

## AUSWIRKUNGEN VON KUNSTSCHNEE AUF SUBALPINE RASENVEGETATION

Peter Kammer und Otto Hegg

### ABSTRACT

In Savognin (Grisons, Switzerland) a skiing-area of 30 hectares (altitude: 1200-1800 metres) has been prepared with artificial snow every winter since 1978.

The present study shows that artificial snowing leads to lasting changes in oligotrophic habitats. Plants tolerant of dry, low-nutrient conditions disappear, giving way to more common mesophilous and nitrophilous species. Loss of species-diversity and banalisation of the vegetation are the results.

This is interpreted as the effect of a synergism of three different factors on artificial snow sites: 1. increased water supply, 2. increased nutrient input and 3. retardment in vegetation development.

This leads to the conclusion that oligotrophic habitats should not be covered with artificial snow.

keywords: *artificial snow, skiing-area, subalpine meadows, Switzerland*

### 1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die künstliche Beschneieung von Skipisten stellt nach dem Bau von Transportanlagen und Skipistenplanierungen die dritte Phase von skisportbedingten Landschaftseingriffen dar. In Europa sind bereits über 350 Schneesanlagen in Betrieb (CIPRA 1989), Grund genug, sich über die Auswirkungen des Kunstschnees auf die Vegetation Gedanken zu machen.

Die vorliegende Arbeit versucht, auf folgende Fragen eine Antwort zu geben:

- Wie ändert sich das Artenspektrum auf künstlich beschneiten Flächen?
- Welche durch die Kunstschneedecke veränderten Standortfaktoren sind dafür verantwortlich?

### 2. UNTERSUCHUNGSGEBIET

Savognin liegt im Oberhalbstein (Graubünden, Schweiz) auf 1200 m Meereshöhe. Klimatisch gehört es zur "Trockeninsel Mittelbündens" (GENSLER 1978). Das langjährige Mittel der jährlichen Niederschlagssummen ist dementsprechend verhältnismässig gering (943 mm), wobei die Monate Dezember bis März am trockensten sind (Monatsmittel < 60 mm). Das langjährige Jahresmittel der Temperatur beträgt 5,4 °C (SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT 1987a und 1987b).

Die Schneesanlage Savognin besteht seit 1978. Sie beschneit eine Fläche von 30 ha zwischen 1200 und 1800 m im Druckluftverfahren. Die durchschnittliche Mächtigkeit der aufgebrauchten Kunstschneedecke beträgt 60 cm. Das benötigte Wasser wird der Julia, dem Talfluß, entnommen.

### 3. METHODEN

Es wurden 10 Transekte in verschiedener Höhenlage quer über die Kunstschneepiste gelegt:

**Fettwiesen** (Transekte 1, 3 und 8):

*Trisetetum flavescens*, mittlere und nährstoffreich-feuchte Ausbildung (MARSCHALL 1947).

**Magerwiesen** (Transekte 2, 4, 5, 6 und 7):

*Trisetetum flavescens*, nährstoffarm-trockene Ausbildung (MARSCHALL 1947)

*Plantagini mediae-Brometum erecti* (*Mesobromion*) (BRAUN-BLANQUET 1976)

*Polygalo-Poetum violoaceae* (*Festucion variae*) (BISCHOF 1981)

**Subalpine Rasen** (Transekte 9 und 10):

*Caricetum ferrugineae* (BRAUN-BLANQUET 1969)

*Nardetum alpigenum* (BRAUN-BLANQUET 1969)

Die Transekte bestehen aus 10 bis 12 Vergleichsflächen, die im allgemeinen 10 m auseinander liegen. Pro Transekt liegen 2 bis 5 Vergleichsflächen in der beschneiten Zone (Pistenzone), 4 bis 8 in der unbeschneiten Zone (Neutrale Zone) und 0 bis 3 Vergleichsflächen dazwischen (Übergangszone).

#### Aufnahme der Vergleichsflächen

1. Frequenzmessungen mit der Point-Quadrat-Methode (siehe MÜLLER-DOMBOIS und ELLENBERG 1974). Die Größe der Vergleichsfläche betrug dabei 1 m<sup>2</sup>.
2. Schätzung der Mengenanteile nach der pflanzensoziologischen Methode (BRAUN-BLANQUET 1964); Größe der Vergleichsfläche 10 m<sup>2</sup>.
3. Andere Parameter wie z.B. durchschnittliche Bestandeshöhe, Boden-pH etc.

Die Daten wurden statistisch ausgewertet. Dabei wurden die Mittelwertdifferenzen zwischen der Pistenzone und der Neutralen Zone mittels Wilcoxon-Rangsummentest auf ihre Signifikanz untersucht (RIEDWYL 1978). Anhand der gleichen Transekte wurde die Entwicklung der Vegetation im Frühjahr verfolgt. Als Masszahl wurde ein "Entwicklungsindex" benutzt:

$$\text{Entwicklungsindex} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \text{Phänophase}_i} \quad (n = \text{Anzahl Arten})$$

Die Phänophasen wurden folgendermaßen definiert:

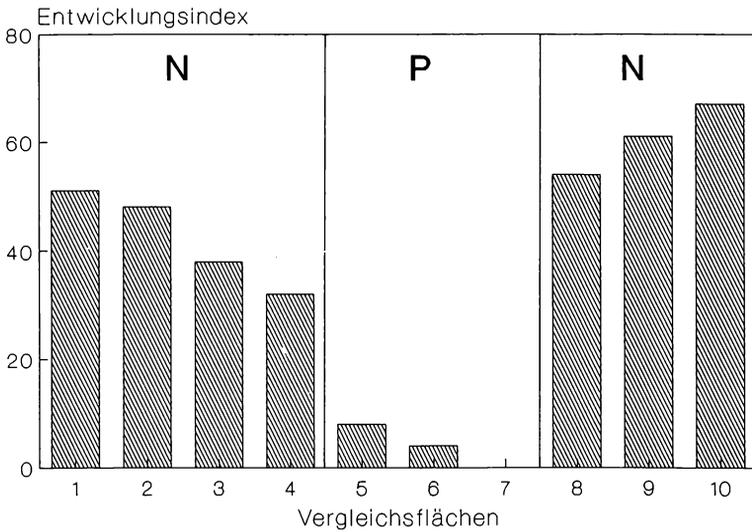
- Phänophase 0: Vegetative Phase
- 1: Blütenknospen geschlossen
  - 2: Blütenknospen am Aufgehen
  - 3: Blüten in Entfaltung
  - 4: Blüten vollständig entwickelt
  - 5: Blüten verblüht
  - 6: Früchte reif
  - 7: Samen ausgestreut

Die Entwicklung einzelner Arten auf beschneiten und unbeschneiten Flächen wurde anhand bezüglich ihrer natürlichen Standortfaktoren vergleichbaren Flächen untersucht (Vergleichsflächen E1/2 bis J1/2).

### 4. RESULTATE

#### 4.1 Vegetationsentwicklung

Die Vegetationsentwicklung auf beschneiten Flächen läuft in allen Transekten verzögert ab. Die Mittelwerte der Entwicklungsindices der Pistenzone sind zwischen 24 und 92 % kleiner als diejenigen der Neutralen Zone (Transekt 4: 92 %, vgl. Abb. 1).



**Abb. 1:** Entwicklungszustand der Vegetation (Entwicklungsindex) in den einzelnen Vergleichsflächen (1-10) in der Neutralen Zone (N) und der Pistenzone (P) des Transektes 4 (Magerwiese, 1320 m ü.M.) am 15. Mai 1988.

Im Vorsommer (Ende Juni) ist der aus der verspäteten Ausaperung der Kunstschneepiste - die lokal mehr als ein Monat betragen kann - resultierende Entwicklungsrückstand der Vegetation noch feststellbar. Zu diesem Zeitpunkt sind auf beschneiten Flächen durchschnittlich nur 15 Arten aufgeblüht, während es auf unbeschneiten durchschnittlich 33 sind. Der Entwicklungsrückstand ist - bei gleicher Exposition - an steilen Hängen am ausgeprägtesten. Dies hängt damit zusammen, daß dort im allgemeinen größere Kunstschneemengen aufgebracht werden als in flacherem Gelände. Bei der Entwicklung einzelner Arten können zwei Typen unterschieden werden (vgl. Abb. 2):

**Frühblühende Arten, *Ranunculus acris*-Typ:**

Unbeschneite Flächen: Entwicklung ist von den lokal-topographischen Standortfaktoren abhängig. Beschneite Flächen: Entwicklung ist von den lokal-topographischen Standortfaktoren abhängig; gegenüber den entsprechenden, unbeschneiten Flächen zudem verspätet.

**Spätblühende Arten, *Geranium silvaticum*-Typ:**

Unbeschneite Flächen: Entwicklung verläuft praktisch unabhängig von den lokal-topographischen Standortfaktoren. Beschneite Flächen: Entwicklung ist von den lokal-topographischen Standortfaktoren abhängig und gegenüber den entsprechenden, unbeschneiten Flächen verspätet.

Pflanzen auf beschneiten Wiesen werden im allgemeinen bei einem weniger fortgeschrittenen Entwicklungsstadium geschnitten als diejenigen auf unbeschneiten Flächen. Ihre generative Fortpflanzung ist daher dort nicht immer gewährleistet.

**4.2 Artenspektrum**

Für die nachstehenden Feststellungen werden nur signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen der Pistenzone (beschneit) und der unbeschneiten Neutralen Zone berücksichtigt (vgl. Tab. 1).

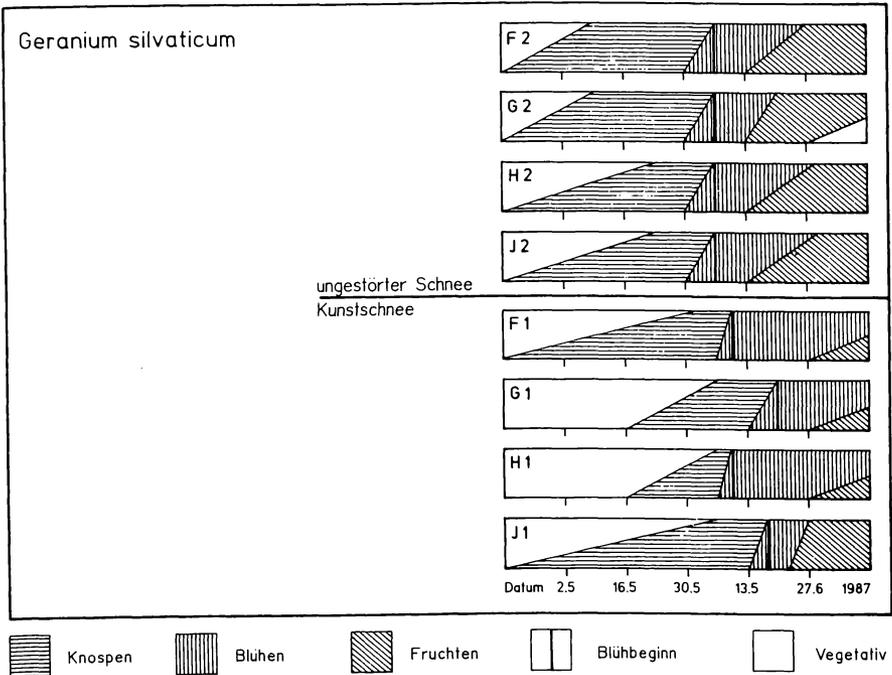
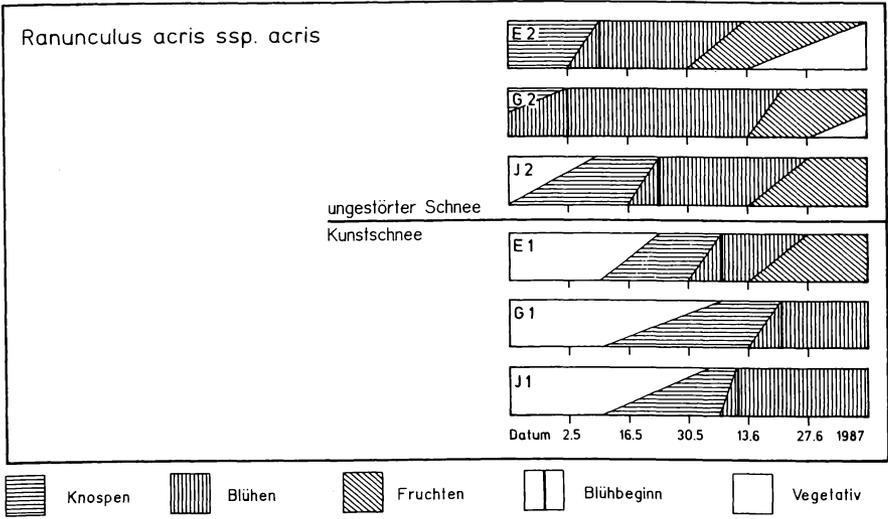


Abb. 2: Entwicklungsverlauf von *Ranunculus acris* ssp. *acris* und *Geranium silvaticum* vom 2. Mai bis 27. Juni 1987 auf beschneiten (E1 - J1) und unbeschnittenen Flächen (E2 - J2).

**Tab. 1:** Arten und Artengruppen mit Zeigerqualitäten bezüglich Feuchtigkeit und Nährstoffe. Zahlen: Mittlere Deckung (resp. mittl. Feuchte-, Stickstoffzahl) in % in der Pistenzzone bezogen auf die mittlere Deckung (resp. mittl. Feuchte-, Stickstoffzahl) in der Neutralen Zone (= 100 %).

Vegetation Transekt-Nummer	Fettwiesen			Magerwiesen				subalp. Rasen		
	1	3	8	2	4	5	6	7	9	10
Signifikant grösserer Mittelwert in der Pistenzzone:										
Mittl. Feuchtezahl (ELLENB.84)	. 111	.	.	. 112	.	.	.	.	. 106	.
Mittl. Deckung der Feuchtez.	. 247	.	.	. 250	271	.	.	.	.	.
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>	.	.	.	.	.	.	-	.	.	.
<i>Geranium silvaticum</i>	.	.	.	.	.	386	2700	.	.	.
<i>Myosotis silvatica</i>	.	.	.	. 1000	.	.	.	.	.	.
<i>Pimpinella major</i>	.	.	.	. 437	1329	.	.	.	.	.
und andere	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mittl. Stickstoffz. (ELLEN.84)	.	.	.	. 125	121	129	.	.	.	.
Mittl. Deckung der Nährstoffz.	. 111	.	.	. 190	162	195	.	.	880	295
<i>Poa alpina</i>	.	. 2075	.	.	.	385	.	.	.	.
<i>Silene dioica</i>	.	.	.	. 385	.	.	.	.	.	.
<i>Taraxacum officinale</i>	. 426	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trifolium repens</i>	830	330	.	450	.	362	.	.	.	.
und andere	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Signifikant kleinerer Mittelwert in der Pistenzzone:										
Mittl. Deckung der Trockenisz.	. 0	.	.	54	27	.	56	.	. 47	.
<i>Brachypodium pinnatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.
<i>Koeleria pyramidata</i>	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.
<i>Silene nutans</i>	.	.	.	.	.	.	0	.	.	.
<i>Thymus pulegioides</i>	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.
und andere	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mittl. Deckung der Magerzeiger	. 29	.	.	. 14	43	.	.	.	.	.
<i>Briza media</i>	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.
<i>Bromus erectus</i>	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.
<i>Centaurea scabiosa</i>	.	.	.	.	0	.	8	.	.	.
<i>Dianthus superbus</i>	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.
und andere	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

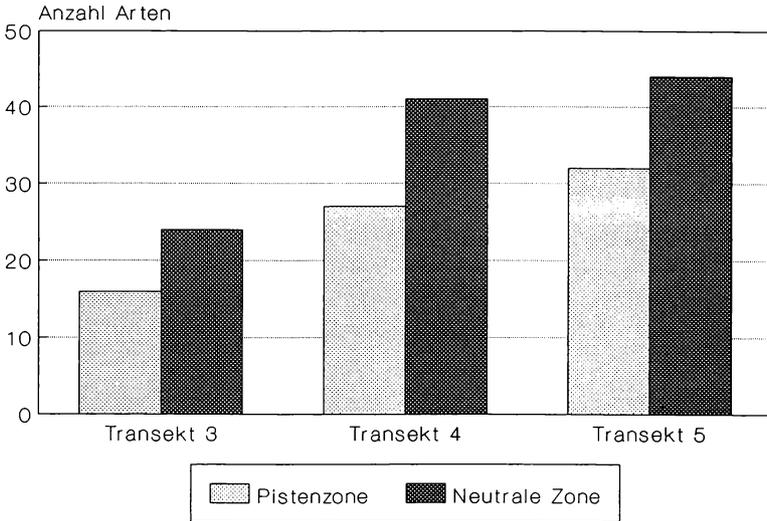
#### Magerwiesen (Transekte 2, 4, 5, 6 und 7):

In den Transekten 4, 5 und 6 ist im Bereich der Piste eine Zunahme der Nährstoffzeiger und der mittleren Stickstoffzahl festzustellen. Nährstoff-liebende Arten wie *Poa alpina*, *Silene dioica* und *Trifolium repens* weisen eine erhöhte Deckung auf.

Andererseits verschwinden Nährstoffarmut-ertragende Arten (beispielsweise *Briza media*, *Bromus erectus*, *Dianthus superbus*). In den Transekten 4 und 5 ist eine Abnahme der Magerzeiger zu verzeichnen.

Die Transekte 2, 4 und 6 zeigen in der Pistenzzone einen Rückgang der Trockeniszeiger. Trockenheit-ertragende Arten (zum Beispiel *Koeleria pyramidata*, *Silene nutans*, *Thymus pulegioides*) treten mit geringerer Deckung als in der Neutralen Zone auf.

Hingegen treten Feuchtigkeitsliebende Arten - *Chaerophyllum hirsutum*, *Myosotis silvatica*, *Pimpinella major* und andere - vermehrt auf. In den Transekten 4 und 5 ist eine Zunahme der Feuchtigkeitszeiger, in Transekt 4 außerdem eine solche der mittleren Feuchtezahl festzustellen. Mit diesen Verschiebungen des Artenspektrums ist ein Rückgang der durchschnittlichen Artenzahl pro Flächeneinheit (Transekt 4: 33 %, Transekt 5: 26 %) verbunden (vgl. Abb. 3).



**Abb. 3:** Mittlere Anzahl Arten pro 10 m<sup>2</sup> in der Pistenzone und in der Neutralen Zone der Transekte 3 (Fettwiese), 4 und 5 (Magerwiesen).

Die Transekte 4, 5 und 6 zeigen diese Sachverhalte deutlich, die Transekte 2 und 7 weniger. Dies ist bei Transekt 7 auf die uneinheitliche Bewirtschaftung zurückzuführen. Die Vegetation in Transekt 2 liegt im Übergangsbereich Fettwiese/Magerwiese.

Die Transekte 2, 4, 5 und 7 weisen eine zwischen 17 % und 33 % geringere Deckung der Gräser in der Pistenzone auf. Dies kann eine weniger gute Durchwurzelung des Bodens und damit eine größere Erosionsanfälligkeit des Hanges zur Folge haben. Zudem wird der Futterwert dieser Wiesen vermindert.

#### Fettwiesen (Transekte 1, 3 und 8):

In den Fettwiesen sind die Verschiebungen der Artenspektren im allgemeinen weniger ausgeprägt. Am deutlichsten kommen die Verhältnisse in Transekt 3 zum Ausdruck. Dort ist im Bereich der Piste eine Zunahme der Nährstoff- und Feuchtezeiger sowie der mittleren Feuchtezahl feststellbar. Gleichzeitig nehmen die Mager- und Trockenzeiger ab. Im gleichen Transekt ist ebenfalls eine Abnahme der durchschnittlichen Artenzahl pro Flächeneinheit (32 %) zu verzeichnen (vgl. Abb. 3).

#### Subalpine Rasen (Transekte 9 und 10):

Die Verschiebungen der Artenspektren sind in den subalpinen Rasen wiederum etwas deutlicher ersichtlich. In den Transekten 9 und 10 ist die Deckung der Nährstoffzeiger in der Pistenzone größer. In Transekt 10 nimmt die mittlere Feuchtezahl zu, gleichzeitig gehen die Trockenzeiger zurück. Wie bei den Magerwiesen ist auch in Transekt 9 eine Abnahme der Gräser (34 %) zu verzeichnen.

### 4.3 Veränderte Standortfaktoren

Diese Verschiebungen der Artenspektren müssen aufgrund der vorliegenden Untersuchungen als Resultat eines synergetischen Effektes von drei verschiedenen Faktoren betrachtet werden:

#### 4.3.1 Wasserhaushalt

Eine 60 cm mächtige Kunstschneedecke hat einen Wassergehalt von 200 mm. Dieser erhöht in Savognin das jährliche Niederschlagstotal um 21 %. Da die Schmelze der Kunstschneedecke gegenüber derjenigen der natürlichen Schneedecke zeitlich verzögert erfolgt, können die Pflanzen auf beschneiten Flächen länger vom reichen Schmelzwasserangebot profitieren.

#### 4.3.2 Nährstoffeintrag

Das in Savognin zur Beschneieung verwendete Wasser weist im Vergleich zu natürlichen Feuchtdepositionen (Beispiel Davos; vgl. KLÖTI 1988) höhere Calcium-, Magnesium-, Natrium-, Sulfat- und in geringerem Maße Nitrat-, Kalium- und Chlorid-Konzentrationen auf. Dies hat einen Eintrag von Nährstoffen auf die beschneiten Flächen zur Folge, der sich im Verhältnis zu den natürlichen Einträgen durch die Feuchtdeposition in Savognin insbesondere beim Sulfat, Calcium und Magnesium manifestiert (vgl. Tab. 2).

**Tab. 2:** Ionenkonzentration der Julia (eigene Erhebung: Mittel aus 3 Proben Winter 1987 und MOSIMANN 1987; mittlere Gehalte Winter 1987) und der Feuchtdeposition in Davos GR (KLÖTI 1988: jährliche Stoffkonzentrationen 1987).  
 Jährlicher Nährstoffeintrag durch natürliche Feuchtdeposition (Niederschlagstotal von Savognin, Ionenkonzentrationen von Davos) und zusätzlicher Nährstoffeintrag durch eine 60 cm mächtige Kunstschneedecke (Ionenkonzentrationen Julia).

	Ionenkonzentrationen mg/l		Nährstoffeintrag kg/ha	
	Julia	Feucht- deposition	Kunst- schnee	Feucht- deposition
Ammonium $\text{NH}_4^+$	0,049	0,177	0,098	1,669
Nitrat $\text{NO}_3^-$	1,800	1,258	3,600	11,863
Phosphat $\text{PO}_4^{3-}$	0,005		0,010	
Calcium $\text{Ca}^{2+}$	7,400	0,206	14,800	1,943
Magnesium $\text{Mg}^{2+}$	3,900	0,027	7,800	0,255
Kalium $\text{K}^+$	0,700	0,279	1,400	2,631
Natrium $\text{Na}^+$	2,400	0,081	4,800	0,764
Chlorid $\text{Cl}^-$	1,000	0,197	2,000	1,858
Sulfat $\text{SO}_4^{2-}$	47,000	0,974	94,000	9,185
pH-Wert	8,520	4,700		
Niederschläge mm			200	943

Der im Verhältnis zur Feuchtd deposition hohe pH-Wert des Julia-Wassers ist vornehmlich auf die Calcium- und Magnesium-Konzentrationen zurückzuführen. Diese haben auf beschneiten Flächen zu einer Erhöhung des Basengehaltes im Boden geführt, so daß nach 8 Jahren Beschneien in den Transekten 2, 4 und 7 in der Pistenzone signifikant höhere pH-Werte in 5 und 15 cm Bodentiefe gemessen wurden.

### 4.3.3 Bewirtschaftung

Der im Vergleich zu unbeschneiten Wiesen bezüglich Entwicklungsgrad der Vegetation verführte Schnitt der beschneiten Wiesen (vgl. Abschnitt 4.1) vermindert die Konkurrenzkraft der langsamer wachsenden Pflanzen.

Wie bereits in Abschnitt 4.1 angedeutet, ist der Entwicklungsindex indirekt von der Mächtigkeit der Kunstschneedecke abhängig. Je mehr Kunstschnee pro Flächeneinheit aufgebracht wird, desto geringer der Entwicklungsindex, umso größer jedoch der Wasser- und Nährstoffeintrag. Diese Korrelationen zwischen Entwicklungsindex einerseits und Feuchte- bzw. Stickstoffzahl andererseits zeigen sich deutlich in den Abbildungen 4 und 5.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die künstliche Beschneieung zerstört mittelfristig oligotrophe Standorte. Eine Verschiebung des Artenspektrums von Trockenheit- und Nährstoffarmut-ertragenden Arten zu Feuchtigkeit- und Nährstoff-liebenden und damit eine Trivialisierung der Vegetation sowie ein Verlust der Artenvielfalt sind die Folgen.

Die Beschneieung von Magerwiesen und -weiden sowie von Hoch-, Übergangs- und Flachmooren (evtl. auch von Zwergstrauchheiden) ist aus ökologischer und naturschützerischer Sicht grundsätzlich und ausnahmslos abzulehnen.

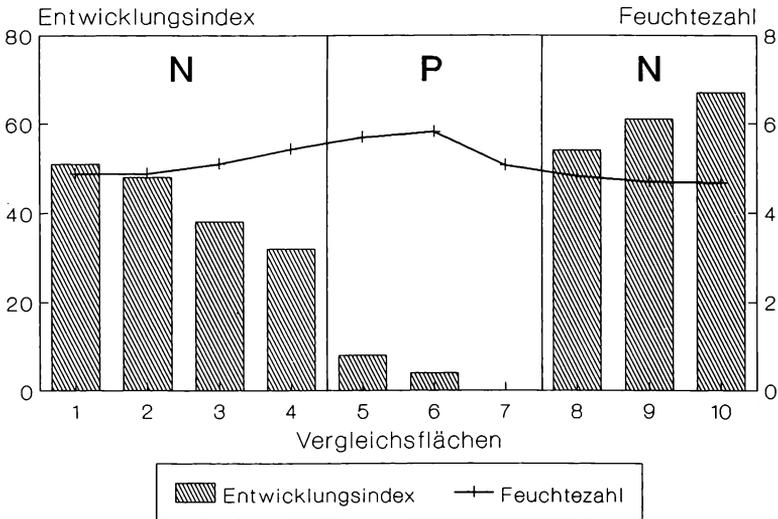
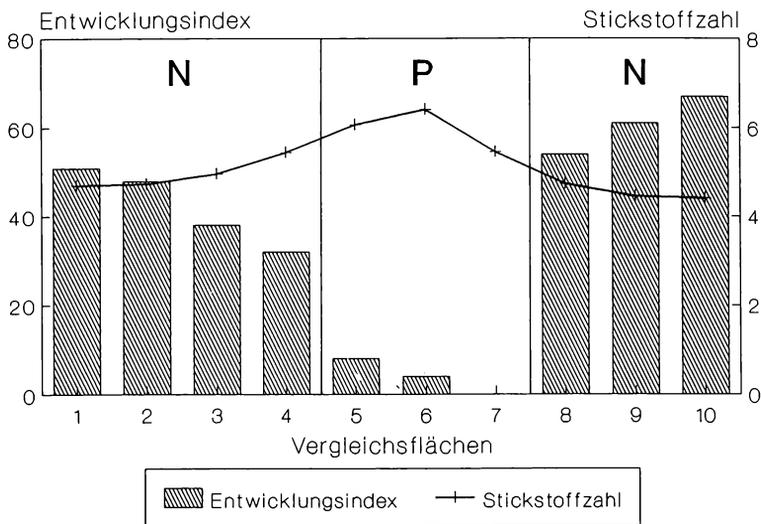


Abb. 4: Entwicklungsindex (15.5.1988) und mittlere Feuchtezahl nach ELLENBERG 1984 der Vergleichsflächen (1-10) in der Neutralen Zone (N) und der Pistenzone (P) des Transektes 4 (Magerwiese).



**Abb. 5:** Entwicklungsindex (15.5.1988) und mittlere Stickstoffzahl nach ELLENBERG 1984 der Vergleichsflächen (1-10) in der Neutralen Zone (N) und der Pistenzone (P) des Transektes 4 (Magerwiese).

#### LITERATUR

- BISCHOF N., 1981: Gemähte Magerrasen in der subalpinen Stufe der Zentralalpen (*Geomontani-Nardetum maianthemetosum bifoliae* und *Polygalo-Poetum violaceae*). - Bauhinia, Band 7, Heft 2, Basel.
- BRAUN-BLANQUET J., 1964: Pflanzensoziologie, Grundsätze der Vegetationskunde. - 3. Auflage. Springer Verlag Wien und New York.
- BRAUN-BLANQUET J., 1969: Die Pflanzengesellschaften der rätschen Alpen im Rahmen ihrer Gesamtverbreitung. - 1. Teil. Bischofberger & Co. Chur.
- BRAUN-BLANQUET J., 1976: Fragmenta Phytosociologica Raetica VII, Halbtrocken- und Trockenrasen (*Mésobromion* und *Stipo-Poion xerophilae*). - Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, 58 Zürich.
- CIPRA, 1989: Beschneidungsanlagen im Widerstreit der Interessen. - Int. Alpenschutz-Kommission, Kleine Schriften 3/89, Vaduz.
- ELLENBERG H., 1984: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. - Verlag Eugen Ulmer, 4. Auflage. Stuttgart.
- GENSLER G. A., 1978: Das Klima von Graubünden. Ein Beitrag zur Regionalklimatologie der Schweiz. - Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt Nr. 77, Zürich.
- KLÖTI P., 1988: Schlußbericht Teilprojekt "Bestandesniederschlag". - Nationales Forschungsprogramm 14 "Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz", Birmensdorf, (Manuskript).
- MARSCHALL F., 1947: Die Goldhaferwiese der Schweiz. Eine soziologisch-ökologische Studie. - Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme, Heft 26, Verlag Hans Huber, Bern.
- MOSIMANN T., 1987: Schneeanlagen in der Schweiz, Aktueller Stand - Umwelteinflüsse - Empfehlungen. - Materialien zur Physiogeographie, Heft 10, Geographisches Institut der Universität Basel.

- MÜLLER-DOMBOIS D., ELLENBERG H., 1974: Aims and Methods of Vegetation Ecology. - J. Wiley & Sons, New York, London, Sidney, Toronto.
- RIEDWYL H., 1978: Angewandte mathematische Statistik in Wissenschaft, Administration und Technik: eine Einführung. - Verlag Paul Haupt, 2. Auflage, Bern.
- SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT, 1987a: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. - 4. Quartalsheft, Zürich.
- SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT, 1987b: Jahrestabelle Alvaneu 1987. - Zürich.

#### ADRESSE

Peter Kammer,  
PD Dr. Otto Hegg  
Systematisch geobotanisches Institut  
der Universität Bern  
Altenbergrain 21  
CH-3013 Bern  
SCHWEIZ

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://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): Hegg Otto, Kammer Peter

Artikel/Article: [Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation 758-767](#)