunstschnee.

2.2 Schmelzwasser

Ein weiterer Punkt im Zusammenhang mit der Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlicher Beschneiung ist die Frage der stark erhöhten Schmelzwassermengen. In Abbildung 6 ist der Verlauf der in der Schneedecke gebundenen Wassermenge am Beispiel des Untersuchungsgebietes Seefeld Gschwandtkopf (1987/88) dargestellt.

Wie dieses Diagramm verdeutlicht, waren im Winter 1987/88 zum Zeitpunkt der verstärkt einsetzenden Schneeschmelze bis zu 500 l m^{-2} zusätzliches Wasser in den Kunstschneepisten gespeichert. Auch wenn man davon ausgehen muß, daß dieser Winter als extrem schneearm zu bewerten ist, zeigen die Absolutwerte der gespeicherten Wassermengen dennoch, daß die als Schnee gespeicherte Wassermenge zum Zeitpunkt der Ausaperung mehr als 50% des natürlichen Jahresniederschlags betragen hat! Dies bedeutet, daß während der Schmelzperiode in sehr kurzer Zeit unnatürlich große Wassermengen ins Tal geleitet werden müssen. Die größere Schneemenge bewirkt außerdem, daß das Abschmelzen des Schnees auf Kunstschneepisten zumeist 5 bis 14 Tage länger dauert als auf konventionell präparierten Pisten. Vergleichende Untersuchungen in mehreren Schigebieten über insgesamt 6 Wintersaisonen haben gezeigt, daß die Abschmelzleistung, also die Menge an Schmelzwasser pro m^2 und Tag, bei einer zeitlichen Verschiebung des Abschmelzens ins Frühjahr, exponentiell ansteigt (NEWESELY 1997). Die Verlagerung der Schmelzperiode ins spätere und damit auch wärmere Frühjahr bedingt also auch ein beschleunigtes Abschmelzen.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

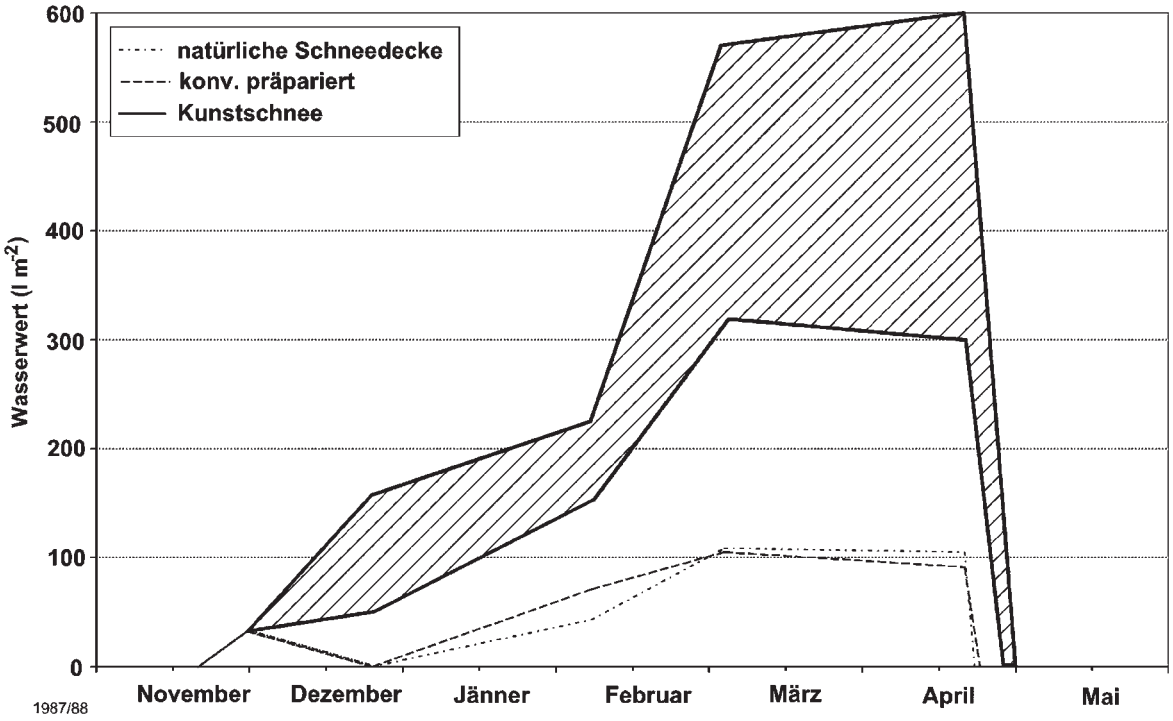

Abbildung 6

Vergleich der gespeicherten Wassermenge (Wasserwert) zwischen konventionell präparierter und künstlich beschneiter Piste mit dem ungestörten Gelände am Pistenrand am Gschwandtkopf/Seefeld, 1987/88 (aus NEWESELY 1997)**.**

Bezüglich der Schmelzwassermenge ergeben sich daher folgende Fakten:

- Es kommt im Beschneiungsbereich zu einer deutlichen Erhöhung der Gesamtmenge des Schmelzwassers
- Das Schmelzwasser tritt aus den beschneiten Pisten etwas verspätet, aber um 5 bis 14 Tage länger aus
- Die durchschnittliche Tagessumme der Schmelzwassermenge kann durch das spätere Ausapern der Kunstschneepisten höher sein als aus unbeschneiten Pisten.

Daraus ergeben sich in weiterer Folge die folgenden potentiellen ökologischen Auswirkungen:

- Im beschneiten Pistenbereich selbst kann es bei ungünstigen Boden- und Vegetationsverhältnissen zu einer Zunahme der Erosionsgefahr kommen. Daher sollte als Voraussetzung für eine Beschneiung ein Deckungsgrad der Vegetation (Phanerogamen/also Blütenpflanzen) von mindestens 80% gegeben sein. Außerdem ist eine ausreichend gute Durchwurzelung des Bodens unbedingt erforderlich.
- Es kommt zu einer zusätzlichen hydrologischen Belastung von wasserhaushaltlich gestörten oder leicht störbaren Ökosystemen, wie z.B. Feuchtstandorten im Pistenbereich Vernässungen, aber auch die Hangwasserproblematik im Unterhangbereich der Piste müssen beachtet werden. Wichtig ist daher ein intaktes Wasserableitungssystem, das das Wasser jedoch nicht einfach am Pistenrand sich selbst überläßt, sondern die Ableitung bis zu einem entsprechend belastbaren Vorfluter garantiert.
- Bezogen auf das Gesamteinzugsgebiet einer Geländekammer sind die Auswirkungen einer zusätzlichen Schmelzwassermenge in der Regel natürlich gering, da ja die Beschneiungsfläche zumeist weniger als 2% der Fläche des Einzugsgebietes ausmacht.

2.3 Auswirkungen auf das Wachstum der Pflanzen

Wie wirken sich die festgestellten und untersuchten Kausalzusammenhänge auf das Wachstum der Pflanzen, die Artenvielfalt und die Stabilität von Vegetation und Boden aus?

Detaillierte produktionsökologische und pflanzensoziologische Untersuchungen in der Schweiz, in Österreich und in Italien haben gezeigt, daß sich die oben diskutierten Belastungsfaktoren je nach Boden- und Vegetationsverhältnissen im Projektgebiet sehr unterschiedlich auswirken, wobei folgende Bereiche zu unterscheiden sind:

- Intensiv landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden unterhalb der Waldgrenze
- Extensiv genutzte Ökosystme oberhalb der Waldgrenze
- Planierte Schipisten

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

2.3.1 Landwirschaftlich genutzte Flächen

Untersuchungen liegen von KAMMER & HEGG (1989) für das Schigebiet Savognin (Schweiz), von HOLAUS & PARTL (1994) von beschneiten Schipisten in Sölden (Tirol) und PROCK & NEWESELY (in Druck) vom Monte Bondone (Trient / Italien) vor.

2.3.1.1 Fettwiesen

Alle Untersuchungen zeigten keine gravierenden Auswirkungen der künstlichen Beschneiung, da diese Wiesen in erster Linie durch die intensive Düngung geprägt sind. Ausnahmen ergeben sich nur durch eine wesentliche Verlängerung der Schneedeckenandauer!

2.3.1.2 Magerweiden

Im Gegensatz zu den Fettwiesen ergaben Untersuchungen von KAMMER (1989) in Savongnin auf Magerweiden eine dramatische Reduktion der Artenvielfalt (um 30%). Die Ursache lag hier in der Verzögerung des Ausaperns, wodurch sich ein Entwicklungsrückstand der Pflanzen bis zur 1. Heuernte ergab. Als unmittelbare Auswirkung erreichten manche Arten die Samenreife bis zur Mahd nicht mehr, was zu einem Verschwinden dieser Arten führte.

Außerdem konnte eine Umwandlung der Magerwiesen in Richtung Fettwiesen festgestellt werden. Als Ursache für die Veränderungen in der Artenzusammensetzung wurde Eintrag von Mineralstoffen erkannt. Diese Mineralstoffe sind im Beschneiungswasser gelöst. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, daß jedes Wasser, das wir auf die Piste bringen, und sei es reines Trinkwasser (dasselbe gilt gleichermaßen für Fluß oder Teichwasser), nicht mit Regenwasser zu vergleichen ist. Trinkwasser enthält Stoffe, die im Regenwasser fehlen, wie Kalzium, Magnesiun und andere Minerale. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß die Düngung in alpinen Ökosystemen häufig mehr als 100 Jahre lang nachwirkt (KAMMER & HEGG 1989).

Aus der Sicht des Naturschutzes ist daher große Vorsicht bei der Errichtung von Beschneiungsanlagen im Bereich von Magerwiesen, insbesondere aber auch Feuchtstandorten und Feuchtbiotopen angebracht.

2.3.1.3 Extensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen und naturnahe Ökosysteme

Auch auf derart genutzten Flächen kommt es sehr häufig zu Vegetationsveränderungen.

2.3.1.4 Zwergstrauchsysteme im Bereich der Waldgrenze

Die Wirkung auf diese Vegetationseinheiten ist entsprechend der jeweiligen Exposition im Gelände sehr unterschiedlich. Geringe, ja sogar positive Auswirkungen, kann die Beschneiung auf Schneemuldenvegetationen (z.B. *Rhododendron*, der Schneeschutz braucht) haben. Im Gegensatz dazu ist die Wirkung auf schneearmen Kanten und Rippen, wie sie z.B. von der Gemsheide *(Loiseleuria procumbens)* besiedelt werden, sehr gravierend. Da *Loiseleuria* durch Schneeschutz und vor allem auch bei Düngung (Nährstoffe in Kunstschnee; Schneeschmelzmittel) geschädigt wird, werden diese Bestände durch die Heidelbeere verdrängt. Außerdem führt die Beschneiung zu einer starken Reduktion der Flechten.

2.3.1.5 Alpine Grasheide *(Curvuletum)*

Ökosystemstudien im Nationalpark Hohe Tauern (CERUNSCA 1989) haben gezeigt, daß sich die zusätzliche Bodenfeuchtigkeit ungünstig auf die Bodenaktivität auswirkt. Da das Ökosystem auf geringen Mineralstoffeintrag eingestellt ist, dürfte durch nährstoffreiches Beschneiungswasser die Biozönose verändert werden.

2.3.1.6 Planierte Pisten

Die Auswirkung der künstlichen Beschneiung planierter Pisten kann nicht mit jener auf natürliche oder naturnahe Pisten verglichen werden. Planierte Pisten sind häufig wegen oft mangelhafter Begrünung und gestörter Bodenverhältnisse besonders erosionsgefährdet. Als positiv ist zu beurteilen, daß im Beschneiungsbereich eine Reduktion der mechanischen Schäden sowie günstigere Bodentemperaturen zu erwarten sind. Als Folge der Belastungsfaktoren „längere Schneedeckenandauer“ und „erhöhte Schmelzwassermenge“ kann es nach Errichtung von Beschneiungsanlagen 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, insbesondere im Bereich der Vorfluter, und durch Hangrutschungen bemerkbar.

Vor Inbetriebnahme einer Beschneiungsanlage ist daher genau zu prüfen, ob im gesamten Beschneiungsbereich ein notwendiger Minimaldeckungsgrad der Vegetation (Phanerogamen) von mindestens 70% gegeben ist, um die Erosionsgefahr zu vermindern. Außerdem ist zu untersuchen, ob die Durchwurzelung des Bodens ausreichend ist 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 (LÖHMANNSRÖBEN & CERNUSCA 1990).

2.4 Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch einer Beschneiungsanlage ist sehr hoch. Für eine Fläche von 10 ha benötigt man 15 000 bis 20 000 m^3 Wasser. Das Wasser muß hygienisch einwandfrei sein, sonst kann es zu Verunreinigungen von Quellhorizonten kommen. Wie die Un-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

tersuchungen von KAMMER & HEGG (1989) gezeigt haben, kann auch Wasser, das keimfrei und unbelastet ist, durch Eintrag von Mineralstoffen zu Veränderungen in der Artenzusammensetzung der Vegetation und zur Störung des Stoffhaushaltes des Bodens führen.

2.5 Schädigung angrenzender Waldökosysteme

Beim Verlegen der Druckleitungen kann es zu Schäden an Randbäumen kommen. Ein Gefahrenmoment ist auch die erhöhte Schmelzwassermenge (siehe oben). Eine besondere Gefahr stellt der Einsatz von Auftaumitteln zur Beschleunigung der Schneeschmelze dar. Durch den erhöhten Nährstoffeintrag können in Waldökosystemen Schäden ausgelöst werden.

2.6 Störung des Wildes

Die Störung des Wildes wird in den Beiträgen von REIMOSER und ZEITLER (in diesem Band) näher erläutert und soll hier nicht weiter behandelt werden.

2.7 Lärmbelästigung

Untersuchungen haben ergeben, daß der Schallpegel in 20 m Entfernung von den Kanonen bei Niederdrucksystemen zwischen 60 und 75 dB(A), und für die geräuschvolleren Hochdrucksysteme zwischen 80 und 100 dB(A) (bis 115 dB(A)) liegen. Man darf sich aber nicht darüber hinwegtäuschen lassen, daß auch die im Gegensatz zu den schrillen Hochdruckkanonen „leiseren" Niederdruckkanonen immer noch sehr laut sind und in etwa starkem Verkehrslärm entsprechen.

3. Regionale Auswirkungen

3.1 Energieversorgung

Nahezu alle laufenden Beschneiungsanlagen werden mit elektrischer Energie betrieben, wobei viele vor allem kleinere Anlagen bereits bestehende Anschlüsse vorhandener Liftanlagen mitverwenden. Der Energieverbrauch einer Beschneiungsanlage schwankt sehr und ist vor allem von der Art der Wasserbeschaffung (Pumpen), System, Fabrikat und auch Klimabedingungen des Winters (Energie zum Vorkühlen des Wassers) abhängig.

Bei Angaben zum Energieverbrauch einer Beschneiungsanlage muß ganz klar zwischen der verbrauchten elektrischen Leistung, das ist jener Stromverbrauch der während des Betriebs der Anlage anfällt, und dem auf das ganze Jahr umgerechneten Energieverbrauch unterschieden werden.

Bezüglich der während des Betriebes benötigten Leistung sind Beschneiungsanlagen Spitzenverbraucher. Die Werte variieren sehr stark und schwanken zwischen 45-65 kW/ha beschneiter Fläche bei Niederdruckanlagen und 80 bis 130 kW/ha bei Hochdruckanlagen. Für Tirol bedeutet dies einen jährlichen Energieverbrauch von 16 GWh. Dies entspricht etwa 10% der Leistung des gerade in Betrieb gegangenen Innkraftwerks in Langkampfen, kurz oberhalb von Kufstein. Diese Energie muß vor allem in Zeiten niedriger Wasserführung der Flüsse und Bäche erzeugt werden. Man muß bedenken, daß an einem klaren, kalten Winterabend möglicherweise alle Anlagen zugleich anlaufen, und somit die Energieversorgung zu einer Zeit eines ohnehin sehr hohen Stromverbrauchs problematisch wird. Beschneiungsanlagen zählen also trotz der Tatsache, daß sie gesamtenergiewirtschaftlich (nur etwa 2-3% der Jahresenergie) keinen bedeutsamen Faktor darstellen, zu den ungünstigsten Stromverbrauchern, da sie nur kurze Zeit und nur in den am stärksten belasteten Wintermonaten in Betrieb stehen. Auch von Seiten der Elektrizitätsversorgungsunternehmen wird auf den großen Strom- und Wasserverbrauch der Beschneiungsanlagen hingewiesen. Alle Tiroler Beschneiungsanlagen verbrauchen zusammen immerhin 659 000 m^3 Wasser pro Jahr. Dies entspricht etwa 1/4 des jährlichen Wasserverbrauchs der Tiroler Landeshauptstadt Innsbruck. Besonders ist dabei zu beachten, daß dieses Wasser gerade zu jener Zeit verbraucht wird, zu der die Wasserführung der Flüsse und Bäche ohnedies ein Minimum erreicht.

3.2 Verkehr

Nicht zu übersehen ist, daß Schigebiete mit einer durchgehenden Schneedecke attraktiv sind, und daher auch mit entsprechendem Verkehr zu rechnen ist. Zu bedenken ist dabei, daß im Tal genügend Parkplätze für die Fahrzeuge der Gäste zur Verfügung stehen müssen.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Der stärkste Einfluß auf das Ökosystem Schipiste geht von der starken Verdichtung der Schneedecke aus. Durch die Verdichtung der Schneedecke wird die Wärmeisolationsfähigkeit des Schnees verringert. Außerdem bilden sich sehr leicht massive Eisschichten an der Bodenoberfläche, die als Ursache für einen Sauerstoffmangel unter der Schneedecke erkannt wurden. Um eine allzu starke Verdichtung der Schneedecke zu vermeiden, sollte auf eine Präparierung stark durchfeuchteter Schneedecken verzichtet werden. In der Praxis heißt dies: Präparierung am frühen Morgen und nicht am späten Nachmittag. Aus diesen Gründen sollte der Kunstschnee auch möglichst trocken aufgebracht werden.

Kunstschnee sollte nicht dazu dienen, Gebiete, die unter natürlichen Bedingungen nicht zum Schifahren geeignet sind, zu erschließen.

Um die Ökologischen Rahmenbedingungen in einem Projektgebiet genau erfassen zu können, sollte vor Errichtung einer Beschneiungsanlage eine genaue ökologische Begutachtung durchgeführt werden. Als geeignetes Mittel wäre die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (CERNUSCA & TAPPEINER 1990, CERNUSCA 1990b, SCHATZ 1990) zu nennen.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

5. Literatur

ANGERER, H. (1989):
Entwicklung und Erprobung von Meßmethoden zur Untersuchung 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: 253 S.

CERNUSCA, A. ; H. ANGERER, CH. NEWESELY, U. TAPPEINER (1989):
Ökologische Auswirkungen von Kunstschnee - Eine Kausalanalyse der Belastungsfaktoren. Verh. Ges. Ökologie Band 19 p 746-757, Osnabrück 1989.

CERNUSCA, A. (1990a):
Ökologie des alpinen Raumes. In: G. PRABITZ & W. SCHOPPER (Hrsg.) UNI 2000 - Zukunftsperspektiven universitärer Forschung und Lehre am Beispiel der Universität Innsbruck, Haymon Innsbruck, 5-23.

——— (1990b):
Umweltverträglichkeitsprüfungen für Wintersporteinrichtungen. In: A. CERNUSCA (Hrsg.) Umweltverträglichkeitsprüfung: Theorie und Praxis. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, p.129-150

CERNUSCA, A.; U. TAPPEINER (1990):
Valutazione impatto ambientale: Impianti di risalita e piste da sci. Prov. Autonomia Trento, Assessorato al Territorio, Ambiente e Foreste, 1990

HOLAUS, K.; Ch. PARTL (1994):
Beschneiung von Dauergrünland - Auswirkungen auf Pflanzenbestand, Massenbildung und Bodenstruktur. Verh. Ges. Ökologie Band 23 p. 268-276, Freising Weihenstephan 1994

KAMMER, P.; O. HEGG (1989):
Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation. Verh. Ges. Ökologie Band 19: 758-767. Osnabrück 1989.

KÜRY, E. (1987):
Untersuchungen zum Aufbau selbstgemachter Schneedecken in schweizerischen Schigebieten im Winter 1986/87 (Corvatsch, Saas Grund-Kreuzboden, Savognin und Zermatt-Blauherd). = Praktikumsarbeit am Geographischen Institut der Universität Basel, Basel 19987, 45 S. (als Manuskript vervielfältigt)

LÖHMANNSRÖBEN, R.; A. CERNUSCA (1990):
Bodenverhältnisse, Oberflächenabfluß und Erosionsgefährdung im Skigebiet am Stubnerkogel. Verh. Ges. Ökologie, Göttingen 1990.MOSIMANN, T., (1987): Schneeanlagen in der Schweiz. Materialien zur Physiogeoraphie, Heft 10, Basel 1987.

NEWESELY, CH. (1997):
Auswirkungen der künstlichen Beschneiung von Schipisten auf Aufbau, Struktur und Gasdurchlässigkeit der Schneedecke, sowie auf den Verlauf der Bodentemperatur und das Auftreten von Bodenfrost. Dissertation, Universität Innsbruck

NEWESELY, CH.; A. CERNUSCA, M. BODNER (1994):
Entstehung und Auswirkung von Sauerstoffmangel im Bereich unterschiedlich präparierter Schipisten. Verh. Ges. Ökologie Band 23 p. 277-282, Freising Weihenstephan 1994

PROCK, S.; CH. NEWESELY:
Auswirkungen von Kunstschnee auf die generative und vegetative Entwicklung von Pflanzenarten auf der Schipiste am Monte Bondone bei Trient. Studi trentini di Scienze Naturali, Acta biologica. (in press)

SCHATZ, H. (1990):
Umweltverträglichkeit von Beschneiungsanlagen aus naturschutzfachlicher Sicht. In: A. CERNUSCA (Hrsg.) Umweltverträglichkeitsprüfung: Theorie und Praxis. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, p. 151-166

Anschrift der Autoren:

Mag. Dr. Christian Newesely
Prof. Dr. Alexander Cernusca
Institut für Botanik
Sternwartestraße 15
A-6020 Innsbruck

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Die Veranstaltung und vorliegende Broschüre wurden mit Mitteln der Europäischen Union gefördert.

Titelbildgestaltung: Foto und Montage von H. J. Netz (ANL)

Laufener Seminarbeiträge 6/99
Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)
ISSN 0175-0852
ISBN 3-931175-53-7

Die Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege ist eine dem Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen angehörende Einrichtung.

Die mit dem Verfassernamen gekennzeichneten Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung der Herausgeber wieder. Die Verfasser sind verantwortlich für die Richtigkeit der in ihren Beiträgen mitgeteilten Tatbestände.

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der AutorInnen oder der Herausgeber unzulässig.

Schriftleitung: Dr. Notker Mallach in Zusammenarbeit mit Dr. Christian Stettmer
Bearbeitung und Satz: Fa. Hans Bleicher, 83410 Laufen
Redaktionelle Betreuung beim Druck: Dr. Notker Mallach (ANL)
Druck: Fa. Kurt Grauer, 83410 Laufen; Druck auf Recyclingpapier (100% Altpapier)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge (LSB)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: 6_1999

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

Artikel/Article: Auswirkungen der künstlichen Beschneiung von Schipisten auf die Umwelt 29-38