

## Ökologische Auswirkungen des Wintertourismus in den Alpen

### 1. Einleitung

Die touristische Nutzung der Alpen stellt für die einheimische Bevölkerung eine wichtige Lebensgrundlage dar. Mehr als 100 Mio. Gäste reisen jedes Jahr in die Alpen und bringen insgesamt rund 370 Mio. Übernachtungen (VEIT 2002). Von besonderer Bedeutung ist dabei der Wintertourismus, der sich nach dem Ersten Weltkrieg im Zuge des Kurtourismus auszubreiten begann. Seit den 60er Jahren hat der alpine Wintersport eine überragende Stellung in den Alpen erlangt (THIERER & HOH 1983). In den an die Alpen angrenzenden Staaten gibt es inzwischen rund 20 Mio. Skisportler. Die Pistenfläche ist auf 1.040 km<sup>2</sup> angewachsen. Zählt man die Erschließungsanlagen und Aufstiegshilfen hinzu, so liegt die Skigebietsfläche bei ungefähr 3.440 km<sup>2</sup> mit insgesamt ca. 13.000 Seilbahnen und 40.000 Skiabfahrten, die eine Länge von ca. 120.000 km ausmachen. Von allen Gebirgen dieser Erde findet sich in den Alpen die höchste Dichte an Wintersport-Infrastruktur (VEIT 2002).

Auch wenn die direkt betroffene Pistenfläche gering erscheint (z.B. Bundesland Salzburg 0,44 %), sind die indirekten Auswirkungen des Wintersports wie Infrastruktureinrichtungen (Parkplätze, Straßen, Restaurants etc.) weitaus größer. Hinzu kommt, dass zumindest in der Anfangszeit die Eingriffe meist ohne ausreichende Kenntnisse der ökologischen Gesetzmäßigkeiten vorgenommen worden sind. Außerdem macht das Hochgebirge an sich nur einen kleinen Teil der Gesamtfläche der Alpenländer aus und führt somit zu einer höheren Nutzungsdichte als die statistischen Daten zunächst vermuten lassen.

Im Anschluss sollen nun diese Folgen analysiert und entsprechende Handlungsregeln, sowie mögliche Lösungsvorschläge aufgezeigt werden. Aus Gründen des begrenzten Umfangs dieser Arbeit wird das Hauptaugenmerk auf den direkten Auswirkungen im Pistenbereich, besonders im Hinblick auf die Verwendung von Kunstschnee liegen.

## 2. Direkte Eingriffe und deren Auswirkungen

### 2.1 Pistenerstellung

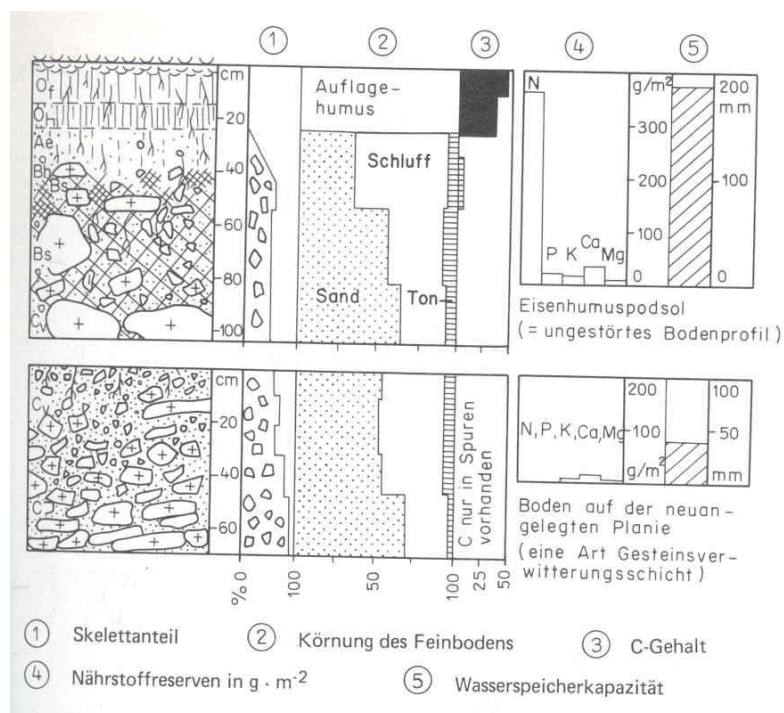
Für die skitouristischen Erschließungsmaßnahmen fallen weitflächige **Rodungen** des ökologisch bedeutsamen Bergwaldes an. Dieser festigt mit seiner auch in steilen Lagen tiefgründigen Durchwurzelung den Boden und beeinflusst zusätzlich die hydrologische Situation positiv. Ein bestimmter Teil der Niederschläge wird bereits durch die Interzeption vom Kronendach der Bäume abgefangen. Die Infiltrationsraten sind durch das Ökosystem Bergwald ebenfalls deutlich erhöht. Bei Starkregenereignissen werden nicht so rasch extreme Hochwasserspitzen erreicht, da der Oberflächenabfluss vermindert werden kann. Darüber hinaus bietet ein intakter Bergwald Wind keine Angriffsfläche, was sich zusätzlich durch entsprechend geringe Erosionsraten bemerkbar macht. Ebenso darf der positive Einfluss des Bergwaldes im Hinblick auf die Lawinenprävention nicht vergessen werden.

Einen besonders gravierenden Eingriff stellt das **Planieren** von Pisten dar. Früher wurde alpiner Skisport in natürlicher Umgebung betrieben. Seit den 60er Jahren ist es üblich geworden, Skipisten durch Rodungen und Planierungen in Stand zu setzen (THIERER & HOH 1983). Motivation für das großflächige Planieren ist die Beseitigung von Engpässen oder besonderen Gefahrenstellen. Bei großflächigen Vorhaben sind die Beweggründe aber eher wirtschaftlicher Natur: die Erhöhung der Pistenkapazität, problemlosere Bearbeitung oder die Befahrbarkeit bei geringer Schneedecke (MOSIMANN 1986). In Österreich sind von den 25.000 ha Skipisten ca. 20.000 ha planiert. Durch neue Trends wie den Carving-Ski hat sich die Anzahl von Planien in den letzten Jahren noch entscheidend erhöht, da diese Fahrtechnik eine möglichst gleichmäßige Schneeoberfläche bevorzugt. Auch für sportliche Großveranstaltungen werden immer noch neue Anlagen gebaut. So wurden allein für die olympischen Winterspiele in Albertville 1992 eine Mio. m<sup>3</sup> Felsen gesprengt und Erdreich umgelagert sowie 33 ha Wald gerodet (VEIT 2002).

Die Planierungen erfolgen zumeist durch Schubraupen, wobei der wertvolle Oberboden weitgehend zerstört oder zumindest gekappt wird. Es kommt in Vertiefungen oder weiter hangabwärts zu planlosen Aufschüttungen des weiter oben abgetragenen Locker- und Festgesteins (MOSIMANN 1986). Nach einer Planierung sind die Standortverhältnisse für die meisten Arten der Ausgangsvegetation gänzlich ungeeignet. Je nach den edaphischen Verhältnissen stellen sich zunächst mit hoher Samenproduktion und effizienten Verbreitungsmechanismen ausgestattete Pionierarten ein. Mit zunehmender Höhe werden die Planien von natürlichen Arten der Umgebung besiedelt. Es sind dies jedoch nicht hauptsächlich die Vertreter der alpinen Rasengesellschaften, sondern ebenfalls Pionierarten. Wegen der äußerst geringen Ausbreitungsgeschwindigkeit vieler Rasenarten (z.B. *Crex curvula* 0,5 mm a<sup>-1</sup>), kann die Sukzession bis zum Klimaxstadium Jahrhunderte bis Jahrtausende dauern (VEIT 2002).

Oberhalb von etwa 1.500 m ü. M. gibt es auch beim künstlichen Begrünen der planierten Pisten erhebliche Probleme. Die Vermehrung erfolgt bei den wichtigsten Rasenbildnern meist vegetativ, da die Keimfähigkeit der Samen eher gering ist, was eine sehr langsame Ausbreitung zur Folge hat. Die Vegetationszeit nimmt pro 100 Höhenmeter um etwa eine Woche ab, was zusätzlich bei der Zusammensetzung von potentiellen Pflanzengesellschaften beachtet werden muss (THIERER & HOH 1983). Oft wird mit nicht standortgerechten Saadmischungen künstlich begrünt, da entsprechende Mischungen fehlen oder teuer aus Südamerika importiert werden müssen (MOSIMANN 1986; CERNUSCA 1985). Diese Art von künstlicher Begrünung hat negative Auswirkungen auf die natürliche Wiederbesiedelung, da zusätzliche Konkurrenz eingebracht wird.

Durch Verdichtungen des Bodensubstrats und dem häufigen Fehlen der Humusschicht ist eine Begrünung nur mit intensiver Pflege und jährlichen Nachdüngungen möglich. Häufig wird wegen der besseren Resistenz auch das Einbringen fremder Arten empfohlen, was jedoch zu einer Florenverfälschung führt und naturschutzrechtlich eigentlich untersagt ist (VEIT 2002). Oberhalb der alpinen Waldgrenzen müssen die Planierungen daher aus ökologischer Sicht als weitgehend irreversible Eingriffe angesehen werden (CERNUSCA 1985).



**Abb. 1:** Bodenzerstörung durch Skipistenbau – Vergleich des natürlichen Bodenprofils mit dem an gleicher Stelle geschaffenen „Boden“ auf der Skipistenplanie. Quelle: MOSIMANN 1986: 307.

Weitere gravierende Folgen sind in der Stabilität des Bodens gegen Erosion und dem oberflächlichen Wasserabfluss zu finden. Wichtigste Parameter sind hierbei der Deckungsgrad und die Durchwurzelung der Vegetation. Je geringer die Wurzelmasse, umso größer ist der Oberflächenabfluss. Durch die Planierung werden die meist schluffreicheren und auf allochthonen Deckschichten entwickelten A- und B-Horizonte abgetragen (vgl. Abb. 1). Damit werden die Pistenböden sandiger, was eine Abnahme der

Mittelporen und des Porenvolumens insgesamt zur Folge hat. Die Poren im mittleren Bereich sind aber wiederum entscheidend für das pflanzenverfügbare Wasser (VEIT 2002). Generell wird die Wasserspeicherkapazität drastisch verringert. Vergleichsflächen auf naturnahen Standorten zeigen, dass die Wasserspeicherfähigkeit im Bereich von Skipisten auf 50-10 % der Ausgangswerte zurückgehen kann (THIERER & HOH 1983; CERNUSCA 1985). Zwei Parameter sind hierbei

entscheidend: Die größten Verluste werden in der Regel durch das Wegfallen der gut wasserspeichernden Humusaufgabe verursacht. Die zweite Einflussgröße liegt, wie bereits oben erwähnt, in der Kappung des mineralischen Verwitterungsmaterials begründet (CERNUSCA 1985). Feinkörnige Böden können darüber hinaus mechanisch leicht verdichtet werden, was einer Abnahme der Infiltrationsrate und damit einer Zunahme des Bodenabtrages gleichkommt. Zur Vermeidung von hohen Erosionsraten ist nämlich neben einem hohen Wasserspeichervermögen vor allem auch ein hoher Anteil rasch dränender Grobporen wichtig (CERNUSCA 1985). Diese werden konsequenterweise durch den Abtrag des Oberbodens stark reduziert. Auf Skipisten kann der Oberflächenabfluss leicht zwischen 60-80 % betragen, während auf Almflächen bei gleicher Niederschlagsmenge die Abflusswerte nur bei 30-60 % liegen (VEIT 2002), bei schwach beweideten Flächen mit Erlenbewuchs beträgt der Abflusswert gar nur ungefähr 4 % (CERNUSCA 1985). Berechnungsversuche haben ergeben, dass bei wolkenbruchartigen Niederschlägen rund 1 t Feinmaterial pro ha ausgeschwemmt wird. Bei frisch angelegten und nicht begrünten Pisten können diese Werte auf bis zu 10 t ansteigen (THIERER & HOH 1983). Erosionsrinnen und Gräben können entstehen oder gar Hangrutschungen ausgelöst werden. Erosion ist im alpinen Bereich ohnehin schwer kontrollierbar, zumal sie sich auch auf Nachbarflächen und betroffene Gewässer auswirkt. So haben Untersuchungen der MAB-Arbeitsgruppe Innsbruck (CERNUSCA 1985) im Einzugsgebiet des Schlossbachs, welches wiederum das Skigebiet Schlossalm darstellt, eine deutliche Verschiebung im Auftreten von Hochwasserspitzen ergeben. So muss heute bereits bei einem Regenereignis, das vor der Anlage des Skigebiets einem 20-jährigen Hochwasserereignis entsprochen hatte, mit dem Spitzenabfluss eines 45-jährigen Hochwasserereignisses gerechnet werden. Dabei können sich bei großflächig angelegten Pisten auch Murenkatastrophen entwickeln. Des Weiteren sollte man, neben den auftretenden Naturgefahren, die extrem lange Entwicklungszeit der Böden, speziell in den höheren Lagen der Alpen berücksichtigen. Der Abtrag von reliktschen Böden aus dem Tertiär ist sogar als irreversibel anzusehen.

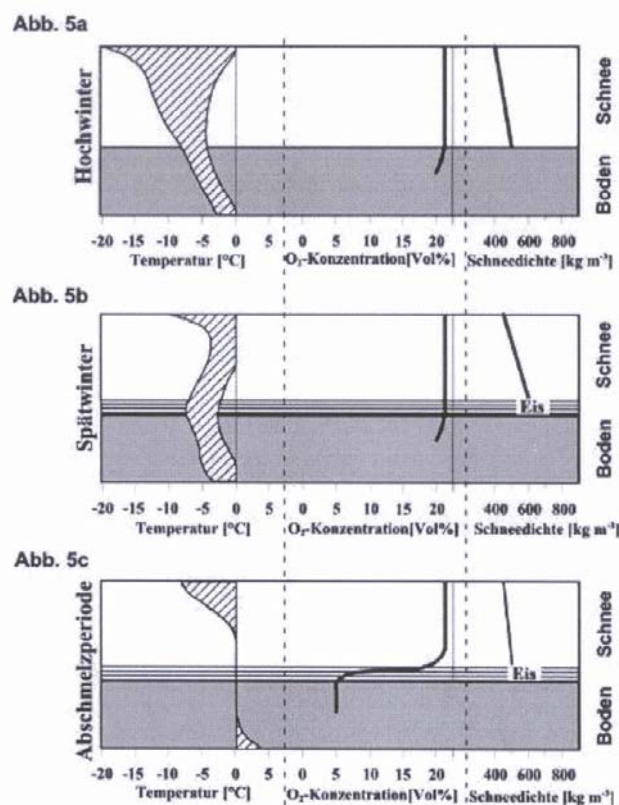
Die großen Variationen an unterschiedlichen Zuständen von Planierungen liegen an den speziellen Standortbedingungen und in der Anlage sowie Größe der Eingriffe begründet (nach MOSIMANN 1986):

- Länge des Hanges
- Wassereinfluss (evtl. auftretendes Hangwasser)
- Durchlässigkeit des Untergrundes
- Hangform
- Größe des morphologischen Einzugsgebietes oberhalb der Planie
- die Hangneigung ist dagegen weniger entscheidend

## 2.2 Pistenpräparierung

Die Pistenpräparierung wird von den meisten Skifahrern erwartet, da diese insbesondere durch das Aufkommen des Carving-Skis nicht mehr ohne eine entsprechende Einebnung zurecht kommen. Deshalb werden die Pistenraupen mit Zusatzgeräten wie Walzen, Glättbrett, Räumschild und Fräse ausgestattet. Dadurch kann die Schneedecke verdichtet und gleichmäßig verteilt werden.

Als Folge der Befahrung der Pisten durch Pistenraupen und Schneemobile kommt es zur Schneeverdichtung, wodurch die Wärmeleitfähigkeit verändert wird und ein drei oder vier Wochen späteres Ausapern im Vergleich zu nicht genutzten Flächen zur Folge hat. Entsprechend ist bei einer Verminderung der Schneedecke um 10 cm von einem Rückgang der Bodentemperatur um ca. 0,5 bis 1,0 °C auszugehen (VEIT 2002). Die Schneedichte ist auf Pisten allgemein über ein Drittel erhöht, besonders gilt dies für Kunstschnepisten (RIXEN et al. 2002). Durch das veränderte Abschmelzverhalten und die oft auftretenden Vereisungen lässt sich häufig eine Artenverschiebung beobachten. Dabei wächst der Anteil feuchtigkeitsliebender Pflanzen zulasten von trockenheitsangepassten Arten (SIEGMUND 1988). Außerdem finden sich auf Pisten im Allgemeinen mehr spätblühende und weniger frühblühende Arten (RIXEN et al. 2002). Damit verbunden sind direkte Produktionseinschränkungen von ca. 3 % pro Tag (CERNUSCA 1985).



**Abb. 2:** Entstehung von Sauerstoffmangel unter präparierten Skipisten. 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 (a), Spätwinter (b) und Abschmelzperiode (c). Quelle: NEWSELY & CERNUSCA 2000: 9.



**Abb. 3:** Alpenrose auf frisch präparierter Skipiste. Quelle: RIXEN et al. 2002: 7

Durch die Bearbeitung mit schwerem Gerät ist eine häufige Vereisung der Schneedecke zu beobachten, was wiederum zu Sauerstoffmangel für die darunter wachsenden Pflanzen führen kann (Abb. 2). Dies geschieht in Folge der Anreicherung von CO<sub>2</sub> durch die Atmungsaktivität der eingeschlossenen Pflanzen und Bodenlebewesen. Das CO<sub>2</sub> kann Werte zwischen 40-44 % erreichen, während die

Luft an Sauerstoff verarmt (nur mehr 3-5 %) (CERNUSCA 1985). Besonders die empfindlichen Untergräser gehen an Erstickungs- und Fäulniserscheinungen zugrunde. Auch korreliert die Frostempfindlichkeit mit dem Grad des Sauerstoffmangels (NEWSELY & CERNUSCA 2000). Zugleich werden betroffene Florenelemente durch robustere, aber weniger wertvolle Gräser mit geringerem Eiweißgehalt verdrängt (THIERER & HOH 1983). Aber auch direkte Verletzungen des Bodens durch die Ketten und Arbeitsgeräte der Raupen bis in 10 cm Tiefe sind an der Tagesordnung, insbesondere bei niedriger Schneeauflage oder nassen Böden (vgl. Abb. 3).

Oft sind dann, ähnlich wie in Kapitel 2.1 beschrieben, schwere Erosionsschäden die Folge. Dies geschieht besonders durch die starke Bodenverdichtung und die teilweise flächenhafte Abrasur der Vegetationsdecke durch Pistenraupen, so dass dadurch häufig die Bodenoberfläche frei liegt (SIEGMUND 1988).

Landwirtschaftliche Ertragseinbußen auf Skipisten werden zwischen 15 und 25 %, mit Spitzenwerten bis zu 70 % eingeschätzt (CERNUSCA 1985).

### 2.3 Pistennutzung

Bei wenig Schnee kann es zum Abscheren von Vegetation durch die Stahlkanten der Skier kommen. Dies ist insbesondere an steilen Hängen bei geringer Schneehöhe der Fall, wenn Skifahrer auf den Kanten seitlich den Hang hinunter rutschen (SIEGMUND 1988). Das Schwingen vieler Skiläufer an derselben Stelle führt zum Freilegen und einem regelrechten Abrasieren der Vegetation durch die scharfen Skikanten. Oft führt dies auch zur Abtragung von Bodenmaterial, so dass es zu einer Schädigung der gesamten Humusdecke kommt (THIERER & HOH 1983). Auch wertvolle Lebensräume seltener Fauna werden stark beeinträchtigt und durch die Skianlagen durchschnitten. Als Beispiel seien hier Waldhuhn (Auerhuhn (*Tetrao urogallus*) und Birkhuhn (*Tetrao tetrix*)) genannt. Unmittelbare Störung von Einstandsgebieten des Schalenwildes durch Variantenfahrer kann zu erhöhten Verbisschäden im Bergwald führen.

Problematisierend kommt das Variantenfahren (Fahren abseits der Piste im Tiefschnee), Tourenskilauf oder Heliskiing (ca. 50.000 Flüge pro Jahr in den Alpen) hinzu (VEIT 2002). Krüppelwuchs der empfindlichen jungen Bäume ist bei Beschädigung der Rinde oder durch Knicken der Terminaltriebe die logische Folge. Auch indirekte Schäden, wie erhöhte Gefahr von Pilzkrankungen, müssen mit in Betracht gezogen werden (CERNUSCA 1985). Dadurch ist die natürliche Verjüngung des für das Gesamtsystems Alpen so wichtigen Bergwaldes gefährdet. Außerdem spielt die verstärkte Schneeschubgefahr, sowie eine Erhöhung der Gefahr durch Winterdürrestress, wegen der fehlenden Schneedecke eine wichtige Rolle. Wie aus Untersuchungen von CERNUSCA (1985) ersichtlich wird, geht die durch eine Entfernung des Schneeschlutzes ausgelöste Photosynthesetätigkeit der Alpenrose schon nach drei Tagen auf einen Minimalwert zurück, da aus dem gefrorenen Boden kein Wasser aufgenommen werden kann. Deshalb kommt die Pflanze in Dürrestress und verbraucht die übrigen gespeicherten Nährstoffe. Die Zweige können sich unter Umständen bis zum Ende des Winters nicht mehr erholen.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass Frostschutz unter präparierten Flächen nur unzureichend gegeben ist. Die Temperaturleitfähigkeit stellt den Quotienten aus Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der jeweiligen Schneedecke dar. So ist bei der verdichteten, präparierten Schneedecke der Boden erst ab einer Schneehöhe von mehr als 60 cm vor tieferem Bodenfrost geschützt, während bei einer lockeren Naturschneedecke eine Höhe von 40 cm ausreicht. Dies haben empirische Untersuchungen von NEWESELY & CERNUSCA (2000) ergeben.

Selbstverständlich hängt das Ausmaß der Schäden von zahlreichen Größen ab, dabei sind jedoch die Pistenbelastung und das Relief wohl am einflussreichsten (SIEGMUND 1988).

## 2.4 Künstliche Beschneigung

Von 1990 bis 1996 hat sich die Zahl der Beschneiungsanlagen in den Alpen mehr als verdoppelt. Im Jahr 1995 wurde eine Fläche von 6.600 ha mit Kunstschnce beschneit, wobei Österreich mit 300 Anlagen und 3.900 ha Fläche klar vorne liegt. Hier werden 34 % der Pistenfläche beschneit (SIEGRIST 1998 in VEIT 2002; PRÖBSTL 2004). Wichtigster Grund für den immensen Zuwachs ist die Sicherstellung der touristischen Auslastung sowie die Erhöhung der Einkommen von Seilbahngesellschaften und Liftbetreibern. Es soll die maximal mögliche Saisonverlängerung erzielt werden (MOSIMANN 1986). Der einzelne Skifahrer besitzt nach einer groß angelegten Studie (PRÖBSTL 2004) zumeist eine negative Einstellung zur Beschneigung, nutzt die beschneiten Abfahrten jedoch regelmäßig. Hier ist also ein starker Gegensatz zwischen Einstellung und Verhalten auszumachen, wie in vielen anderen umweltpolitischen Fragestellungen auch.

Dabei gilt festzuhalten, dass Kunstschnce relativ wenige Eigenschaften mit seinem natürlich vorkommenden Pendant gemein hat. Vielmehr handelt es sich hierbei um unförmige kleine

Eisklumpen oder Kugeln. Eine feine Kristallbildung ist nicht möglich, da der Kristallisationskern fehlt. Kristallisationskerne können in der Atmosphäre vorkommende Fremdpartikel wie Silberjodid sein, an die sich die unterkühlten Wassertropfen anlagern können. Bei der Beschneigung wird dagegen mit Hilfe von Druckluft Wasser durch eine Düse gepresst und sinkt nach dem Prinzip der Abkühlung



**Abb. 4:** Verzögerte Ausaperung auf einer Kunstschneepiste im schweizerischen Davos. Kunstschnee kann 2-3 Wochen später ausapern als Flächen mit Naturschnee. Quelle: RIXEN et al. 2002: 5.

bei Expansion von Gasgemischen als Schnee zu Boden. Kunstschnee kann demnach als Eispulver mit einem sehr hohen Anteil an freiem Wasser charakterisiert werden, woraus sich auch die chemisch-physikalischen Eigenschaften ableiten lassen. So lagern sich die Eiskugeln in sehr dichten Schichten ab (NEWSELY & CERNUSCA 2000).

Insgesamt sind die positiven Auswirkungen, wie dauerhafter Schutz vor mechanischer Beschädigung oder Frosteinwirkung durch zusätzliche Schneemächtigkeit, geringer als erwartet (PRÖBSTL 2004). Auf planierten Pisten ist eine durch Beschneigung erreichte Reduktion der mechanischen Schäden sowie günstigere Bodentemperaturen zu erwarten (NEWSELY & CERNUSCA 2000).

Generell muss der zusätzliche Wassereintrag durch künstliche Beschneigung berücksichtigt werden. Je nach Bodenbeschaffenheit, Hangneigung und Lage der Piste kann sich der Oberflächenabfluss beträchtlich erhöhen. Insbesondere an feuchten Standorten droht außerdem eine Herabsetzung der Hang- beziehungsweise Bodenstabilität. Dies stellt aber normalerweise nur dann ein Problem dar, wenn die Standortverhältnisse auf der Piste bereits Störungen oder eine hohe natürliche Labilität aufweisen (PRÖBSTL 2004). Es müssen zahlreiche Rahmenbedingungen zusammentreffen, wie starke Erwärmung und Regen beim Abschmelzen.

Kunstschnee ist aufgrund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften wesentlich dichter (5-30 %), nasser und härter als Naturschnee, was eine schlechtere Isolierwirkung für den Untergrund sowie ein verspätetes Ausapern (zwei bis drei Wochen) im Frühjahr zur Folge hat (NEWSELY & CERNUSCA 2000; RIXEN et al. 2002). Die Schneemasse auf Kunstschneepisten ist im Vergleich zu Naturschneeabfahrten zweifach überhöht (RIXEN et al. 2002). Auch verschärfen sich die Sauerstoffmangelsituationen im Untergrund wegen der hohen Dichte des Schnees entsprechend. Daraus kann auch eine erhöhte Erosionsgefahr hervorgehen, da sich die verkürzte Vegetationsperiode negativ auf die Dichte und Artenvielfalt der Flora auswirkt. Beispielsweise werden häufig Gamsheidebestände allmählich durch Heidelbeer- und Alpenrosenbestände verdrängt, da für letztere

Arten eine längere Schneebedeckung einen Standortvorteil bringt (CERNUSCA 1985). Ähnliches gilt für die Verdrängung von Flechten. Eine Verlängerung der Schneedeckenandauer kann auch durch das Aufstellen von Schneezäunen ausgelöst werden.

Durch Kunstschnee werden zusätzliche Nähr- und Mineralstoffe eingetragen, was zur Erhöhung von Stickstoffanzeigern und zu einem Verlust der Artenvielfalt führen kann. Trinkwasser enthält Stoffe wie Calcium, Magnesium und andere Minerale die im Regenwasser fehlen. Diese Ionen und Minerale sind daher in Kunstschnee etwa viermal so häufig vorahnden wie in Naturschnee (RIXEN et al. 2002). Besondere Vorsicht sollte man im Bereich von bestimmten Vegetationstypen wie Magerrasen oder Moorgesellschaften wallten lassen. Außerordentlich empfindlich reagieren nach Untersuchungen von NEWESELY & CERNUSCA (2000) Magerwiesen, wo eine drastische Reduktion der Artenvielfalt (um 30 %) zu beobachten war. Tendenziell ist also bei Beschneigung eine Umwandlung von Magerwiesen in Richtung Fettwiesen zu erwarten. Hinzu kommt, dass die Düngung in alpinen Ökosystemen häufig mehr als 100 Jahre nachwirkt.

Negativ wirken sich auch der durch Kunstschnee ermöglichte intensive Skibetrieb und die Präparierung der stark durchfeuchteten Schneedecken im Frühjahr aus.

In einigen Fällen wird auf Skipisten auch Schneefestiger eingesetzt. Darin können Stoffe wie Kochsalz, Kalziumchlorid, Ammoniumchlorid, Ammoniumsulfat oder Harnstoffprodukte enthalten sein (GREIF 1988). Soll eine etwa 30 Stunden wirksame Schneefestigung erfolgen, so sind 20 bis 50 g Schneefestiger je m<sup>2</sup> notwendig, was einer Düngung von 300 kg ha<sup>-1</sup> (normale Düngung im Bereich einer Almregion) gleichkommt (VEIT 2002). Auf Versuchsflächen war die Biomasseproduktion dadurch um rund 25 % höher als auf konventionell beschneiten Flächen (RIXEN et al. 2002).

Weitere Zusatzmittel (z.B. *SNOWMAX*) werden in der künstlichen Beschneigung seit 1995/96 eingesetzt um die oben erwähnten negativen Eigenschaften des Kunstschnees, wie die hohe Dichte oder den großen Anteil an freiem Wasser aufzubessern. Durch abgetötete Bakterienstämme (*Pseudomonas syringae*) sollen Kristallisationskerne geschaffen werden. Damit kann auch die Wasser- und Energieausbeute verbessert und der Gefrierpunkt auf ca. 5°C hinauf gesetzt werden. In Bayern sind diese Additive verboten, während in der Schweiz und Frankreich der Einsatz genehmigt wurde. Wie jedoch empirische Studien gezeigt haben, hat *SNOWMAX* unterschiedliche Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum (RIXEN et al. 2002). Von einer Anwendung ist vor entsprechenden Langzeitstudien abzuraten.

Darüber hinaus sind signifikante Auswirkungen auf die Fauna zu beobachten. Besonders durch Lärm und Licht bei Nachtbetrieb kann die Kondition und Fortpflanzung einiger Arten negativ beeinflusst werden. Im Einzelnen sind dies Störreize bei der Balz, Vertreibung aus optimalen Einstandsbeziehungsweise Ruhegebieten, weniger Möglichkeiten zur Nahrungssuche oder Energieverluste durch Flucht oder Ruhestörungen (WESSELY 2000). Insbesondere bei Eulen und Käuzen sind hauptsächlich wegen des Lärms hohe Abwanderungsraten zu verzeichnen. Bei 10 ha beschneiter Fläche sind rund 60 ha vom Lärm betroffen (PRÖBSTL 2004). In 20 m Entfernung zu den

Schneekanonen ergibt sich je nach Bauart (Nieder- oder Hochdrucksystem) ein Schallpegel zwischen 75 und 115 dB(A) (NEWESELY & CERNUSCA 2000).

Der Wasserverbrauch einer Beschneiungsanlage ist sehr hoch. Für eine Fläche von 10 ha sind immerhin 15.000 bis 20.000 m<sup>3</sup> hygienisch einwandfreies Wasser nötig, da es sonst zur Verunreinigung von tiefer liegenden Quellhorizonten kommen kann. In Tirol werden immerhin 659.000 m<sup>3</sup>/a Wasser verbraucht. Das entspricht einem Viertel des jährlichen Verbrauchs der Landeshauptstadt Innsbruck. Auch im Hinblick auf den Energiebedarf sind Beschneiungsanlagen Spitzenverbraucher. Die Werte variieren zwischen 45 und 130 kW/ha je Einsatzgerät. Im Bundesland Tirol bedeutet dies einen jährlichen Energieverbrauch von 16 GWh, was 10 % der Leistung des Innkraftwerkes bei Kufstein entspricht (NEWESELY & CERNUSCA 2000). Wichtig ist, dass diese Energie gerade in Zeiten niedriger Pegelstände und zu einer Jahreszeit generell hohen Stromverbrauchs abgerufen wird. Dies macht Schneekanonen zu besonders ungünstigen Strom- und Wasserverbrauchern.

### **3. Indirekte Auswirkungen der Eingriffe auf regionaler Ebene**

Nicht zuletzt wegen des Wintertourismus erfolgt die Erweiterung der Siedlungen auch in Gefahrenzonen hinein. Dadurch haben nachweislich die Zahl der Naturkatastrophen, Überschwemmungen, Abgänge von Muren und Lawinen etc. zugenommen (THIERER & HOH 1983). Zu den indirekten Auswirkungen gehören aber auch der Bau von Zufahrtsstrassen, Hotels, Pensionen sowie Problemfelder im Bereich der Abfall- und Abwasserentsorgung. Auch geht mit dem Skitourismus meist ein hohes Verkehrsaufkommen einher, das auf Zubringerstrassen zu den bekannten langen Autokolonnen, insbesondere an Wochenenden führt. Daraus ergeben sich entsprechende Schadstoff- und Lärmemissionen (SIEGMUND 1988).

Im Bereich der künstlichen Beschneiung sind die Summen- und Wechselwirkungen im regionalen Maßstab besonders wichtig für die Analyse der Gesamtsituation (nach PRÖBSTL 2004):

- ökologische Wechselwirkungen im Gewässer und dessen Umfeld
- Eignung von Arealen für die Anlage von Speicherseen
- Bedeutung und Folgen für die Trinkwassergewinnung
- Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung

#### 4. Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen

Bevor eine Bearbeitung mit Pistenfahrzeugen erfolgt, sollte die Schneedecke mindestens 30 cm mächtig sein. An Steilhängen wird eine Mindestschneehöhe von sogar 40 cm empfohlen (CERNUSCA 1985).

Außerdem ist es wichtig, die Piste an das Gelände und die Vegetation anzupassen und allergrößte Zurückhaltung bei Waldrodungen zu üben. Dabei ist auch die Vermeidung von Erdbewegungsarbeiten anzustreben wann immer es möglich ist. Wenn machbar, sollte das natürliche Bodenprofil erhalten bleiben oder zumindest das Ausgangssubstrat inklusive Grasschicht nach der Planierung entsprechend wieder aufgetragen werden um die Bodeneigenschaften nicht völlig zu verändern. Besonders oberhalb der Waldgrenze muss das Fortschreiten der Erosion ständig beobachtet und gegebenenfalls auch durch aufwendige Maßnahmen, wie beispielsweise Bepflanzungen oder das Auflegen von Rasensteinen, adäquat bekämpft werden. Einer Rekultivierung der Humusschicht muss spezielle Priorität eingeräumt werden. Zusätzlich sollten Planien in der Falllinie 100 m und ein Gefälle von 25° nicht überschreiten, hangwasserfrei sein und einen stabilen oberflächennahen Untergrund aufweisen (MOSIMANN 1986). Entscheidend ist auch die genaue Festlegung von Entscheidungsmechanismen und Genehmigungsverfahren, zum Beispiel im Rahmen einer UVP. Darüber hinaus ist das Anlegen von Ausgleichsflächen notwendig, um zumindest hier die Wasserspeicherfähigkeit und andere wichtige Aufgaben dieses sensiblen Ökosystems aufrecht zu erhalten.

Bezüglich der künstlichen Beschneigung können folgende Richtlinien angewandt werden (nach NEWSELY & CERNUSCA 2000):

- zusätzliche Durchfeuchtung der Hänge sollte vermieden werden
- wichtig ist ein intaktes Wasserableitsystem zu einem belastbaren Vorfluter (Drainage)
- ein verspätetes Ausapern der Schneedecke ist möglichst kurz zu halten
- stark durchfeuchtete und nährstoffarme Ökosysteme dürfen nicht beschneit werden
- die Bildung von Eis und freiem Wasser in der Kunstsneedecke sind zu vermeiden
- um die Erosionsgefahr gering zu halten, ist als Voraussetzung für eine Beschneigung ein Deckungsgrad an Vegetation (Phanerogamen) von mindestens 80 % anzusetzen
- eine ausreichend gute Durchwurzelung des Bodens ist essentiell
- möglichst keine chemisch-biologischen Zusätze verwenden
- Kunstsnee sollte nicht benutzt werden, um Gegenden die eigentlich nicht für den Wintertourismus geeignet sind zu erschließen
- regelmäßiges Monitoring der beschneiten Flächen

Auch eine sinnvolle Bearbeitung von Kunstsnee ist wichtig. Eine unmittelbar nach der Beschneigung durchgeführte Präparierung fördert das Entstehen sehr dichter Schneedecken. Generell sollten Pisten

eher am frühen Morgen als am späten Nachmittag oder Abend bearbeitet werden, da hier eine geringere Verdichtung erfolgt.

In Anhang 1 wird die gesamte Thematik anhand eines Schaubildes nochmals erläutert und zusammengefasst.

## 5. Literaturverzeichnis

CERNUSCA, A. (1985): Auswirkungen von Wintersporterschließungen auf alpine Ökosysteme. Untersuchungsergebnisse der MAB-Arbeitsgruppe Innsbruck. – in: MAB-Mitteilungen, **21**: 140-164.

DIETMANN, T. & L. SPANAU (1996): Renaturierung eines Skigebietes. – in: GR, **48**: 152-158.

EGGERS, R. (1993): Skisport und Ökologie. – in: Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, **103**, Schorndorf, Verlag Karl Hofmann.

GREIF, F. (1988): Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Wintersport – Zum Konflikt zwischen Ökologie und Ökonomie in Österreichs Bergen. – in: Innsbrucker Geographische Studien, **16**: 151-162.

MOSIMANN, T. (1986): Skitourismus und Umweltbelastung im Hochgebirge. – in: GR, **38**: 303-311.

NEWESELY, Ch. & A. CERNUSCA (2000): Auswirkungen der künstlichen Beschneiung von Schipisten auf die Umwelt. – in: Laufener Seminarbeiträge, Bayrische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, **6/99**: 29-38.

PRÖBSTL, U. (2004): Zwoa Brettln, a g'führiger Schnee. Auswirkungen von Beschneiungsanlagen im Alpenraum. – <http://www.naturschutzbund.at/publikationen/proebstl.html> [REV 28/07/2004]

RIXEN, Ch., V. STÖCKLI & S. WIPF (2002): Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten. – Zusammenfassung eines Forschungsprojektes am Eid. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

SIEGMUND, A. (1988): Ökologische Probleme des Skitourismus – dargestellt am Beispiel des Feldberges im Schwarzwald. – in: Mannheimer Geographische Arbeiten, **46**: 145-169.

THIERER, M. & E. HOH (1983): Skipisten gefährden die alpine Gebirgslandschaft. – in: Praxis Geographie, **12**: 36-43.

VEIT, H. (2002): Die Alpen: Geoökologie und Landschaftsentwicklung. – Stuttgart.

WISSELY, H. (2000): Überblick über die Auswirkungen von Outdoorsportarten auf Arten und Lebensgemeinschaften in den Alpen. – in: Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt, **65**: 53-64.

Anhang 1: Darstellung der Auswirkungen von Eingriffen des Skitourismus auf die Vegetation.  
 Quelle: SIEGMUND 1988: 162.

