Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 96 (1988)

Artikel: Auswirkungen des Skibetriebes auf subalpine Heuwiesen bei Davos = effects of skiing on subalpine hayfields near Davos

Autor: Meisterhans-Kronenberg, Hanna

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308877

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 96. Heft

Auswirkungen des Skibetriebes auf subalpine Heuwiesen bei Davos

Effects of skiing on subalpine hayfields near Davos

von Hanna MEISTERHANS-KRONENBERG

1988

Ich bin ein Gast auf Erden; Herr verbirg
deine Gebote nicht vor mir. Psalm 119,19

INHALT

Vorwort 4

1. Einleitung und Problemstellung 5
2. Untersuchungsgebiet und Methoden 8
   2.1. Uebersicht über das Untersuchungsgebiet 8
      2.1.1. Geographische Lage 8
      2.1.2. Klima 8
      2.1.3. Geologie 11
      2.1.4. Skibetrieb auf der Clavadeler Alp 11
   2.2. Lage der Untersuchungsflächen und Versuchsanordnung 11
   2.3. Methoden 13
      2.3.1. Ausaperung 13
      2.3.2. Phänologische Beobachtungen 13
      2.3.3. Pflanzensoziologische Aufnahmen 14
      2.3.4. Oekologische Zeigerwerte 15
      2.3.5. Ertragserhebung 15
      2.3.6. Nährstoffanalysen 15
   2.4. Auswertung 16
      2.4.1. Pflanzensoziologische Auswertung 16
      2.4.2. Auswertung der Zeigerwerte 17
3. Ergebnisse 18
   3.1. Ausaperung 18
      3.1.1. Verlauf der Ausaperung 18
      3.1.2. Die Bildung einer Eisschicht 19
      3.1.3. Das Gefrieren des Bodens 21
   3.2. Phänologische Beobachtungen 23
      3.2.1. Die erste Entwicklung der Pflanzen 23
      3.2.2. Crocus albiflorus 25
      3.2.3. Taraxacum officinale s.l. 28
      3.2.4. Ligusticum mutellina 31
      3.2.5. Silene dioeca 31
      3.2.6. Mittlere Höhe der Krautschicht 31
   3.3. Pflanzensoziologische Aufnahmen 37
      3.3.1. Vegetationstabelle 37
      3.3.2. Beschreibung der Artengruppen 37
      3.3.3. Beschreibung der Aufnahmegruppen 41
      3.3.4. Ordination der Aufnahmen 44
   3.4. Beziehung zwischen dem Vorkommen der Arten und Aufnahmen und ihrer Lage zur Piste 48
   3.5. Ertragserhebungen 54
   3.6. Nährstoffanalysen 56
4. Diskussion 59
   4.1. Einfluss der Skipisten auf Schneedecke und Vegetationsentwicklung 59
   4.2. Einfluss der Skipisten auf Artenzusammensetzung und Ertrag 63
   4.3. Unterschiede in der Auswirkung des Skibetriebes zwischen montanen und subalpinen Wiesen 67
5. Schlussfolgerungen 69

Zusammenfassung - Summary 70

Literaturverzeichnis 75

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1981 bis 1987 am Geobotanischen Institut ETH, Stiftung Rübel in Zürich.
Ich möchte allen herzlich danken, die zu ihrer Entstehung beigetragen haben. In erster Linie danke ich Herrn Prof. E. Landolt, der mir ermöglichte die Arbeit am Institut zu machen und mich bei der Durchführung immer wieder anleitete und unterstützte. Weiter danke ich Herrn Prof. F. Klötzli, der sich als Korreferent zur Verfügung stellte, mir bei der Erstellung der Vegetationstabelle behilflich war und das Manuskript kritisch durchlas. Herrn Dr. H. Doing danke ich für seine Anregungen zu Beginn der Arbeit und für die Beurteilung des Manuskriptes.
Herrn Prof. R. Hundt, Halle DDR, danke ich für die gemeinsame Begehung des Geländes und die Vorschläge bezüglich der Anordnung der Untersuchungsflächen sowie für die interessanten Gespräche in Clavadel.
Mein Dank gilt insbesonders auch Herrn P. Rüesch, der seine Wiese für meine Untersuchungsflächen zur Verfügung stellte, sowie ihm und seiner Frau für die Gastfreundschaft in ihrem Haus.
Herrn R. Graf danke ich für das Anfertigen eines Rahmens, der leicht zu tragen und einfach zusammenzusetzen war. Herrn Dr. E. Meier (FAP, Rekkenholz) und seinen Mitarbeitern danke ich für die Analyse der Futterproben. Mein weiterer Dank gilt Frau A. Honegger für die Einführung in die Benutzung des Textverarbeitungssystems.
Herzlich danke ich auch allen Mitarbeitern unseres Institutes, vor allem der "Alpinen Gruppe" für ihre Mithilfe, ihre Anregungen und die gemütlichen Stunden in Clavadel.
Frau V. Fäh und Frau S. Türler danke ich herzlich für die englische Uebersetzung und meinem Schwiegervater für die vielen Korrekturen im deutschen Text.
Meine Eltern ermöglichten mir das Biologie-Studium und viele Ferien in den Alpen, in welchen ich die Schönheit der Berge kennenlernte. Sie finanzierten den Anfang meines Aufenthaltes in der Schweiz.
Zu grossem Dank verpflichtet bin ich der Eidgenössischen Stipendienkommission für ausländische Studierende, dem Nationalfonds und der Eidgenössischen Technischen Hochschule, die diese Arbeit finanziell unterstützten.
Ein ganz besonderer Dank gehört meinem Ehemann Edi für seine Aufmunterungen und seine Hilfe im Felde sowie beim Auswerten und Schreiben.

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Seit anfangs der sechziger Jahre hat der Skibetrieb dank grösserer Mobilität, mehr Freizeit, zunehmendem Bau von Aufstiegshilfen usw. sehr stark zugenommen. Zwischen 1960 und 1975 hat sich in Oesterreich die Zahl der mit Hilfe von Skiliften und Bergbahnen beförderten Personen von 51 Millionen auf 150 Millionen verdreifacht (CERNUSCA 1977). Eine ähnliche Entwicklung fand in der Schweiz statt. Im Jahr 1960 betrug die stündliche Transportleistung für Touristen 202'200 Personen. Zehn Jahre später hatte sie sich verdreifacht und im Jahr 1981 war die Transportleistung sechsmal so gross (THELIN 1983).

Abfahrtpisten wurden anfänglich mit handgezogenen Walzen und durch Treten mit den Skis gepflegt. Diese schwere und wenig wirkungsvolle Arbeit war dem Andrang bald nicht mehr gewachsen. An der Winterolympiade 1964 in Innsbruck kamen zum erstenmal Pistenfahrzeuge zu grossem Einsatz, und damit war die Aera der mechanischen Pistenpflege eingeleitet (SCHLEUNIGER 1969).

Zu Beginn führten die Skipisten über offenes Gelände (Weiden und Wiesen) und durch bestehende Waldlichtungen, waren also landschaftsgerecht. Aber schon anfangs der sechziger Jahre wurden zur Beseitigung der unfallgefährdeten Stellen lokale Planien durchgeführt. An ihre Stelle traten bald grossflächige Planierungen zur Schaffung eigentlicher "Skibahnen". Für die Einwirkungen der Skipistenplanierungen auf ihre Umwelt und die Probleme ihrer Wiederbewachsung sei verwiesen auf CERNUSCA (1977), KLOETZLI und SCHIECHTL (1979), MEISTERHANS (1988), MOSIMANN (1981, 1983, 1984, 1985) sowie MOSIMANN und LUDER (1980).

Der Aufschwung des Skisportes und besonders des Pistenskifahrens schuf viele Probleme für die Berglandwirtschaft. Nach PFIFFNER (1978) sind es im wesentlichen folgende:

- Beanspruchung von Baugrund für die Errichtung von Masten, Stützen, Parkplätzen, Stations-, Betriebs- und Restaurationsgebäuden
- Erstellen von unter- und oberirdischen Leitungen für Elektrizität, Telephon, Wasser und Abwasser
- Schäden durch Touristen bei der Benützung von Alphütten und Stadel als Unterkünfte und Alphüttendächern als Liegeflächen
- Bauverbot auf Skipistenflächen

- Freihaltung der Skipisten durch Entfernen von Sträuchern und Niederlegen oder Oeffnen von Weidezäunen
- Behinderung der Holzerarbeiten, falls Skipisten überquert werden müssen oder Seilbahnanlagen gefährdet sind
- erschwerter Zugang zu Höfen und Ställen.

Noch schwerer fallen die Ertragsverluste ins Gewicht. Einerseits gehen beim Bau der Anlagen Nutzflächen gänzlich verloren, anderseits schmälert die mechanische Pistenpflege die Erträge. Die Pistenfahrzeuge drücken den Schnee so zusammen, dass die schützende und isolierende Wirkung der von vielen Hohlräumen aufgelockerten natürlichen Schneedecke grossenteils verloren geht. Die Verdichtung der Schneedecke führt zudem zu Eisbildung und einer dadurch verspäteten Ausaperung der Pistenflächen mit entsprechender Verkürzung der Vegetationszeit. So konstatierten PFIFFNER (1978), SCHNITZER (1977, 1983), SCHNITZER und KOECK (1980), VOELKE (1977), VON WYL und TROXLER (1984) auf Heuwiesen Ertragseinbussen als Folge maschineller Pistenpräparierung. Die gleichen Autoren stellten ebenfalls eine Veränderung in der Artenzusammensetzung der Vegetation fest, wobei für das Vieh zartere Arten (z.B. Festuca pratensis, Trifolium pratense) durch zähere Arten (z.B. Festuca rubra, Anthoxanthum odoratum) verdrängt wurden.

Diese Ertragserhebungen und Untersuchungen über die Artenzusammensetzung und die Entwicklung der Arten auf Fettwiesen wurden in der montanen Zone (bis ca. 1500 m) durchgeführt. Ueber den Einfluss des Skibetriebes auf Fettwiesen in der subalpinen Zone, wo die Klima- und Standortsfaktoren extremer sind, liegen keine Daten vor. Weiter bestehen kaum Ergebnisse über die phänologische Entwicklung der Pflanzen im Zusammenhang mit der verzögerten Ausaperung, die durch den Skibetrieb verursacht wird.

Die Skipisten, die sich auf Heuwiesen befinden, werden in der Regel gesperrt, bevor die Flächen aper werden, folglich sind hier direkte Schäden an der Grasnarbe selten. Hingegen werden Zwergstrauchheiden, Borstgras- und Krummseggenrasen von den scharfen Skikanten und den Pistenfahrzeugen vielerorts abgeschert. Diese direkten Schäden an Vegetation und Boden und deren Regenerationsmöglichkeiten wurden in subalpinen und alpinen Rasen und in Zwergstrauchheiden u.a. von BAYFIELD (1971), GRABHERR (1979, 1983), HOFER (1979), KOERNER (1980), QUILLET (1984) und SCHAUER (1981) untersucht.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Auswirkungen des Abfahrtskibetriebes auf subalpinen Grünlandvegetationen zu erforschen. Dabei sollte vor allem geklärt werden:

- wieweit die maschinelle Pistenpräparierung durch die Verdichtung der Schneedecke, die Eisbildung und die Verzögerung der Ausaperung sich auf die phänologische Entwicklung, die Artenzusammensetzung und die Ertragsleistung in subalpinen Fettwiesen (Trisetion) auswirkt
- wieweit Unterschiede in den Auswirkungen des Skibetriebes zwischen der montanen und subalpinen Zone festzustellen sind.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Rahmen des Man-and-Biosphere (MaB-6) Projektes Davos (vgl. WILDI und EWALD 1987) unter dem Teilprojekt Vegetation durchgeführt. Die aktuellen und potentiellen Ertragsleistungen der gedüngten Wiesen wurden von PETERER (1986) untersucht. Dabei stellte sich die Frage des Ertragsausfalles durch die vielerorts vorhandenen Skipisten.

Die Inhomogenität des Reliefs und die Unterschiede in der Bewirtschaftung erschwerten die Auswahl ähnlicher Flächen im Pistenbereich und daneben. Deshalb wurde die Untersuchung auf einer einheitlich bewirtschafteten Wiese durchgeführt und konzentrierte sich besonders auf die Entwicklung im Pistenbereich.

2. UNTERSUCHUNGSGEBIET UND METHODEN

2.1. UEBERSICHT UEBER DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

2.1.1. Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet ist der westexponierte Hang des Jakobshorns (2590 m, Koordinaten: 784.000/183.000) bei Davos im Kanton Graubünden im östlichen Teil der Zentralalpen. Es umfasst die Fettwiesen der Oberen Clavadeler Alp auf ca. 2040 m (Abb. 1).

2.1.2. Klima

Abb. 2 zeigt die Klimadiagramme von Davos, der Schatzalp und von Zürich (aus WALTER und LIETH 1960-1967). Die mittleren jährlichen Niederschläge betragen in Davos (1560 m) 959 mm und auf der Schatzalp (1868 m) 1075 mm. Im Sommer fällt zwei Fünftel der Jahresmenge, in den anderen Jahreszeiten durchschnittlich je ein Fünftel (URFER u.a. 1979). Die Hälfte der Niederschläge ist Regen, ein Drittel Schnee und der Rest Mischniederschlag (ECKEL 1938). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt in Davos (1561 m) 2.7°C und auf der Schatzalp (1868 m) 2.4°C. Während des ganzen Jahres können im Untersuchungsgebiet Fröste und Schneefall auftreten. Die schneefreie Vegetationsperiode ist von Exposition und Relief abhängig. Sie beträgt auf den Untersuchungsflächen ungefähr fünf Monate. Im Vergleich mit den langjährigen Mittelwerten (1901-1960) von Temperatur und Niederschlag ergab die Witterung während der Untersuchungsperiode folgende charakteristische Merkmale und Abweichungen, insbesondere für Davos, 1580 m (Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt):

1981/82 Winter (Monate: XI-IV)	- 1981 kalt, Januar mild, März und April sehr kalt - sehr niederschlagsreich, Februar und April sehr trocken
1982 Frühling (V-VI)	- Mai anfangs kalt, gegen Ende kräftige Erwärmung, Juni warm - Juni sehr niederschlagsreich

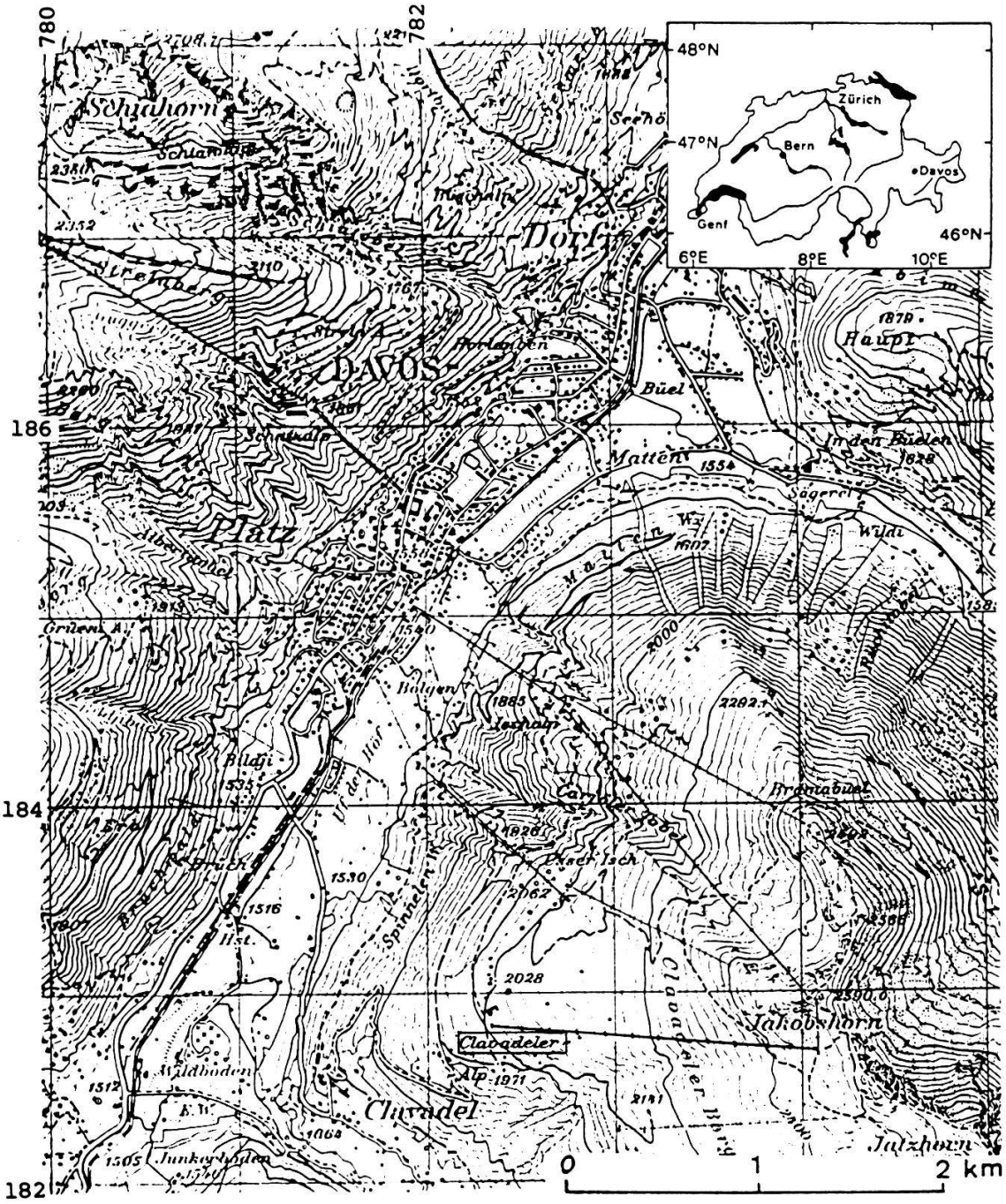


Abb. 1. Lage des Untersuchungsgebietes; Ausschnitt aus der LK Blatt 248, 1:50.000 (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie von 30.1.1987).

Fig. 1. Location of the study area and its relationship to other places in Switzerland. Scale 1:50.000.

1982 Sommer und Herbst (VII-X)	- ganze Periode mit überdurchschnittlichen Temperaturen - August nass, im übrigen relativ trocken
1982/83 Winter (XI-IV)	- bis Ende Januar sehr mild, Februar sehr kalt, März und April warm - Januar sehr niederschlagsreich, Februar und März trocken
1983 Frühling (V-VI)	- Mai kalt, anfangs Juni sprunghafte Erwärmung bis zu hochsommerlichen Werten - Mai sehr nass, Juni trocken
1983 Sommer und Herbst (VII-X)	- sehr warm - Juli sehr trocken, September überdurchschnittlich niederschlagsreich
1983/84 Winter (XI-IV)	- 1983 und Januar warm, nachher kalt - Niederschlagsmengen etwas unter dem Durchschnitt, anfangs Februar stärker Schneezuwachs, April trocken
1984 Frühling (V-VI)	- kalt - Niederschlag etwas unter dem Durchschnitt

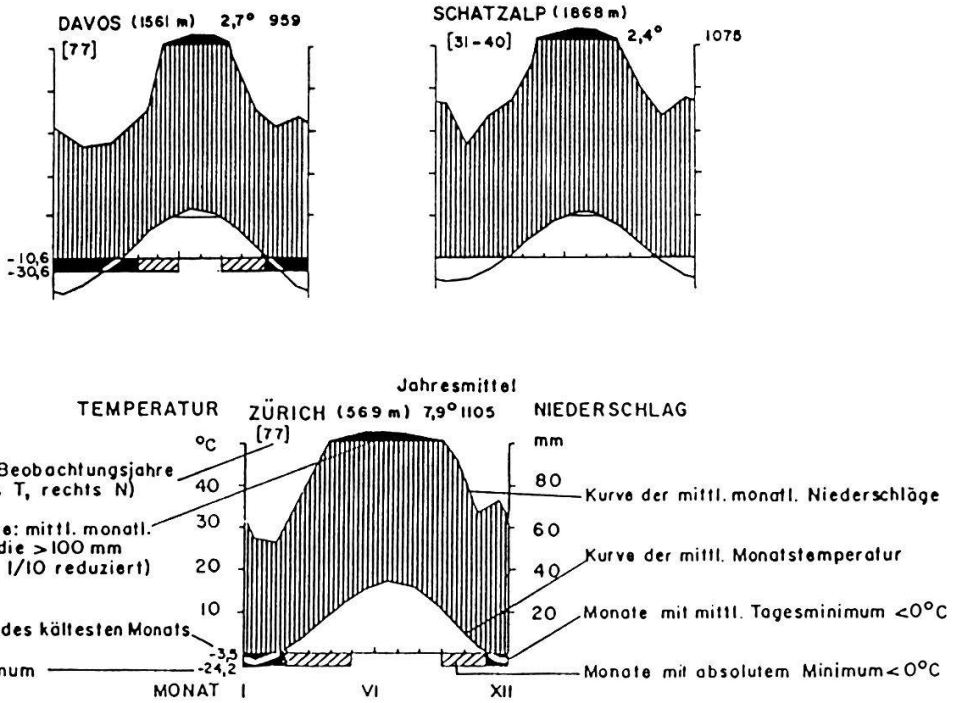


Abb. 2. Klimadiagramme nach WALTER und LIETH (1960-1967) von Davos, Schatzalp und Zürich aus GIGON (1971).

Fig. 2. Climatic diagrams after WALTER and LIETH (1960-1967) of Davos, Schatzalp, and Zürich from GIGON (1971).

2.1.3. Geologie

Das Jakobshorngebiet gehört zur Silvretta-Decke und besteht aus Silikatgesteinen. Im oberen Teil der Westseite sind es Amphibolitgneise mit Uebergang zu Hornblendegneisen, wechsellagernd mit glimmerreichen Gneisen und Glimmerschiefern. Weiter unten sind es biotitreiche Gneise und Moränenablagerungen aus der letzten Eiszeit (Geotechnische Karte 1963).

2.1.4. Skibetrieb auf der Clavadeler Alp

Seit 1958 die Luftseilbahn auf das Jakobshorn und 1959 der Skilift "Clavadeler Alp" in Betrieb genommen wurden, ist der untersuchte Hang eine beliebte Abfahrtstrecke. Nach dem Aufkommen der Pistenmaschinen konnte die Piste ab Ende der sechziger Jahre maschinell präpariert werden. Im Winter 1982/83 erzielte der Skilift "Clavadeler Alp" einen Tagesdurchschnitt von 3008, im Spitzenmonat Februar einen solchen von 3443 Personen (GUENTER 1985). Die Skisaison beginnt meistens an Weihnachten und dauert in der Regel bis Ostern. Doch je nach Schneeverhältnissen und Witterung wird bis Ende April skigefahren.

2.2. LAGE DER UNTERSUCHUNGSFLAECHEN UND VERSUCHSANORDNUNG

Die Untersuchungen in Fettwiesen wurden auf der Oberen Clavadeler Alp (ca. 2040 m) durchgeführt, die gegen Westen exponiert ist und deren Hangneigung zwischen 25% und 40% liegt (Abb. 1 und 3).
Im Jahr 1926 wurde auf der Clavadeler Alp eine umfassende Melioration ausgeführt. Aus dem verödeten kupierten Gelände mit Mähdern, die nur alle zwei Jahre gemäht werden, entstand eine ausgeebnete Alpwiese mit alljährlich gutem Ertrag (GUENTER 1985).
Von der Artenzusammensetzung her können die Bestände zu den mutternreichen Goldhaferwiesen (Polygono-Trisetion) (ZUMBUEHL 1986) gerechnet werden. Auf Grund einer Untersuchung der Höhendifferenzierung des Polygono-Trisetion-Verbandes gehören diese Fettwiesen der Potentilla aurea-Subassoziation der Hang-Triseten (Campanula scheuchzeri-Trisetum flavescens-Gesellschaft) an (HUNDT 1985).

Der Boden besteht aus lehmig-sandiger, sehr skelettreicher sowie ziemlich flachgründiger saurer Braunerde (KRAUSE 1986).
Die Wiesen werden seit der Melioration einmal pro Jahr etwa Ende Juli gemäht und im Herbst schwach beweidet. Der untersuchte Bestand wird alljährlich einmal im Herbst mit Stallmist und Gülle gedüngt, der untere Pistenteil beim Restaurant im Frühling nochmals mit Gülle. Infolge der jährlichen Mistgabe ist der Boden in den Fettwiesen nur mässig sauer und hat eine grosse Regenwurmaktivität. Der pH-H_2O Wert in 10 cm Bodentiefe beträgt 6.1 (n=19) und in 20 cm Tiefe 6.3 (n=9).

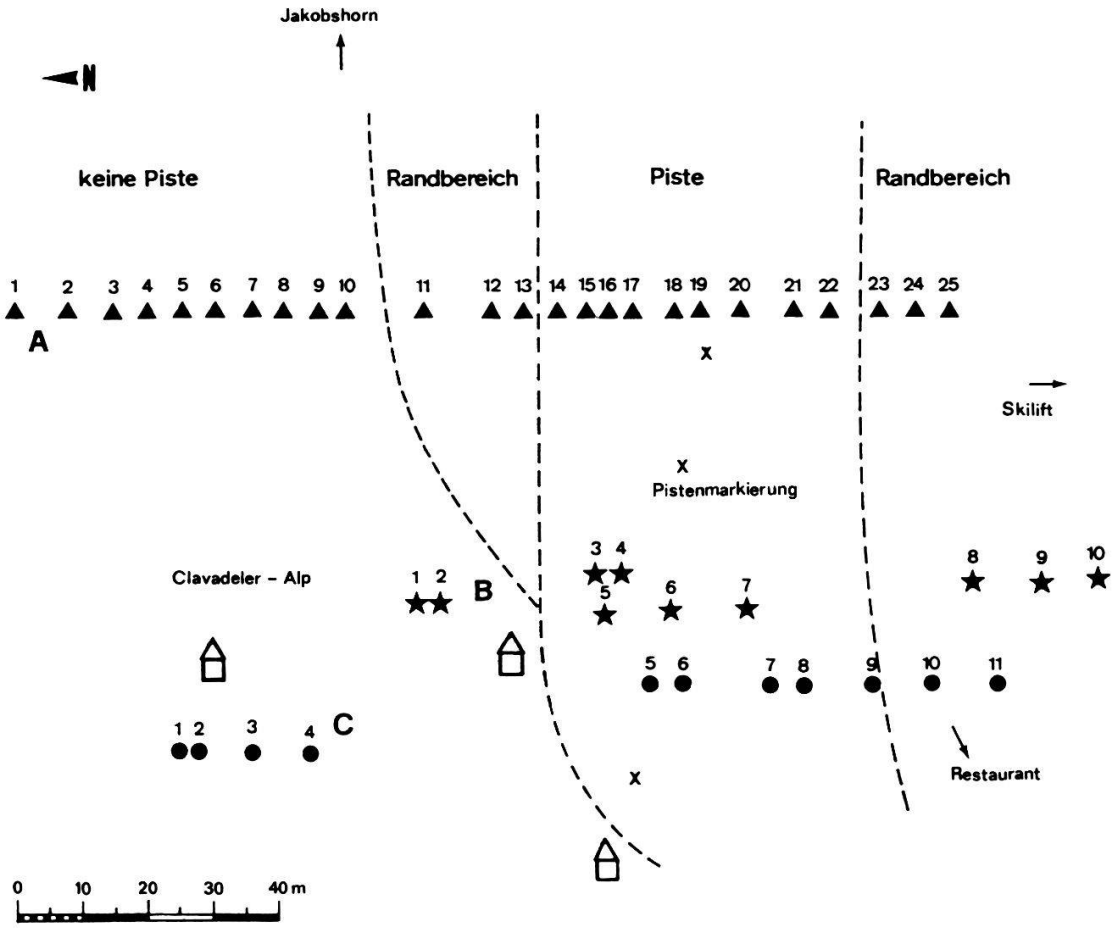


Abb. 3. Lage der Untersuchungsflächen im beobachteten Pistenabschnitt.
Fig. 3. Situation of the investigated plots within the ski run observed.

Transekten: ▲ A, ★ B, ● C

Insgesamt wurden drei Transekte eingerichtet: ein 140 m langer Transekt A und je ein ungefähr 100 m langer Transekt B und C (Abb. 3). In den Transekten wurden 1 m^2 (125x80 cm)-Flächen mit zwei Holzpfosten markiert, 25 im Transekt A, 10 im Transekt B und 11 im Transekt C. Die Flächen lagen teilweise neben der Piste, auf der Piste und dazwischen im weniger oft präparierten Randbereich.
Es wurden vorwiegend Flächen mit möglichst wenig Relief ausgewählt, welche ungefähr die gleiche Neigung aufwiesen. Der Abstand zwischen den einzelnen Flächen war daher variabel.

2.3. METHODEN

2.3.1. Ausaperung

Im Bereich der Transekte wurde im Frühling 1983 und 1984 der Verlauf der Ausaperung verfolgt. Dabei wurden die Höhe der Schneedecke, die Mächtigkeit einer allfällig auf dem Boden anliegenden Eisschicht, sowie die Frosttiefe des Bodens gemessen.

2.3.2. Phänologische Beobachtungen

In jedem markierten Quadratmeter der drei Transekte wurde 1982 zwischen dem 22. Juni und dem 14. Juli dreimal und 1983 zwischen dem 4. Juni und dem 20. Juli sechsmal eine phänologische Aufnahme gemacht. Bei diesen Untersuchungen wurden die folgenden vier Entwicklungsphasen unterschieden: Blütenknospen, Blüten, verwelkte Blüten und Früchte. Bei 18 häufigeren Arten wurde die Anzahl der Individuen in den verschiedenen phänologischen Phasen erfasst. Berücksichtigt wurden die folgenden 18 Arten: Alchemilla sp. in den meisten Fällen A. monticola, Crocus albiflorus, Geranium silvaticum, Ligusticum mutellina, Myosotis silvatica, Poa alpina, P. supina, Potentilla aurea, Ranunculus acer, R. montanus, Rumex arifolius, Silene dioeca, Soldanella alpina, Taraxacum officinale s.l., Trifolium badium, T. pratense-nivale, T. repens und Trollius europaeus. Nur Pflanzenindividuen mit Blütentrieben wurden berücksichtigt. Die ma-

ximale Anzahl Individuen, die je in einer Fläche gezählt wurde, stellte den 100%-Wert dar. Alle anderen Werte sind hierauf bezogen worden.
Die Aufnahme Nr. 17 des Transektes A wurde im Jahr 1983 bei den phänologischen Beobachtungen und beim Schnitt nicht mehr berücksichtigt, weil sich dort eine schwache Rille befand.

2.3.3. Pflanzensoziologische Aufnahmen

Die Vegetation der Flächen wurde nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (BRAUN-BLANQUET 1964, MUELLER-DOMBOIS 1977) beschrieben. Zur Schätzung der Deckung der einzelnen Arten wurde eine verfeinerte Skala, leicht abgeändert nach BARKMAN et al. (1964), verwendet (Tab. 1). Die Nomenklatur der Blütenpflanzen richtete sich nach HESS et al. (1976-1980). Von jedem markierten Quadratmeter der Transekte wurde vom 14.-17. Juli 1982 und vom 18.-19. Juli 1983, jeweils kurz vor dem Heuschnitt, eine Aufnahme gemacht. Nur von den Frühlingspflanzen Crocus albiflorus und Soldanella alpina wurde die höchste Deckung Mitte Juni berücksichtigt.

Tab. 1. Schätzskala für den Deckungsgrad und die Umwandlung in numerische Werte für die mathematische Auswertung.
Table 1. Scale for the estimation of plant cover and transformation used for numerical analyses.

Aufnahmeskala (nach BARKMAN et al. 1964) leicht abgeändert	Skala der Vegetationstabelle	Deckungsbereich %	Bei der numerischen Auswertung verwendete Werte	
			Ordinale Skala	Oekologische Zeigerwerte (nach LANDOLT 1977)
+	+	<1.0	1	1
1	1	1.0 - <5.0	2	2
2a	2	5.0 - <12.5	3	3
2b	3	12.5 - <25.0	4	3
3a	4	25.0 - <37.5	5	4
3b	5	37.5 - <50.0	6	4
4a	6	50.0 - <62.5	7	5
4b	7	62.5 - <75.0	8	5
5a	8	75.0 - <87.5	9	6
5b	8	87.5 - 100	9	6

2.3.4. Oekologische Zeigerwerte

Für sämtliche Vegetationsaufnahmen, Artengruppen und Aufnahmegruppen wurden die mittleren ökologischen Zeigerwerte nach LANDOLT (1977) berechnet. Die Artmächtigkeit wurde gemäss Tabelle 1 gewichtet.

2.3.5 Ertragserhebung

Zum örtlichen Zeitpunkt der Heuernte wurde 1982 und 1983 in den markierten Quadratmeter-Flächen der drei Transekte die oberirdische Biomasse bestimmt (1982: 16.-17. Juli, 1983: 21.-26. Juli). Zu diesem Zweck wurde innerhalb jedes Quadratmeters das Pflanzenmaterial etwa 1 cm über der Bodenoberfläche mit einer elektrischen Rasenschere und einer Sichel abgeschnitten. Hierauf wurde das Frischgewicht ermittelt und eine Probe von 500 g zur Bestimmung des Trockensubstanzanteils genommen. Diese Proben wurden während 24 Stunden bei 110°C getrocknet und anschliessend gewogen.
Infolge der niedrigen Schnitthöhe gegenüber derjenigen mit den Mähmaschinen fielen die Erträge verhältnismässig hoch aus. Für einen ungehinderten Durchgang der Mähmaschine wurden die Pfosten unmittelbar vor der Heuernte tiefer in den Boden eingeschlagen. So waren sie auch kein Hindernis auf der Piste, und die Flächen konnten dennoch leicht wiedergefunden werden.

2.3.6. Nährstoffanalysen

Für die chemischen Analysen wurden, im Hinblick auf eine möglichst einheitliche Reihe, zwölf Flächen des Transektes A ausgewählt, acht Flächen im Pistenbereich und vier daneben. Die andern Flächen des Transektes A lagen auf einem grossen flachen Buckel, und ihre Standortsfaktoren wichen so stark von den obengenannten zwölf Flächen ab, dass ein Unterschied bei den Analysen zum vornherein angenommen werden konnte.
Im Jahr 1983 wurden die Grasproben auf ihren Nährstoffgehalt (Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium) an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAP Zürich-Reckenholz, analysiert.

Aus den Rohnährstoffen wurde die Netto-Energie-Laktation (NEL) nach SCHNEEBERGER und LANDIS (1984) berechnet. Die Netto-Energie-Laktation bezeichnet die Wirkung des Produktionsfutters für die Milchbildung (PETERER 1985).

2.4. AUSWERTUNG

2.4.1. Pflanzensoziologische Auswertung

Für die Auswertung der Transekte wurden die Aufnahmen des Jahres 1983 mit Ergänzung der Arten, die nur 1982 beobachtet wurden, berücksichtigt. Wichtige Ziele bei der Auswertung der Vegetationsdaten sind das Erkennen von Strukturen und Gradienten und ihre Darstellung als Gruppen von Aufnahmen und Arten (ZUMBUEHL 1983). Das Einordnen in Gruppen so mannigfaltiger Daten bleibt ein künstliches Vorgehen, das nie ganz befriedigen kann. Verschiedene Aufnahmen und Arten liessen sich nur schwer in eine Gruppe einteilen.
Mit Hilfe des von WILDI und ORLOCI (1983) beschriebenen Fortran IV-Pakets wurden die Daten analysiert. Die Berechnungen wurden auf der CDC-Computeranlage des Rechenzentrums der ETH-Zürich durchgeführt. Merkliche Unterschiede in der Deckung gaben Anlass, nicht nur die Präsenz/Absenz, sondern auch den Deckungswert der Arten zu berücksichtigen. Zunächst mussten die Deckungsschätzungen in numerische Werte transformiert werden. Es wurde die von VAN DER MAAREL (1979) vorgeschlagene ordinale Skala verwendet (Tab. 1). Mit dem "Crossproduct" ($\Sigma xy - \frac{\Sigma x \Sigma y}{n}$) als Aehnlichkeitsmass wurde eine Aehnlichkeitsmatrix berechnet. Daraus wurden mit einer Hauptkomponentenanalyse Ordinationskoordinaten berechnet, die zum Ausdrucken der Streuungsdiagramme von Aufnahmen und Arten benutzt wurden. Ebenfalls wurde eine "Cluster"analyse durchgeführt mit VAN DER MAARELS Koeffizient als Aehnlichkeitsmass.
Die endgültige Tabellenordnung ist eine Kombination der Klassifikation "von Hand" und des numerischen Verfahrens, wobei die "Cluster"analyse und die Ordination wichtige Hinweise lieferten.

2.4.2 Auswertung der Zeigerwerte

Mit den nach LANDOLT (1977) berechneten mittleren Zeigerwerten wurde das ökologische Verhalten der Aufnahmen und der Aufnahme- und Artengruppen der Vegetationstabelle beschrieben. Ausgegangen wurde von mittleren Verhältnissen für Feuchtigkeit, Reaktion, Nährstoff, Humusgehalt und Durchlüftung des Bodens und Lichtbedürfnis der Pflanzen. Deshalb werden hier einzig Abweichungen besprochen.

3. ERGEBNISSE

3.1. AUSAPERUNG

Der untersuchte Pistenabschnitt in der Fettwiese aperte während der Skisaison nicht aus, daher wurden Vegetation und Boden durch den Skibetrieb nicht mechanisch geschädigt.

3.1.1. Verlauf der Ausaperung

Die beobachtete Pistenstrecke zeigte einen unterschiedlichen Ausaperungsverlauf. Bei der Talstation (Transekt B und C) war der Pistenbereich, der sich über einen leicht gewölbten Buckel erstreckt, ungefähr zwei Wochen früher schneefrei als das untersuchte Gebiet neben der Piste, wobei die Ausaperung auf den exponierten Rücken und Buckeln anfing.
Etwa 20 m höher (Transekt A) aperte dagegen der Wiesenteil neben der Piste früher aus als derjenige auf der Piste. Hier liegt das Gebiet neben der Piste etwas erhöht auf einem grossen flachen Buckel, und das Relief im Pistenbereich ist ziemlich flach (Abb. 4).
Ende Mai 1983 und 1984 war im Transekt A mitten in der Piste ein schmaler Streifen auf der Höhe einer Pistenmarkierung ebenfalls vor dem Rest der Piste ausgeapert (Abb. 5). Am 3. Juni 1983 waren die meisten Flächen neben der Piste und der früh ausgeaperte Streifen schon schneefrei. Nach zwei sehr warmen und sonnigen Tagen wurde am Nachmittag des 4. Juni eine Schnee- und Eisschicht fast nur noch im Pisten- und Pistenrandbereich festgestellt. Neben der Piste war der Schnee allein in einer Mulde noch nicht geschmolzen.
Das frühe Schmelzen des Schnees im Pistenbereich hängt vielleicht mit der intensiven Nutzung der Piste zusammen. Durch Alpgebäude und ein Restaurant wird der untere Teil der Piste verengt und ist von da an auf eine einzige Talabfahrt beschränkt. Auch rund um die Pistenmarkierung (Flächen A_{19}-A_{21}) wird eine höhere Frequenz der Skifahrer vermutet, weil der Pfosten zum Abschwingen einlädt.

3.1.2. Die Bildung einer Eisschicht

Im Frühling wurde auf der Piste immer eine Eisschicht von 1-6 cm Dicke gemessen. In der letzten Phase der Ausaperung war die Eisschicht ohne Schnee, und es brauchte noch viel Zeit, bis sie geschmolzen war.

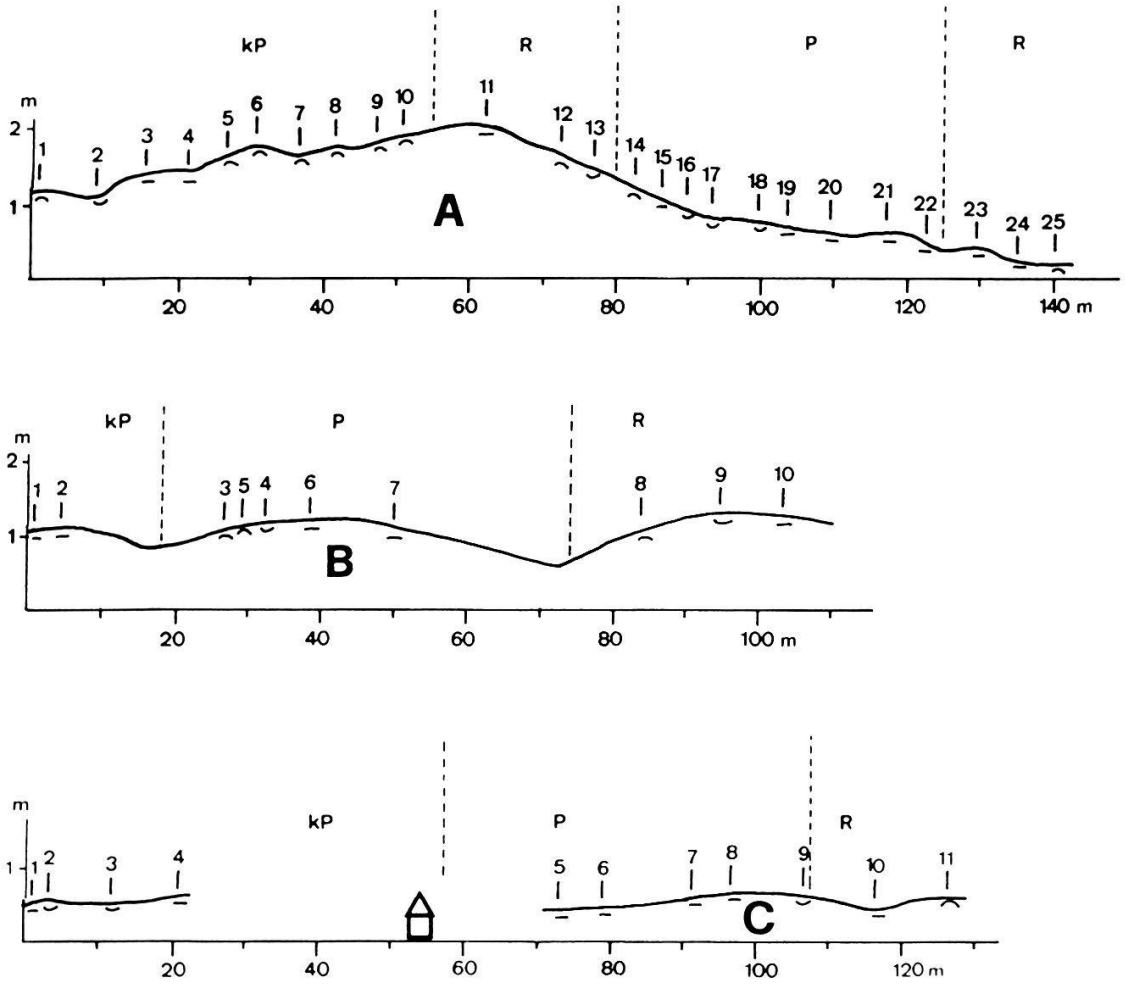


Abb. 4. Gross- und Kleinrelief der Transekte A, B und C im Profil.
Fig. 4. Relief profile of the transects A, B, and C.

1 -25: Untersuchungsflächen - investigated plots
kp = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run,
R = Randbereich - border area

Mikrorelief:
⌣ = Muldenlage - depression, ⌒ = Kuppenlage - hummock, — = eben - level

Abb. 6 zeigt sämtliche Beobachtungen und Messungen der Schnee- und Eisschichten von Mitte Mai bis Anfang Juni aus den Jahren 1983 und 1984, wobei die Lage inbezug auf die Piste wichtigster Gesichtspunkt war. Im Gegensatz zur immer vorhandenen Eisschicht im Pistenbereich (n=26) wurden neben der Piste (n=31) lediglich bei einem Drittel der Messungen Eisschichten festgestellt, die jedoch nur Dicken von 1-3 cm aufwiesen.

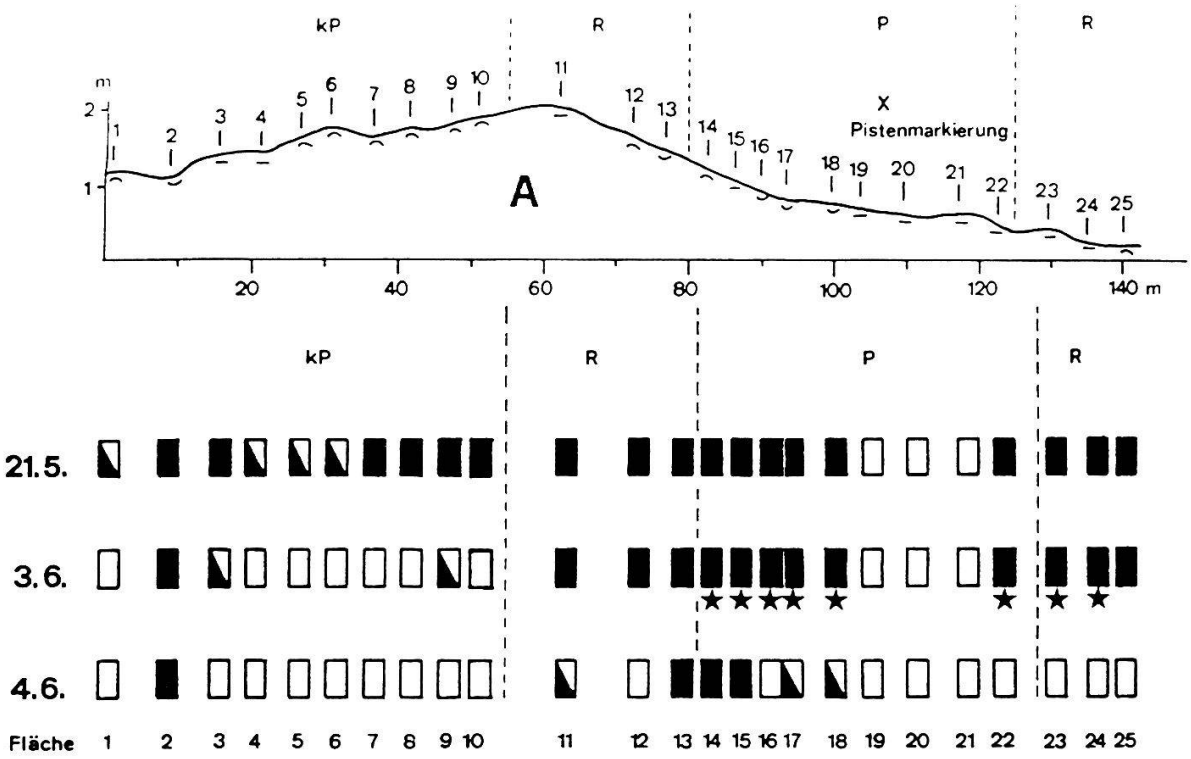


Abb. 5. Ausaperungsverlauf im Transekt A (1983) mit dem Relief.
Fig. 5. Course of melting of snow in transect A (1983) with relief.

■ mit Schnee bedeckt - snow covered

◪ teilweise mit Schnee bedeckt - partially covered with snow

□ ohne Schnee - without snow

★ gefrorener Boden (nur am 3.6.1983 beobachtet) - frozen soil (only observed on June 3, 1983)

kP = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run,
R = Randbereich - border area

Mikrorelief:
⌣ = Muldenlage - depression, ⌒ = Kuppenlage - hummock, – = eben - level

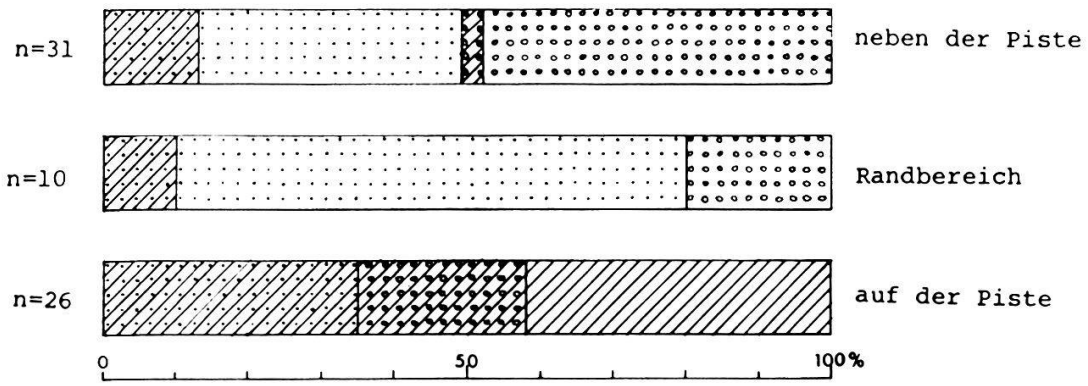


Abb. 6. Verteilung der Schnee- und Eisschichten auf und neben der Piste und im Randbereich von Mitte Mai bis Anfang Juni (1983 und 1984).

Fig. 6. Distribution of snow- and icelayers on and outside the ski run and in the border area from mid-May until early June (1983 and 1984).

Schneeschicht >10 cm - layer of snow >10 cm

Schneeschicht <10 cm - layer of snow <10 cm

Eisschicht - layer of ice

3.1.3. Das Gefrieren des Bodens

Auf der Piste war der Boden nach dem Schmelzen des Eises braun und kahl. Kurz nach dem Verschwinden der Schnee- und Eisschicht wuchsen keine Blätter und Blüten hervor, wie auf den Flächen ausserhalb der Piste. Dies, weil der Boden noch bis ungefähr zehn Tage nach der Ausaperung gefroren blieb.

In Abb. 7 wird dargestellt, wie tief der Boden zwischen Mitte Mai und Anfang Juni an den verschiedenen Messpunkten mit und ohne Schneeschicht gefroren war. Nur neben der Piste wurde ungefrorener Boden gefunden, dies meistens unter einer recht hohen (bis 60 cm) Schneeschicht. Oberflächlich gefrorene Böden (bis 2 cm Tiefe) wurden ebenfalls vor allem neben der Piste gemessen. Vor und nach der Ausaperung waren auf der Piste alle Böden bis zu einer Tiefe von mindesten 5 cm gefroren. Wegen des hohen Skelettgehaltes konnte der Bohrer, auch bei mehrfachen Versuchen, nicht viel tiefer als ca. 10 cm eindringen. Drei Messungen ergaben eine Gefriertiefe des Bodens von mindestens 20 cm.

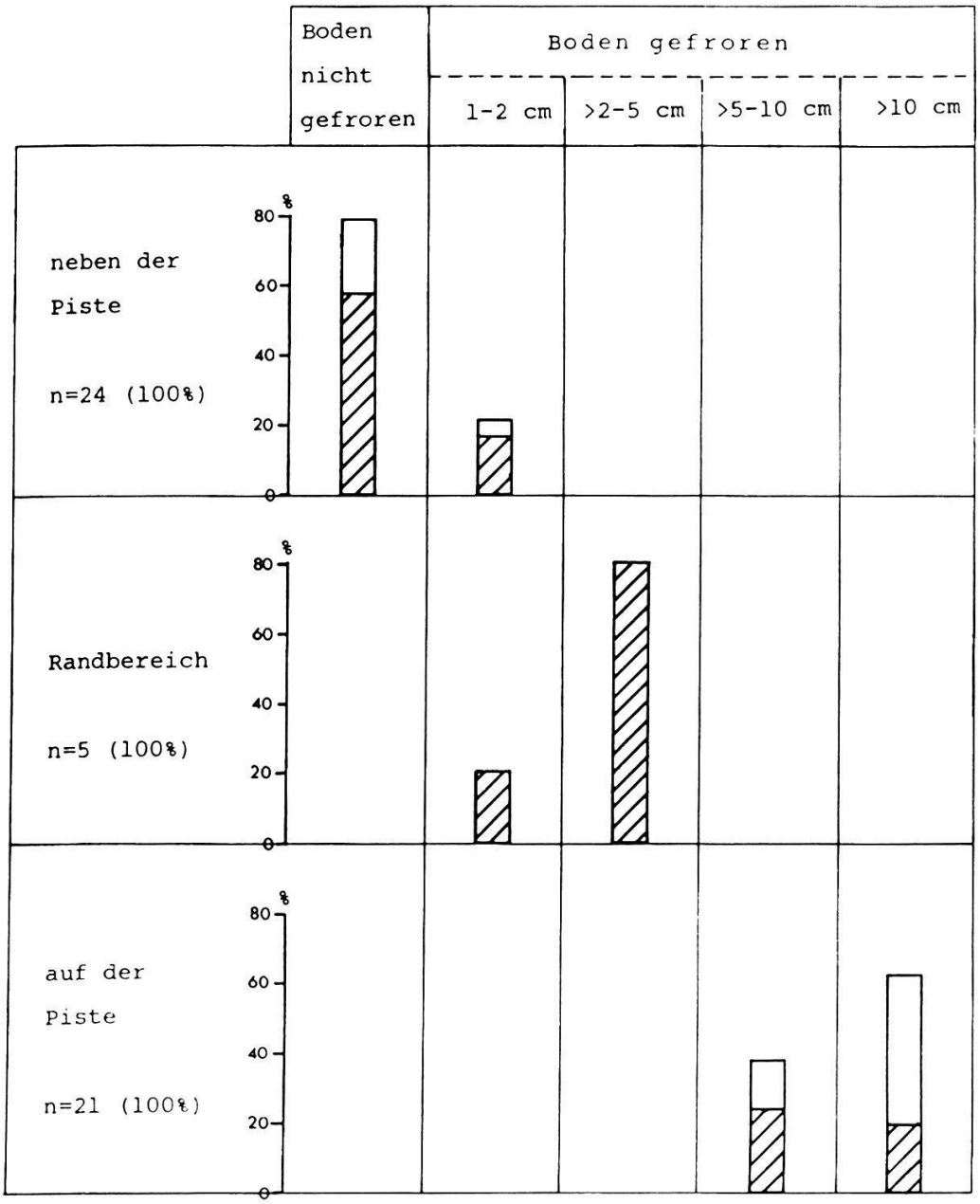


Abb. 7. Verteilung der Tiefe des gefrorenen Bodens von Mitte Mai bis Anfang Juni (1983 und 1984).

Fig. 7. Distribution of the depth of frozen soil from mid-May until early June (1983 and 1984).

▨ mit einer Schnee- und/oder Eisschicht - with layer of snow or ice

□ aper - without snow or ice layer

Die meisten Flächen (90%), deren Boden nur bis 5 cm gefroren war (n=10), hatten mehr als 15 cm Schnee. Von den Flächen auf der Piste, deren Boden mehr als 10 cm tief gefroren war (n=13), hatten 70% keinen Schnee und kein Eis mehr.

3.2. PHAENOLOGISCHE BEOBACHTUNGEN

3.2.1. Die erste Entwicklung der Pflanzen

Crocus albiflorus ist die erste Pflanze, die im Frühling in den Goldhaferwiesen zur Blüte kommt, oft sogar bevor der Schnee vollständig geschmolzen ist. Er ist darum eine wichtige Zeigerpflanze für die Ausaperung. Im Schutz einer lockeren Schneeschicht können viele Pflanzen schon mit dem Wachstum beginnen, auch wenn die durchdringende Lichtmenge noch sehr klein ist (BRAUN 1908, KIMBALL et al. 1973, RUEBEL 1925, RUESSEL und WELLINGTON 1940). Nach TRANQUILLINI (1957) lässt Ende April auf 2070 m eine 8 cm dicke Schneedecke bestenfalls 25%, eine 18 cm dicke noch etwa 10% des Lichtes durch.
Am 25. Mai 1984 wurden unter einer 50 cm dicken Schneedecke bis 4 cm hohe Krokusse festgestellt. Die entsprechenden Bedingungen waren jedoch nur ausserhalb präparierter Skipisten gegeben. Für die Entwicklung der Pflanzen ist nicht nur der Zeitpunkt des Abschmelzens der Schnee- und Eisschicht entscheidend, sondern vor allem derjenige, an dem der Boden auftaut. Dies zeigen die folgenden Beobachtungen.

- Im Transekt C (Abb. 3) war am 21. Mai 1983 der Pistenbereich zum grössten Teil schneefrei. Das Pflanzenwachstum war aber nur auf den Flächen im Pistenrandbereich festzustellen. Hier blühten auch schon einige Krokusse, nicht aber auf der Piste selbst. Im Bereich der Piste taute der Boden erst nach dem Ausapern auf. Die Entwicklung der Pflanzen setzte von diesem Zeitpunkt an verstärkt ein.
- Die Tabelle 2 zeigt die gleichzeitige Anfangsentwicklung der Pflanzen auf einem seit ungefähr einer Woche ausgeaperten Pistenteil und auf noch schneebedeckten Flächen neben der Piste. Die Daten wurden auf Grund verschiedener Messungen zusammengestellt.
  Der Pistenteil war am 18. Mai bereits ausgeapert und die oberste Bo-

Tab. 2. Veränderung der Bodeneigenschaften und die Entwicklung der Pflanzen auf einer Piste eine Woche nach der Ausaperung und die gleichzeitigen Vorgänge neben der Piste im Jahr 1984.

Table 2. Changes in soil condition and development of plants one week after melting of the snow on a ski run with the contemporary development outside the ski run in 1984.

	18. Mai		25. Mai		4. Juni	
	Piste	neben Piste	Piste	neben Piste	Piste	neben Piste
Schneeschicht	-	>25 cm	-	ca. 25 cm	-	-
Boden						
- aufgetaut	0 - 5 cm	-	ganz	-	ganz	ganz
- gefroren	5 - >20 cm	?	-	1 - 2 cm	-	-
- Feuchtigkeit	nass	?	feucht	feucht	trocken	feucht
Pflanzen						
- mittlere Höhe	0.5 cm	?	1 cm	?	2 cm	2 cm
- Stellung der Blätter	dem Boden anliegend	?	zusammengefaltet, dem Boden anliegend	zum Teil offen	zum Teil offen, mehr aufrecht	offen aufrecht
Beobachtete erste Blätter an einzelnen Arten						
- Trifolium repens	X	?	X	X	X	X
- Alchemilla sp.	X		X		X	X
- Poa alpina	X		X	X	X	X
- Potentilla aurea			X		X	X
- Trollius europaeus				X	X	X
- Rumex arifolius					X	X
- Taraxacum officinale				X	X	X
- Crocus albiflorus				Knospen	Knospen, 3cm	Blüten

denschicht aufgetaut. Den Pflanzen stand viel Schmelzwasser zur Verfügung. Ihre neuen Blätter waren aber noch sehr klein und zum Teil bedeckt vom reichlich vorhandenen Mist und den Pflanzenresten des vorigen Herbstes. Neben der Piste lag noch eine hohe Schneedecke.

Eine Woche später war der Boden auf der Piste ganz aufgetaut. Die dem Boden anliegenden Pflanzen waren nur wenig gewachsen und die Blätter noch zusammengefaltet. Ausserhalb der Piste wurden unter einer Schneeschicht von ca. 25 cm Dicke schon bis 4 cm hohe Pflanzen beobachtet, auch Knospen von Crocus albiflorus.

Wieder eine Woche später war der Boden im Pistenbereich trocken, und die ersten Krokus-Knospen traten hervor. Die Blätter der anderen Pflanzen standen aufrechter und hatten sich zum Teil geöffnet. Neben der Piste war der Schnee jetzt ebenfalls ganz geschmolzen. Der Boden war feucht vom Schmelzwasser. Die Krokusse blühten hier, und die übrigen Pflanzen hatten geöffnete und aufrecht stehende Blätter und Sprosse.

Auf Flächen mit späterer Ausaperung verlaufen das Auftauen des Bodens und die erste Entwicklung der Pflanzen schneller infolge der grösseren Intensität und Wärme des Sonnenlichtes.

Im folgenden wird die phänologische Entwicklung der vier Arten Crocus albiflorus, Taraxacum officinale s.l., Ligusticum mutellina und Silene dioeca ausführlich besprochen. Diese vier Arten waren in den markierten Flächen der Transekte reichlich vertreten und ihre phänologischen Phasen leicht zu erfassen. Die phänologische Entwicklung dieser Arten kann als typisch und somit stellvertretend für diejenige der anderen Arten angesehen werden.

3.2.2. Crocus albiflorus

In der phänologischen Entwicklung von Crocus albiflorus (Frühlingskrokus) kommt eine Verspätung auf der Piste sehr deutlich zum Ausdruck (Abb. 8 und 9, Tab. 3). Am 4. Juni 1983 war die Entwicklung von C. albiflorus in den Flächen ausserhalb der Piste schon wesentlich weiter fortgeschritten als im Pistenbereich. Zwei Wochen später waren nur noch auf der Piste und im Randbereich blühende Krokusse anzutreffen. Im Jahr 1983 führten im Pistenbereich die verzögerte Ausaperung (nur im Transekt A), sowie die dem Boden anliegende Eisschicht und vor allem der gefrorene

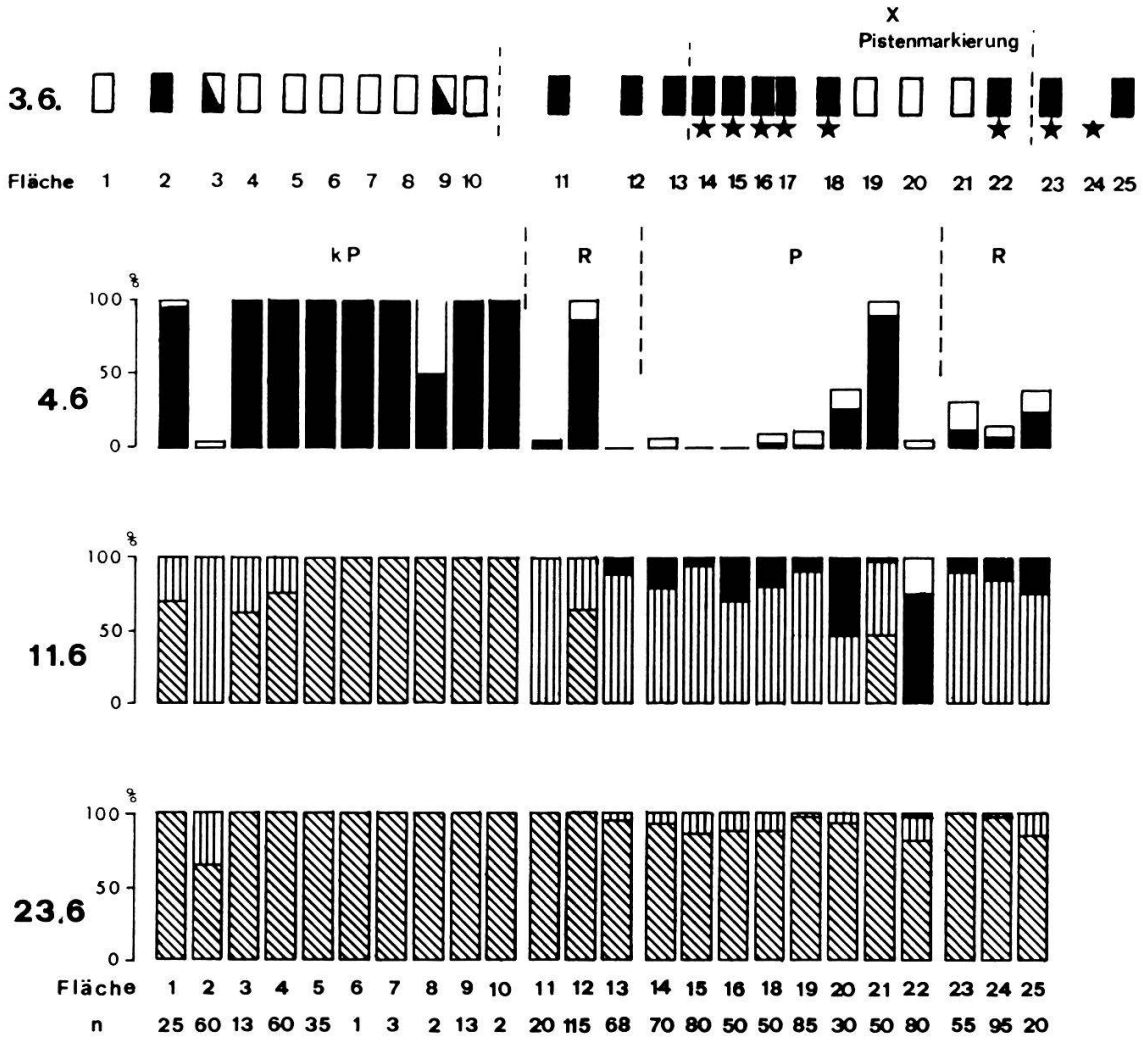


Abb. 8. Phänologische Entwicklung von Crocus albiflorus in Transekt A (1983) mit Schneeschicht und gefrorenen Boden am 3. Juni.
Fig. 8. Phenological development of Crocus albiflorus in transect A (1983) with snow-layer and frozen soil on June 3rd.

■ mit Schnee bedeckt - snow covered

◪ teilweise mit Schnee bedeckt - partially snow covered

□ ohne Schnee - without snow

★ gefrorener Boden (nur am 3.6.1983 beobachtet)
frozen soil (only observed on June 3, 1983)

(weitere Erläuterungen s. Abb. 9 - for further detail see Fig. 9)

Boden im Vergleich mit Flächen ausserhalb der Piste zu einer ungefähr zehn Tage verspäteten Entwicklung von Crocus albiflorus in allen drei Transekten. Die Ergebnisse von 1982 und 1984 bestätigen diejenigen von 1983. Im Jahr 1982 erfolgte die Ausaperung und die Pflanzenentwicklung ungefähr eine Woche früher als in den zwei anderen Jahren.

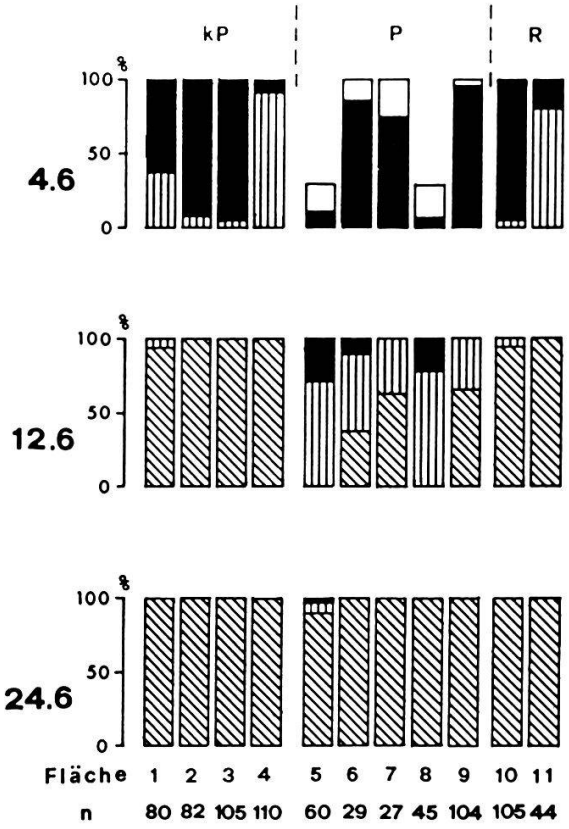


Abb. 9. Phänologische Entwicklung von Crocus albiflorus in Transekt C (1983).
Fig. 9. Phenological development of Crocus albiflorus in transect C (1983).

n = Anzahl der sich generativ vermehrenden Crocus-Individuen in jeweiligen Quadratmeter - number of generatively reproducing Crocus individuals on the respective plot

□ Knospen - flower buds

■ Blüten - flowers

▥ verblüht (Perigonblätter sichbar) faded (perianth visible)

▧ verblüht (Perigonblätter nicht mehr sichtbar) - faded (perianth no longer visible)

kP = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run
R = Randbereich - border area

Tab. 3. Vergleich der Ausaperung und der phänologischen Entwicklung von Crocus albiflorus in je einer typischen Fläche im Pistenbereich und ausserhalb der Piste (Randzone) des Transektes A im Jahre 1983

Table 3. Melting of snow and phenological development of Crocus albiflorus: Comparison of a typical plot within the ski run with one on the border of transect A in 1983

* gefrorener Boden nur am 3.6. beobachtet

1983	Pistenrand (Fläche 12)			Piste (Fläche 16)		
	3.Juni	4.Juni	11.Juni	3.Juni	4.Juni	11.Juni
Mächtigkeit (cm) der						
- Schneeschicht	10	2	-	5	3	-
- Eisschicht	-	-	-	3	2	-
Tiefe des gefrorenen Bodens (cm)	-	-	-	8	ca.8*	-
Individuen (%)						
- im Knospenstadium	-	13	-	-	-	-
- im Blütenstadium	-	87	-	-	-	30
- mit welken Blüten	-	-	35	-	-	70
- ohne sichtbare Perigonblätter	-	-	65	-	-	-
Zahl beobachteter Pflanzen	115			50		

3.2.3. Taraxacum officinale s.l.

Unter den Wiesenpflanzen gilt Taraxacum officinale (Pfaffenröhrlein) für phänologische Beobachtungen als geeignete Art (vgl. WENNER 1973). T. officinale war nur in den Flächen der Transekte B und C genügend häufig, um zu aussagekräftigen Resultaten zu führen.

Aehnlich wie bei Crocus albiflorus, vollzog sich auch bei T. officinale die Entwicklung im Pistenbereich deutlich später als in den anderen Flächen (Abb. 10). Für den Verlauf der Entwicklung der Taraxacum-Individuen wurde anfänglich die Länge des Blütenkopfstengels als massgebend betrachtet (Abb. 11). Sie wurde nur bis zur Blütezeit gemessen. Am 24. Juni 1983 waren im Pistenbereich der Transekte B und C noch kaum gestielte Blütenkopfknospen zu beobachten, während im Randbereich und ausserhalb der Piste schon einige Individuen blühten. Da die Blütezeit

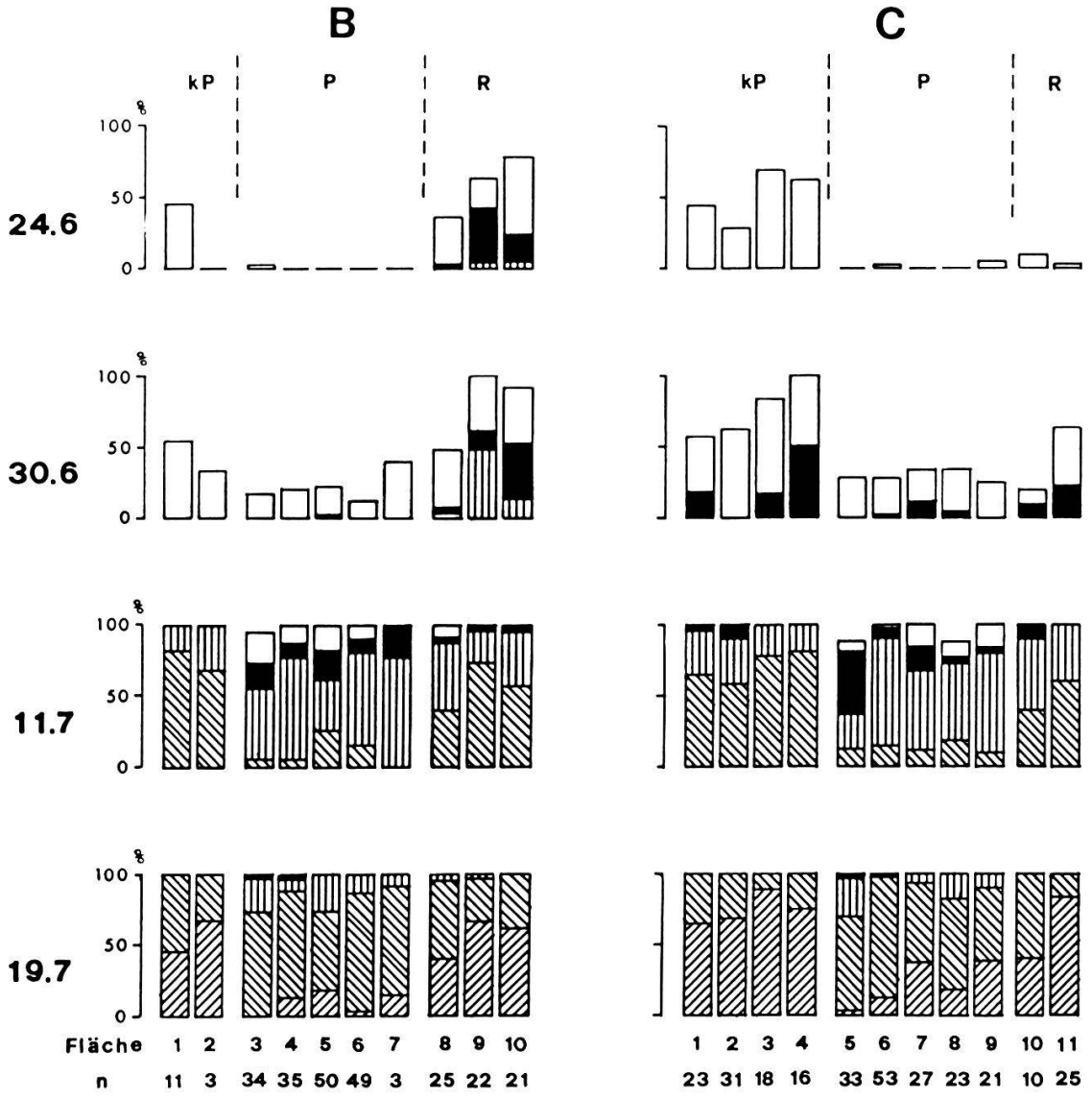


Abb. 10. Phänologische Entwicklung von Taraxacum officinale s.l. in den Transekten B und C (1983).

Fig. 10. Phenological development of Taraxacum officinale s.l. in the transects B and C (1983).

n = Anzahl der sich generativ vermehrenden Taraxacum-Individuen in jeweiligen Quadratmeter - number of generatively reproducing Taraxacum individuals on the respective plot

grüne Knospen - green flower buds

Knospen mit gelbem Rand und Blüten - flower buds with yellow border and flowers

verblüht - faded

Früchte - fruits

abgefruchtet - fruits blown away

kp = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run,
R = Randbereich - border area

ziemlich kurz ist, wurden die Knospen mit bereits gelben hervorragenden Zungenblüten zum Blütenstadium eingerechnet. Am 30. Juni 1983 betrug die durchschnittliche Stengelhöhe auf der Piste nur 21% im Transekt B und 24% im Transekt C im Vergleich zu derjenigen neben der Piste und im Randbereich. Am 11. Juli hatten erst 15% der Individuen auf der Piste Früchte gebildet, dagegen schon 60% der Individuen in den Flächen am Rande oder neben der Piste.

Die Ergebnisse von 1982 bestätigen diejenigen von 1983, obwohl die Unterschiede in der Entwicklung zwischen Taraxacum-Individuen auf der Piste und neben oder am Rande der Piste etwas weniger ausgeprägt waren.

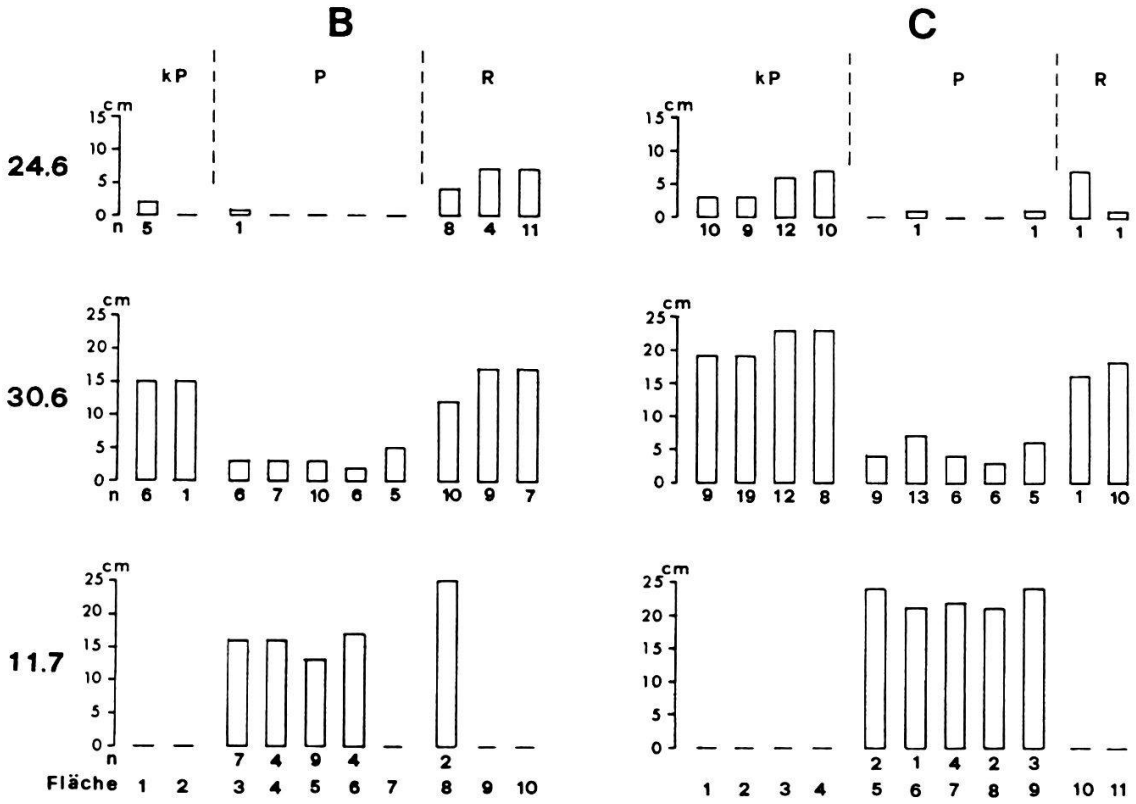


Abb. 11. Mittlere Länge des Blütenkopfstengels bei Individuen von Taraxacum officinale s.l. im Knospenstadium bis zum Blühen am 24.6, 30.6 und 11.7 1983 in den Transekten B und C.

Fig. 11. Mean height of stems with flower-head of individuals of Taraxacum officinale s.l. from the bud until flowering on 24.6, 30.6 and 11.7 1983 in the transects B and C.

kP = keine Piste - no ski run, R = Randbereich - border area,
P = Piste - ski run
n = Anzahl Messungen - number of measurements

3.2.4. Ligusticum mutellina

Die phänologische Entwicklung von Ligusticum mutellina (Muttern) bestätigt die Beobachtungen bei Crocus albiflorus und Taraxacum officinale. Allerdings waren hier nur die Daten vom Transekt A aussagekräftig, da L. mutellina in den beiden anderen Transekten nicht genügend zahlreich mit Blüten vertreten war. Im Vergleich zu den Flächen ausserhalb der Piste, war die Entwicklung von L. mutellina im Pistenbereich deutlich verzögert. Die Knospenphase trat hier mit etwa zweiwöchiger, die Blütenphase mit etwa einwöchiger Verspätung ein (Abb. 12). Ligusticum entwikkelte meist zwei Dolden pro Stengel, von denen die eine schon verblüht war, während die andere sich noch im Knospenstadium befand. Dieses Nebeneinander von Verblühtsein und Knospenstadium wurde als Blühstadium betrachtet. Im Laufe der Vegetationszeit reduzierte sich der Entwicklungsrückstand im Pistenbereich.

3.2.5. Silene dioeca

Auch hier waren nur die Daten vom Transekt A aussagekräftig. Bei Silene dioeca (rote Waldnelke) wurde ein anfänglicher Entwicklungsrückstand im Pistenbereich bis zum Schnittermin Mitte Juli fast vollständig aufgeholt (Abb. 13). Die Blütezeit eines Individuums von Silene dioeca dauert jedoch länger als diejenige der früher genannten Arten mit nur einer bis zwei Blüten oder einem bis zwei dichten gleichzeitig blühenden Blütenständen pro Pflanze.

3.2.6. Mittlere Höhe der Krautschicht

Die Entwicklung der mittleren Höhe der Krautschicht bestätigt die bei den untersuchten Arten gemachten Beobachtungen des verzögerten Wachstums. Im Pistenbereich war die Krautschicht während der gesamten Beobachtungszeit, insbesondere bis Ende Juni, viel niedriger als auf den nicht belasteten Flächen (Tab. 4), obwohl die Flächen im Pistenbereich der Transekte B und C und ein Teil der Flächen des Transektes A bis zu drei Wochen früher ausgeapert waren. Während ungefähr eines Monates nach der Ausaperung wies die mittlere Höhe der Pflanzen auf der Piste im

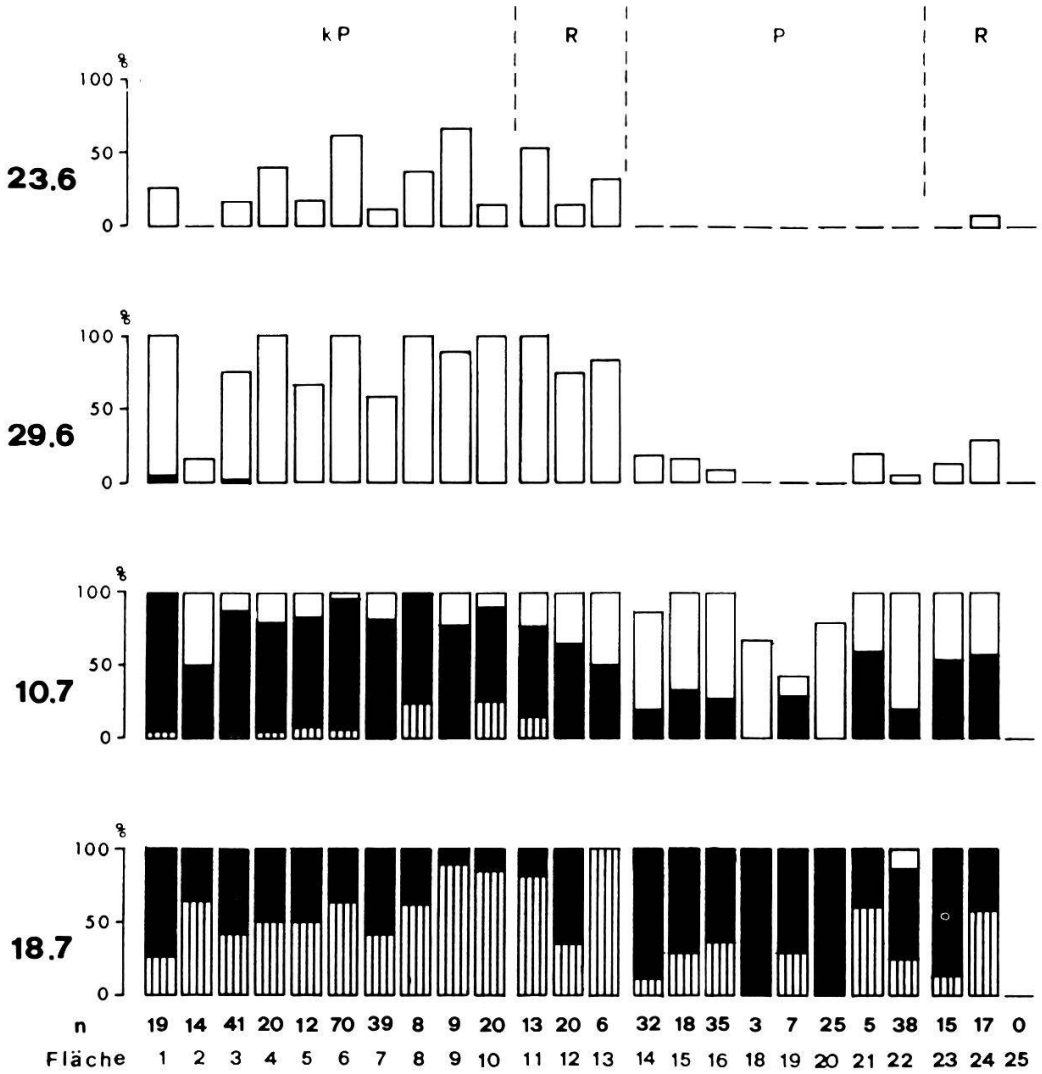


Abb. 12. Phänologische Entwicklung von Ligusticum mutellina in Transsekt A (1983).

Fig. 12. Phenological development of Ligusticum mutellina in transect A (1983).

n = Anzahl der sich generativ vermehrenden Ligusticum-Individuen in jeweiligen Quadratmeter - number of generatively reproducing Ligusticum individuals on the respective plot

□ Knospen - flower buds

■ Blüten - flowers

▥ verblüht - faded

kP = keine Piste - no ski run, R = Randbereich - border area,
P = Piste - ski run

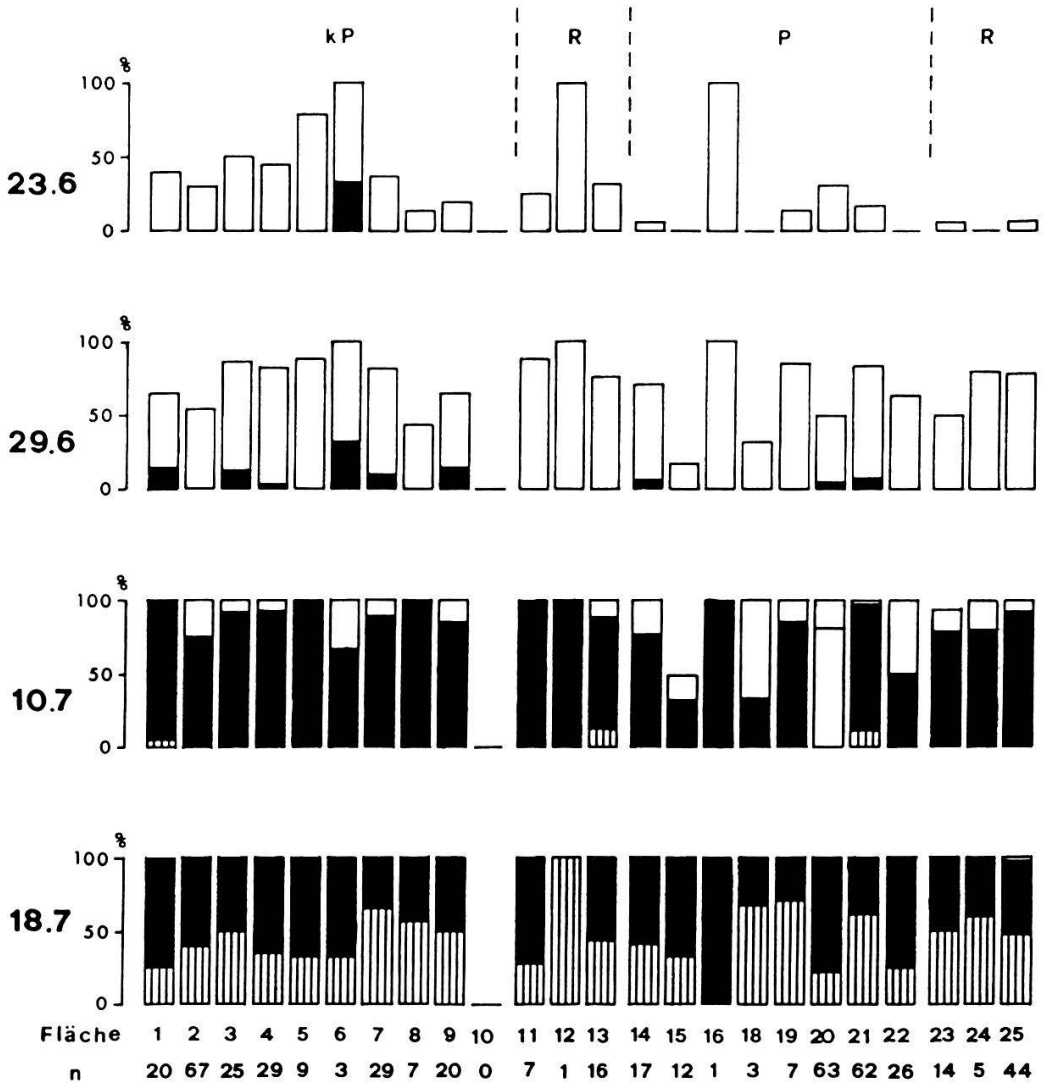


Abb. 13. Phänologische Entwicklung von Silene dioeca in Transekt A (1983).
Fig. 13. Phenological development of Silene dioeca in transect A (1983).

n = Anzahl der sich generativ vermehrenden Silene-Individuen im jeweiligen Quadratmeter - number of generatively reproducing Silene individuals on the respective plot

□ Knospen - flower buds

Blüten - flowers

▥ verblüht - faded

kP = keine Piste - no ski run, R = Randbereich - border area,
P = Piste - ski run

Transekt B und C einen Rückstand von etwa 50% auf. Von Ende Juni bis zum Zeitpunkt des Heuschnittes wurde dieser Entwicklungsrückstand teilweise wettgemacht. In den Transekten B und C betrug der Unterschied der mittleren Vegetationshöhe kurz vor der Ernte noch ungefähr 30%. Im Transekt A war keine wesentliche Differenz mehr vorhanden.

Tab. 4. Mittlere Höhe der Vegetation neben und auf der Piste im Jahr 1983 in cm und %. (Höhe neben der Piste 100%)
Table 4. Mean height of the vegetation outside and on the ski run in 1983 in cm and %. (Height outside the ski run 100%)

	Transekt A		Transekt B		Transekt C		
	neben Piste	auf Piste	neben Piste	auf Piste	neben Piste	auf Piste	
	n=10	n=8	n=2	n=5	n=4	n=5	
4. Juni	1.7	0.6	3.0	1.8	3.0	1.6	cm
	100	35	100	60	100	53	%
11. Juni	4.7	3.1	6.5	3.2	7.7	3.4	cm
	100	66	100	49	100	44	%
23. Juni	7.8	5.2	10.0	4.2	11.5	6.0	cm
	100	67	100	42	100	52	%
29. Juni	15.3	11.6	17.0	8.6	22.0	10.8	cm
	100	76	100	51	100	49	%
10. Juli	23.5	21.2	33.5	18.0	36.3	21.2	cm
	100	90	100	54	100	58	%
18. Juli	27.8	27.0	36.5	24.2	40.3	27.6	cm
	100	97	100	66	100	68	%

Tab. 5. Mittlere Höhe der Vegetation neben und auf der Piste am 11. Juli 1982 in cm und %. (Höhe neben der Piste 100%)
Table 5. Mean height of the vegetation outside and on the ski run on July 11th 1982 in cm and %. (Height outside the ski run 100%)

	Transekt A		Transekt B		Transekt C		
	neben Piste	auf Piste	neben Piste	auf Piste	neben Piste	auf Piste	
	n=10	n=8	n=2	n=5	n=4	n=5	
12. Juli	28.6	24.6	32.5	24.2	30.3	29.6	cm
	100	86	100	75	100	98	%

Das häufige Vorkommen der niedrigeren Arten Alchemilla sp., Taraxacum officinale s.l. und Trifolium repens im Pistenbereich der Transekte B und C gegenüber der höheren Art Trisetum flavescens neben der Piste betont den Rückstand der Vegetationshöhe. Im Jahr 1982 war die Differenz der mittleren Höhe zwischen Pistenbereich und daneben geringer und im Transekt C sogar verschwunden (Tab. 5). Der grosse Unterschied zwischen den Jahren 1982 und 1983 im Transekt C geht zurück auf ein schwaches Wachstum der Gräser im Jahr 1982 und eine üppigere Entwicklung im Jahr 1983 (vgl. Kap. 3.5.). Der Monat Juni des Jahres 1982 war warm und sehr niederschlagsreich. Das Jahr 1983 wies eine sprunghafte Erwärmung anfangs Juni auf, und nach einem sehr nassen Mai folgten zwei trockene Monate.

Abb. 14 und Tab. 6 zeigen die mittleren Zuwachsraten während sechs Perioden ab 4. Juni bis 19. Juli 1983. Bis Ende Juni wuchsen die Pflanzen auf der Piste im Durchschnitt weniger als in den nicht belasteten Flächen. Jedoch in der dritten Juliwoche waren die Zuwachsraten im Pistenbereich überall deutlich grösser als ausserhalb der Piste, im Transekt B doppelt und im Transekt C anderthalbmal so gross.

Tab. 6. Mittlerer Höhenzuwachs der Vegetation bis 4. Juni und während fünf Perioden von 4. Juni bis zum 19. Juli 1983 in cm und %. (Zunahme neben der Piste 100%)

Table 6. Mean growth of the vegetation up to June 4th and during five periods between June 4th and July 19th 1983 in cm and %. (Growth outside the ski run 100%)

	Transekt A		Transekt B		Transekt C		
	neben Piste	auf Piste	neben Piste	auf Piste	neben Piste	auf Piste	
	n=10	n=8	n=2	n=5	n=4	n=5	
bis 4.6.	1.7	0.6	3.0	1.8	3.0	1.6	cm
	100	35	100	60	100	53	%
5.-14.6.	3.0	2.5	3.5	1.4	4.7	1.8	cm
	100	83	100	40	100	38	%
15.-24.6.	3.1	2.1	3.5	1.0	3.8	2.6	cm
	100	68	100	29	100	68	%
25.6-1.7.	7.5	6.4	7.0	4.4	10.5	4.8	cm
	100	85	100	63	100	46	%
2.-12.7.	8.2	9.6	16.5	9.4	14.3	10.4	cm
	100	117	100	57	100	73	%
13.-19.7.	4.3	5.8	3.0	6.2	4.0	6.4	cm
	100	135	100	207	100	160	%

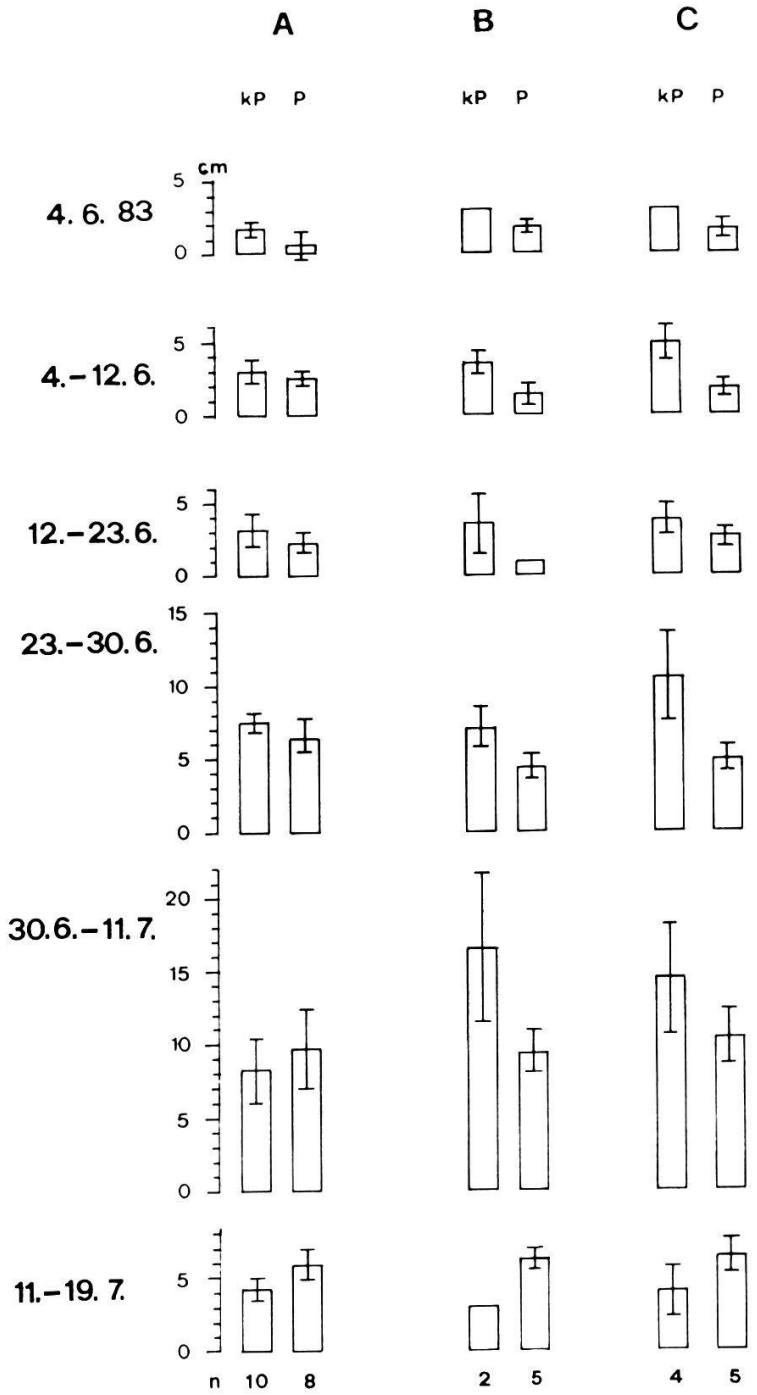


Abb. 14. Mittlerer Höhenzuwachs und Standardabweichung bis 4. Juni und während 5 Perioden von 4. Juni bis zum 19. Juli 1983 auf den Transekten A, B und C.

Fig. 14. Mean growth and standard deviation of the vegetation up to June 4th and during 5 periods from June 4th until July 19th 1983 on the three transects.

kP = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run,
R = Randbereich - border area
n= Anzahl Messungen - number of measurements

3.3. PFLANZENSOZIOLOGISCHE AUFNAHMEN

3.3.1. Vegetationstabelle

Die Vegetation ist über sämtliche Aufnahmen hinweg sehr ähnlich und gehört zu einer Subassoziation Potentilla aurea der Hang-Triseteten nach HUNDT (1985) (vgl. Kap. 2.2). Immerhin lässt sich eine deutliche Gliederung in sieben Aufnahmegruppen durchführen, die durch je eine charakteristische Kombination von Artengruppen gekennzeichnet sind.
In Tab. 7 sind die pflanzensoziologischen Aufnahmen der Untersuchungsflächen zusammengestellt. Die mittleren Zeigerwerte der einzelnen Arten- und Aufnahmegruppen und die durchschnittliche Anzahl typischer Zeigerpflanzen (nach LANDOLT 1977) sind in Tab. 8 und 9 bzw. 10 dargestellt und werden nachstehend besprochen. Das Vorkommen der Arten- und Aufnahmegruppen inbezug auf ihre Lage zur Piste wird in Kap. 3.4 beschrieben.

3.3.2. Beschreibung der Artengruppen

Artengruppe A (n=2)
Zu dieser Gruppe gehören Arten, die bei mittleren Bodenverhältnissen gut gedeihen. Es sind verhältnismässig niedrige Arten, die viel Licht brauchen. Sie kommen vor allem auf der Piste in den Aufnahmegruppen 1 und 2 vor.
Artengruppe B (n=2)
Die Gruppe B umfasst Arten, die auf frischen, nährstoffreichen, und insbesondere Deschampsia caespitosa, auf schlecht durchlüfteten Böden vorkommen. Die grösste Häufigkeit haben diese Arten in der Aufnahmegruppe 3 mit Flächen auf der Piste und im Randbereich. Nur in den Gruppen 6 und 7 treten sie kaum auf.
Artengruppe C (n=2)
Die Arten dieser Gruppe bevorzugen nährstoffreiche und mässig humusreiche Böden. Diese Artengruppe ist stark vertreten in den Aufnahmegruppen 2, 3, 4 und 5 mit Flächen auf und neben der Piste.
Artengruppe D (n=1)
Peucedanum ostruthium, eine subalpine auf stickstoffreichen, feuchten und humosen Böden wachsende Art, ist vor allem auf die Aufnahmegruppe 4 neben der Piste beschränkt. Nur in zwei andern Aufnahmen (C5 und C8) kommt diese Art auch vor.
Artengruppe E (n=2)
Die Arten der Gruppe E unterscheiden sich in ihrer Reaktionszahl, sie bevorzugen etwas basenreichere Böden und sind in der Aufnahmegruppe 5 im Randbereich des Transektes B recht häufig vertreten.
Artengruppe F (n=4)
In der Gruppe F sind fast ausschliesslich Arten aus der subalpinen Stufe

Tab. 7. Vegetationstabelle
Table 7. Vegetation table

P = Piste - ski run, R = Randbereich - border area,
N = neben Piste - no ski run

Verhältnis zur Piste:
+ - höherer Deckungsgrad auf der Piste
- - höherer Deckungsgrad neben der Piste
± - etwa gleicher Deckungsgrad auf und neben der Piste
( ) - relativ

Aufnahmegruppen			111111	22222222	33333333	444444	555	666666666666	777			
Pistenzugehörigkeit			PPPPPP	RRPPPPPP	PPPPPRRR	NNNNNN	RRR	PPRRRNNNNNNN	NNN			
Transekt			BCCBBB	CCCCCBAA	AAAAAAAA	CCBBCC	BBB	AAAAAAAAAAAA	AAA	Zeigerwert		
Aufnahmenummer			565643	11 12 10897790	11122222 67821453	412132	1 098	11111 453212954731	1 608	F	R	N
Poa pratensis	+	A	1464	111	+		++	+1				(n)
Carum carvi	+	A	12+	+		1						(n)
Deschampsia caespitosa	+	B	1 1	1 + 11	234121	+ +		1		wf		n
Phleum alpinum	±	B	121	+ +11	21112	13 11	12	1 + +				n
Trisetum flavescens	(-)	C	+1	44311+3	24466	552+65	31	2 +31	+			n
Geranium silvaticum	±	C		341311 +	11111	224 1	213					n
Peucedanum ostruthium	-	D	3	1		+3532						n
Helictotrichon pubescens	-	E					122		+	(t)	(b)	m
Rhinanthus alectorolophus	-	E		+			32			(t)		m
Lotus corniculatus	-	F							111	(t)	(b)	(m)
Nardus stricta	-	F							11		s	m
Arnica montana	-	F					+		++	wf	s	m
Carex sempervirens	-	F						+ +	1++	(t)		m
Hypochoeris uniflora	-	G						1+11 1 +11	112		s	m
Geum montanum	-	G				+ 1	1	11 1+11 1	11+		s	m
Plantago alpina	-	G		1		1 +		+1111 11	111		(s)	m
Pulsatilla sulphurea	(-)	G						11+ 11+	+11		s	m
Homogyne alpina	-	G		+ 1+	1 1 +	1 1		+ + 1 1 1+11	+11		s	m
Poa trivialis	-	H	+	+	++ ++	++		++ +111211 1	1	(wf)		n
Trifolium badium	-	H	+1++	+1 +1	1	131112	111	2112+1211	222		b	(n)
Anthoxanthum alpinum	-	H	+	+ +++11+	1+11++	1 1 1+	1++	1+1112 1121	121			
Festuca rubra	-	H	1	1 +11 +	2132 1	+ 2	1	121222312333	343			
Myosotis silvatica	-	H	+ + 1	1+111111	1+111+ 1	111+11	221	222222221222	222	wf		n
Ranunculus montanus	-	H	121111	12222112	3+211111	123124	221	222123232222	243		b	n
Silene dioeca	-	H	121111	11121223	14123232	122211	231	222123233332	112	f		n
Crocus albiflorus	-	H	2121 2	22221221	2+122112	213222	212	222212122111	1+1			n
Rumex arifolius	-	H	122++1	23222111	11221353	333434	231	214322224223	11+	f		n
Ligusticum mutellina	-	H	2432+1	54442466	84384644	532123	422	474635587786	835			n
Soldanella alpina	±	I	+ + +	+++1+122	2+113121	121112	+1+	11113+221211	211	f		m
Veronica tenella	±	I		+++++	+ +	1++++	+1+	1++1 + 1+ +	+++	f		n
Poa supina	±	I	11211+	+11++111	1+1+1 1+	111111	+1	111122121111	1+1	f,wf		n
Cerastium caespitosum	±	I	11 +11	++11+ +	++11+ +	++ 1	+11	+++11++++11+	111			(n)
Campanula scheuchzeri	±	I	1+ +11	++ 11+11	1 11+1	1 1 +	111	111111111111	111			m
Potentilla aurea	±	I	11 111	1121211+	1 11 1	1 + 2	11	1212212++121	222		b	m
Trollius europaeus	+	K	223213	11221224	43433222	113211	233	553241323223	123	f,wf		n
Poa alpina	+	K	424123	21333412	2+222211	221112	124	222222122223	222			n
Alchemilla spec.	+	L	655646	33546454	1+1+1432	332234	1	2+312221 11	111			n
Trifolium repens	+	L	334345	43524321	1122211+	112 31	122	1 1 + + 12	111			n
Taraxacum officinale	+	L	543544	42333234	1+224+21	332334	333	212+15+1+122	1+			n
Ranunculus acer	+	L	122432	43232411	1+ 11333	433332	112	1 1+11 1				n
Crepis aurea	+	L		+ 1	++							n
Chaerophyllum villarsii	-	M		1		+2	11	1 + 1	+	(t)		
Bartsia alpina	-	M					+	+	1	f,wf		
Silene vulgaris	-	M				1 +	1	1+1		(t)		
Campanula barbata	-	M				+ +			+			
Knautia silvatica	±	N		3	1	1		+ + +	+			m
Trifolium pratense-nivale	±	N	1 1	1 1		1+ 1	+1	2 1 +1	1++			(m)
Galium anisophyllum	±	N	+1		+		+1	1	1+1		s	m
Luzula multiflora	±	N		+++	1			+ +	1++	wf	s	m
Leontodon helveticus	±	N		+	+			+ ++	+		s	m
Minuartia verna	±	N		1+	1 11	11 1		111111 +++		t	s	m
Poa chaixii	±	N			1 2	+ ++	+21	2 2 + +			s	(m)
Polygonum viviparum	±	N		+			+		+			m

Tab. 7 (Forts. - continued)

Zeigerwert-Faktoren:

F:	f - feucht	t - trocken	wf - wechselfeucht
R:	b - basisch	s - sauer	
N:	n - nährstoffreich	m - mager	
( ) - relativ			

Ein- oder zweimal wurden notiert - species found in one or two relevés: Ajuga pyramidalis A14: +, B10: +, Viola tricolor B5: +, C2: +; Achillea millefolium B5: 1, Agrostis tenuis C9: 2, Bellidiastrum michelii A6: +, Gentiana verna A6: +, Hieracium pilosella A6: +, Leontodon hispidus A19: +, Pedicularis recutita B2: 1, Rhinanthus angustifolius A1: +, Veratrum album C11: 1.

Alchemilla sp. enthält meistens Alchemilla monticola, vereinzelt mit einer geringen Deckung wurden auch A. subcrenata, A. crinitata und A. glabra festgestellt.

Für die Skala der Vegetationstabelle siehe Tab. 1.

---

vertreten. Die meisten sind Magerkeits- und Säurezeiger. Diese Arten gedeihen insbesondere auf kleinen Buckellagen neben der Piste in der Aufnahmegruppe 7.

Artengruppe G (n=5)

Auch die Arten der Gruppe G haben ihre Hauptverbreitung in der subalpinen Stufe. Sie sind alle Säure- und Magerkeitszeiger und bevorzugen einen humusreichen Boden. Die Gruppe G hat ihre grösste Verbreitung in den Aufnahmegruppen 7 und 6 des Transektes A neben der Piste und im Randbereich. In den andern Aufnahmegruppen kommen die Arten vereinzelt vor.

Die Artengruppen H, I, K und L bestehen aus subalpinen Wiesenpflanzen, die vor allem frische bis feuchte und eher nährstoffreiche Böden besiedeln. Ihr Vorkommen auf oder neben der Piste bestimmte die Einteilung der Gruppen.

Artengruppe H (n=10)

Die Arten der Gruppe H haben neben der Piste eine höhere Deckung und zum Teil eine höhere Stetigkeit.

Artengruppe I (n=6)

Die Gruppe I umfasst Arten, die auf und neben der Piste mit gleicher Häufigkeit vorkommen.

Artengruppe K (n=2)

Trollius europaeus und Poa alpina der Gruppe K weisen im Pistenbereich in zwei der drei Transekten einen höheren Deckungsgrad auf.

Artengruppe L (n=5)

Die Arten der Gruppe L kommen insgesamt auf der Piste mit einer deutlich höheren Deckung vor als daneben. Es sind mit Ausnahme von Crepis aurea weniger typische subalpine Wiesenpflanzen. Sie bevorzugen nährstoffreiche Böden.

Artengruppe M (n=4)

Die Arten der Gruppe M bevorzugen eher magere und saure Böden. Sie kom-

Tab. 8. Mittlere Zeigerwerte (nach LANDOLT 1977) und Standortabweichungen der Artengruppen nach der Vegetationstabelle.

Table 8. Means and standard deviation of the indicator values (after LANDOLT 1977) of the groups of relevés from the vegetation table.

Artengruppe	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N
Anzahl Arten	2	2	2	1	2	4	5	10	6	2	4	4	8
Feuchtezahl (F)	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0	3.2	3.5	3.5	3.0	3.0	2.8
	-	.7	-	-	-	.6	-	.4	.6	.7	-	.9	.5
Wechselfeuchtigkeit (w)	-	1/2	-	-	1/2	1/4	1/5	1/3	1/6	1/2	2/3	1/2	1/8
Reaktionszahl (R)	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	2.8	2.2	3.2	3.2	3.0	3.0	2.8	2.8
	-	-	-	-	-	.9	.4	.4	.4	-	-	.5	.7
Nährstoffzahl (N)	3.0	4.0	4.0	4.0	3.0	2.3	2.2	3.6	3.2	3.5	3.7	2.5	2.0
	-	-	-	-	-	.5	.4	.5	.6	.7	.6	.6	.5
Humuszahl (H)	3.5	3.0	3.0	4.0	3.5	3.3	3.8	3.3	3.2	3.5	3.0	3.5	3.4
	.7	-	-	-	.7	.5	.4	.5	.4	.7	-	.6	.7
Dispersitätszahl (D)	4.0	4.5	4.0	4.0	4.0	3.8	4.0	4.0	3.8	4.5	4.3	3.8	3.8
	-	.7	-	-	-	.5	-	-	.4	.7	.6	.5	.9
Lichtzahl (L)	4.0	3.5	3.5	3.0	4.0	4.0	3.6	3.5	3.8	4.0	3.7	3.5	3.6
	-	.7	.7	-	-	-	.6	.5	.8	-	.7	.6	.9
Temperaturzahl (T)	3.0	2.5	2.5	2.0	3.0	2.0	2.0	2.2	2.2	2.0	3.0	2.3	2.3
	-	.7	.7	-	-	.8	-	.4	.4	-	-	.5	.5

men mit einer Ausnahme nur in Flächen neben der Piste und im Randbereich vor.

Artengruppe N (n=8)

Die übrigen, auf magere und teilweise auf trockene sowie saure Bodenverhältnisse hinweisende Arten der Gruppe N sind auf und neben der Piste etwa gleich häufig.

3.3.3. Beschreibung der Aufnahmegruppen

Bei den mittleren Zeigerwerten der Vegetationsaufnahmen muss berücksichtigt werden, dass diese weniger weit von der Mitte abweichen als es den Standortsfaktoren entsprechen würde, da sehr viele Pflanzen mit mittleren Zeigereigenschaften auch unter extremeren Verhältnissen noch vorkommen. Kleine Abweichungen der mittleren Zeigerwerte (>0.2) haben deshalb grössere Aussagekraft als bei den einzelnen Arten. Für die Erklärung der Zeigerwerte sowie das Aussagevermögen wird auf LANDOLT (1977) verwiesen.

Im allgemeinen sind die Unterschiede der Zeigerwerte zwischen den Aufnahmegruppen nur unbedeutend.

Aufnahmegruppe 1 (n=6)

Hier handelt es sich um Aufnahmen im Pistenbereich auf einem nährstoffreichen, zum Teil (Aufnahme C5 und C6) ziemlich feuchten und eher schlecht durchlüfteten Boden mit einer ausgesprochen wechselnden Feuchtigkeit (w/3). Ein Drittel der Arten sind Wechselfeuchtigkeitszeiger. Die dort wachsenden Pflanzen ertragen relativ wenig Schatten. Artengruppe A ist typisch. Subalpine Arten treten verhältnismässig wenig auf. Die subalpinen Wiesenpflanzen (Artengruppen H und I) haben geringere Dekkungsgrade im Vergleich zu den andern Aufnahmegruppen. Dagegen zeigen die Arten der Gruppe L einen sehr hohen Deckungsgrad. Die durchschnittliche Anzahl der Arten ist gering (x=20 mit einer Standardabweichung s_x= 2.1).

Aufnahmegruppe 2 (n=8)

Die meisten Aufnahmen befinden sich auf der Piste und zwei im Randbereich. Die Aufnahmegruppe 2 bevorzugt ähnliche Bodenverhältnisse wie die vorhergehende. Jedoch befinden sich unter den Arten etwas mehr Feuchtigkeits-, Nährstoff- und Humuszeiger (vgl. Tab. 10). Die Arten der Gruppe L haben ebenfalls einen hohen Deckungsgrad, zudem ist die Artengruppe C stark vertreten. Die durchschnittliche Anzahl der Arten ist bedeutend höher (x=25 mit Standardabweichung s_x=2.8) als in der Gruppe 1.

Aufnahmegruppe 3 (n=8)

Die Aufnahmen befinden sich auf der Piste oder im zeitweise befahrenen Randbereich. Die Aufnahmegruppe 3 beansprucht ebenfalls einen nährstoffreichen, meist etwas feuchteren Boden mit ausgesprochen wechselnder Feuchtigkeit (w/3). Die Artengruppen B und C sind kennzeichnend. Die durchschnittliche Anzahl der Arten ist 22 mit einer Standardabweichung von s_x=4.0.

Aufnahmegruppe 4 (n=6)
Die Aufnahmen befinden sich neben der Piste. Aufnahmegruppe 4 verlangt frische und nährstoffreiche Böden. Die Wechselfeuchtigkeit ist etwas geringer (w/4) und die Magerkeitszeiger sind etwas häufiger (vgl. Tab. 10). Die Anzahl der Licht- und der ausgesprochenen Lichtzeiger ist geringer. Dies hängt vermutlich mit der dichten, geschlossenen Vegetationsdecke zusammen. Ebenfalls gibt es weniger Sauerstoffarmutzeiger. Arten der Gruppen C und D kommen sehr häufig vor. Die durchschnittliche Anzahl der Arten ist 26 mit einer Standardabweichung von s_x=3.3.

Aufnahmegruppe 5 (n=3)
Die Aufnahmen gehören zum Randbereich des Transektes B. Diese Gruppe bevorzugt etwas bescheidenere Nährstoffverhältnisse. Die Anzahl der Nährstoffzeiger ist dementsprechend geringfügig kleiner, die Wechselfeuchtigkeit geringer (w/4) als in den Gruppen 1-3. Typisch für diese Aufnahmegruppe ist die Artengruppe E. Die Arten der Gruppe C sind wie in den Aufnahmegruppe 2, 3 und 4 häufig. Die durchschnittliche Anzahl der Arten (x=29) ist höher als in den vorhergehenden Aufnahmegruppen. Die Standardabweichung beträgt s_x=3.4.

Aufnahmegruppe 6 (n=12)
Abgesehen von A14 und A15 befinden sich alle Aufnahmen neben der Piste oder im schwach befahrenen Randbereich. Die Arten der Aufnahmegruppe 6 lieben weniger nährstoffreiche, normal durchlüftete Böden mit einer mässigen Wechselfeuchtigkeit (w/4). Unter diesen Arten treten mehr Säure- und Magerkeitszeiger und weniger Sauerstoffarmutszeiger auf als in den vorhergehenden Aufnahmegruppen. Die Arten der Gruppen B, C, D und E fehlen fast vollständig, diejenigen der Gruppe G kommen sehr häufig vor,

Tab. 9. Mittlere Zeigerwerte (nach LANDOLT 1977) der Aufnahmegruppen nach der Vegetationstabelle.
Table 9. Means of the indicator values (after LANDOLT 1977) of the relevé groups from the vegetation table.

Aufnahmegruppe	1	2	3	4	5	6	7
Anzahl Aufnahmen	6	8	8	6	3	12	3
Feuchtezahl (F)	3.20	3.21	3.29	3.21	3.17	3.21	3.19
Wechselfeuchtigkeit (w)	1/3	1/3	1/3	1/4	1/4	1/4	1/4
Reaktionszahl (R)	3.03	3.03	3.03	3.05	3.07	2.97	2.92
Nährstoffzahl (N)	3.48	3.47	3.51	3.50	3.37	3.24	3.02
Humuszahl (H)	3.26	3.26	3.27	3.28	3.29	3.33	3.31
Dispersitätszahl (D)	4.13	4.09	4.10	4.05	4.07	3.98	3.99
Lichtzahl (L)	3.75	3.67	3.66	3.61	3.64	3.71	3.74
Temperaturzahl (T)	2.41	2.34	2.35	2.26	2.32	2.20	2.09

diejenigen der Gruppe H haben einen verhältnismässig hohen Deckungsgrad oder wurden insgesamt mit einer höhere Deckung neben der Piste angetroffen. Die subalpinen Arten sind zahlreicher als in den Gruppen 1-5, davon hat Ligusticum mutellina einen sehr hohen Deckungsgrad bei fast allen Aufnahmen. Die Arten der Gruppe L sind im Vergleich mit den andern Aufnahmegruppen nur schwach vertreten. Die durchschnittliche Anzahl der Arten beträgt 27 mit einer Standardabweichung von s_x=3.6.

Aufnahmegruppe 7 (n=3)

Die Aufnahmen befinden sich neben der Piste. Die Gruppe 7 weicht stark ab von den ersten fünf Aufnahmegruppen. Die Aufnahmen wurden alle auf einem schwachen Buckel vorgenommen. Die Arten dieser Gruppe bevorzugen eher saure, aber doch mässig nährstoffreiche und frische Böden mit mässiger Wechselfeuchtigkeit (w/4). Hier ist die Anzahl der mässigen Trokkenheits-, der Säure- und der Magerkeitszeiger und der subalpinen Arten bedeutend höher als bei allen andern Aufnahmegruppen. Charakteristisch ist die Artengruppe F. Im übrigen entspricht diese Aufnahmegruppe der Gruppe 6. Die durchschnittliche Anzahl der Arten ist die höchste aller Aufnahmegruppen mit 35 und Standardabweichung s_x=3.6.

Tab. 10. Durchschnittliche Anzahl Zeigerpflanzen (nach LANDOLT 1977) der Aufnahmegruppen in %.

Table 10. Average number of indicator plants (after LANDOLT 1977) of the relevé groups in %.

Aufnahmegruppe	1	2	3	4	5	6	7
Anzahl sämtlicher Arten	114	176	168	151	86	312	102
Feuchtigkeitszeiger	25.4	29.0	28.0	25.2	20.9	21.4	18.6
Zeiger mässiger Trockenheit	2.6	1.1	3.0	3.3	3.5	3.8	6.9
Basenzeiger	9.6	9.1	7.7	13.9	12.8	9.9	8.8
Säure- und ausgesprochene S.zeiger	4.4	8.0	4.8	7.9	9.3	15.7	20.6
Nährstoffzeiger	50.0	57.4	58.9	54.3	43.0	41.0	30.4
Magerkeits- und ausgesprochene M.zeiger	7.9	11.9	9.5	14.6	16.3	21.8	33.3
Humuszeiger	24.6	31.3	29.2	29.1	30.2	33.0	35.3
Mineralbodenzeiger	-	1.1	2.4	2.0	-	2.0	-
Sauerstoffarmutzeiger	12.3	13.1	13.7	9.3	7.0	6.4	9.8
Lichtzeiger	62.3	63.1	54.8	52.3	61.6	56.7	64.7
ausgesprochene Lichtzeiger	5.3	5.7	6.5	6.0	3.5	6.7	2.9
Schattenzeiger	-	-	0.6	1.3	2.3	0.6	-

3.3.4. Ordination der Aufnahmen

Mit der Ordination wird versucht, die Aufnahmen auf Grund ihrer Aehnlichkeit untereinander in einem mehrdimensionalen Raum anzuordnen. Die Ordination ist besser als eine Klassifikation geeignet, Gradientenstrukturen in der Vegetation aufzuzeigen.
Abb. 15 zeigt die Ordination der Aufnahmen aufgrund der Artenzusammensetzung durch die Hauptkomponentenanalyse nach WILDI und ORLOCI (1983). Neben der Ordination der Aufnahmen ist die entsprechende Ordination der Arten abgebildet, um die Beiträge der einzelnen Arten zu den Hauptkomponenten sichtbar zu machen.
Durch die erste und zweite Hauptkomponente, die zusammen 41% der Datenvarianz erklären, werden die Transekte, besonders Transekt A, von einander getrennt (Abb. 15a). Die entsprechende Ordination der Arten (Abb. 15b) macht sichtbar, welche Arten die grössten Beiträge an die erste und zweite Hauptkomponente lieferten und ebenfalls an die Unterschiede zwischen den Transekten und innerhalb der Transekte.
Jeder Transekt wird durch eine eigene Artenkombination gekennzeichnet, die durch das Vorkommen oder Fehlen verschiedener Arten oder durch grosse Unterschiede in der Stetigkeit einiger Arten zum Ausdruck gebracht wird (Tab. 11).
Auf der ersten Achse der Ordination wird die Trennung zwischen dem grössten Teil des Transektes A und den Transekten B und C sichtbar durch die Arten Festuca rubra, Hypochoeris uniflora, Anthoxanthum alpinum, Geum montanum, Myosotis silvatica und Plantago alpina für Transekt A und Alchemilla sp., Ranunculus acer, Trisetum flavescens, Taraxacum officinale s.l., Trifolium repens, Geranium silvaticum und Poa pratensis für die Transekte B und C.
Die Verteilung der Arten auf der linken Hälfte von Abb. 15b reflektiert das Vorkommen und den Unterschied in der Deckung von Trifolium repens, Poa pratensis, Alchemilla sp., Poa alpina, Taraxacum officinale s.l., Trisetum flavescens, Rumex arifolius und Geranium silvaticum. Die Aufnahmen B_3 und B_4, die obersten der Ordination, haben zum Beispiel sehr hohe Deckungen der Arten Trifolium repens und Poa pratensis und in den untersten Aufnahmen A_{25} und A_{23} ist Trisetum flavescens mit einer sehr hohen Deckung vorhanden. Zu dieser Aufnahmenwolke links unten gehören neben Aufnahmen der Transekte B und C auch einige des Transektes A. Sie differieren gegenüber dem Rest des Transektes A durch eine grössere Dek-

Tab. 11. Unterschiede in der Artenzusammensetzung der drei Transekte.
(Arten, die nur einmal vorkommen sind nicht berücksichtigt worden)
Table 11. Differences in the composition of species of the three transects.
(Species which occurred only once are neglected)

	Transekt A	Transekt B	Transekt C
Arten, die im betreffenden Transekt mit mindestens 20% höherer Stetigkeit als in den anderen Transekten vorkommen	Anthoxanthum alpinum Festuca rubra Minuartia verna Geum montanum Plantago alpina	Chaerophyllum villarsii Trifolium pratense-nivale Poa pratensis	Phleum alpinum
Arten, die nur im betreffenden Transekt vorkommen	Hypochoeris uniflora Pulsatilla sulphurea Carex sempervirens Lotus corniculatus Nardus stricta		
Arten, die im betreffenden Transekt mit mindestens 20% geringerer Stetigkeit als in den anderen Transekten vorkommen	Trifolium repens Ranunculus acer Geranium silvaticum Trifolium badium Trisetum flavescens	Myosotis silvatica Deschampsia caespitosa	Campanula scheuchzeri
Arten, die im betreffenden Transekt fehlen und in den anderen Transekten vorkommen	Peucedanum ostruthium Carum carvi Rhinanthus alectorolophus Viola tricolor	Poa trivialis Homogyne alpina Leontodon helveticus Luzula multiflora Crepis aurea Campanula barbata	Galium anisophyllum Arnica montana Bartsia alpina Ajuga pyramidalis Polygonum viviparum Helictotrichon pubescens

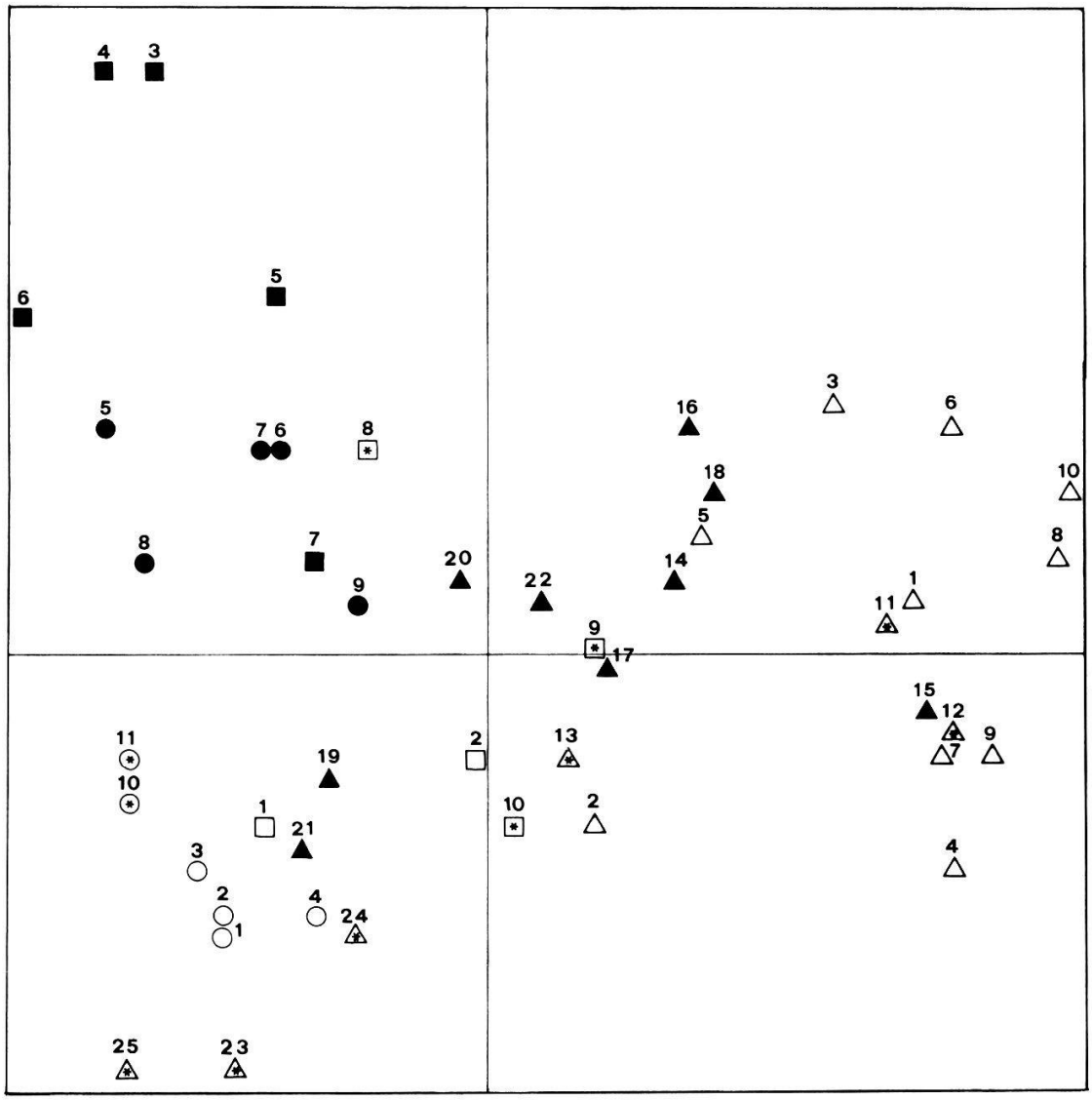


Abb. 15a. Ordination der Vegetationsaufnahmen der drei Transekte (A = △, B = □, C = ○) auf der Piste (▲■●), neben der Piste (△□○) und im Randbereich (⊛⊡⊛).
Die erste Achse trägt 27%, die zweite 14% zur Summe aller Datenvarianz (=Information) bei.

Fig. 15a. Ordination of the relevés of the three transects (A = △, B = □ C = ○), on the ski run (▲■●), outside the ski run (△□○) and in the border area (⊛⊡⊛).
The first axis accounts for 27%, the second for 14% of the total variation (=information).

Abb. 15b. Beiträge der Arten zu den ersten zwei Hauptkomponenten in Abb. 15a.
Fig. 15b. Contribution of the species to the first and second axis in fig. 15a.

★ zusammenfallende Ordinationspunkte - coincident points of ordination

Alsp = Alchemilla sp., Axal = Anthoxanthum alpinum, Cash = Campanula scheuchzeri, Carv = Carum carvi, Ccal = Crocus albiflorus, Ceca = Cerastium caespitosa, Feru = Festuca rubra, Gaan = Galium anisophyllum, Gemo = Geum montanum, Grsi = Geranium silvaticum, Hoal = Homogyne alpina, Hcun = Hypochoeris uniflora, Limu = Ligusticum mutellina, Mysi = Myosotis silvatica, Pcos = Peucedanum ostruthium, Phal = Phleum alpinum, Plal = Plantago alpina, Poal = Poa alpina, Popr = Poa pratensis, Potr = Poa trivialis, Ptau = Potentilla aurea, Pusu = Pulsatilla sulphurea, Raac = Ranunculus acer, Ruar = Rumex arifolius, Sidi = Silene dioeca, Soal = Soldanella alpina, Taof = Taraxacum officinale s.l., Toeu = Trollius europaeus, Trba = Trifolium badium, Trre = Trifolium repens, Tsfl = Trisetum flavescens

kung der Arten Trisetum flavescens, Ranunculus acer und Alchemilla sp. und befinden sich an einem Ende des Transektes. Auf der ersten Achse bilden die Aufnahmen Nr. 3, 6, 10, 8, 1, 11, 15, 12, 7, 9 und 4 des Transektes A eine Gruppe. Gegenüber den anderen Aufnahmen unterscheiden sie sich durch eine höhere Deckung von Festuca rubra und das Vorkommen der Arten Lotus corniculatus, Nardus stricta usw. der Artengruppe F (siehe Tab. 7) und auch das Vorkommen der Arten Geum montanum, Hypochoeris uniflora, Plantago alpina usw. der Artengruppe G. Die meisten Arten der Gruppen F und G bevorzugen einen sauren und oder einen mageren Standort (nach LANDOLT 1977).

3.4. BEZIEHUNG ZWISCHEN DEM VORKOMMEN DER ARTEN UND AUFNAHMEN UND IHRER LAGE ZUR PISTE

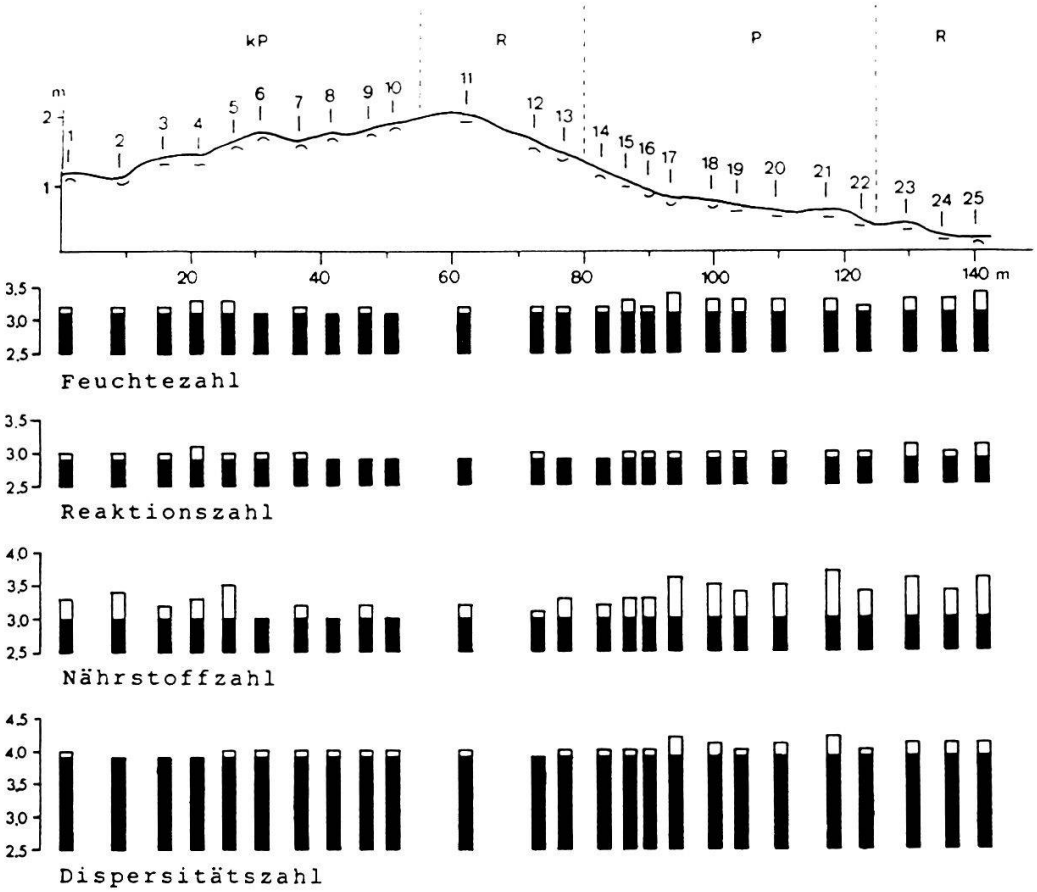
Tab. 12 zeigt das Vorkommen der Arten inbezug auf Flächen neben und im Pistenbereich. Die Summen der Deckungsgrade auf und neben der Piste wurden miteinander verglichen. In der Tabelle sind nur Unterschiede dargestellt worden, die grösser als zehn Deckungsprozente sind. Einige Aufnahmen aus dem Randbereich wurden nicht berücksichtigt, um für beide Pistenbereiche die gleiche Anzahl der Aufnahmen zu erhalten.
Alchemilla sp. und Trifolium repens hatten in allen drei Transekten eine höhere Deckung auf der Piste als ausserhalb des Pistenbereiches. Taraxacum officinale s.l. hatte in zwei Transekten im Pistenbereich eine höhere Deckung als neben der Piste. Im dritten Transekt wurde kein Unterschied im Deckungsgrad festgestellt. Carum carvi, Deschampsia caespitosa und Poa pratensis hatten nur in einem Transekt eine grössere Deckung im Pistenbereich, sie waren in den anderen Transekten kaum vorhanden.
Dagegen kamen Ligusticum mutellina, Ranunculus montanus und Trifolium badium in allen drei Transekten ausserhalb des Pistenbereiches häufiger vor als auf der Piste. Für Myosotis silvatica und Rumex arifolius traf dies zu in zwei Transekten, im dritten war der Unterschied gering.
Manche Arten verhielten sich nicht eindeutig. Im einen Transekt waren sie häufiger auf der Piste und im anderen neben der Piste.
Beim Vergleich der Tab. 12 mit Tab. 7 treten einige kleine Unterschiede auf. Die Vegetationstabelle (Tab. 7) erfasst das gesamte Verhalten einer

Tab. 12. Unterschiede im Artengefüge auf und neben der Piste.
Table 12. Differences in composition of species on and outside the ski run.

X = Die Summe der Deckungsgrade auf der Piste ist mindestens 10% höher als neben der Piste - The total plant cover on the ski run is at least 10% higher than outside the ski run.
O = Die Summe der Deckungsgrade neben der Piste ist mindestens 10% höher als auf der Piste - The total plant cover outside the ski run is as least 10% higher than on the ski run.

P = Piste - ski run, R = Randbereich - border area,
N = neben Piste - no ski run.

	Transekt A		Transekt B		Transekt C	
Anzahl Aufnahmen	12	12	5	5	4	4
Pistenzugehörigkeit	P ,R	N, R	P	N, R	P	N
Alchemilla sp.	X		X		X	
Trifolium repens	X		X		X	
Taraxacum officinale s.l.	X		X			
Carum carvi			X			
Deschampsia caespitosa	X					
Poa pratensis			X			
Ranunculus acer	X		X			O
Trollius europaeus	X			O	X	
Poa alpina		O	X		X	
Geranium silvaticum	X			O		
Poa chaixii	X			O		
Phleum alpinum	X					O
Potentilla aurea		O	X			
Crocus albiflorus	X			O		O
Trisetum flavescens	X			O		O
Ligusticum mutellina		O		O		O
Ranunculus montanus		O		O		O
Trifolium badium		O		O		O
Myosotis silvatica		O		O		
Rumex arifolius				O		O
Anthoxanthum alpinum		O				
Campanula scheuchzeri		O				
Festuca rubra		O				
Geum montanum		O				
Homogyne alpina		O				
Hypochoeris uniflora		O				
Plantago alpina		O				
Poa supina		O				
Poa trivialis		O				
Helictotrichon pubescens				O		
Peucedanum ostruthium				O		
Rhinanthus alectorolophus				O		
Silene dioeca				O		
Soldanella alpina						O



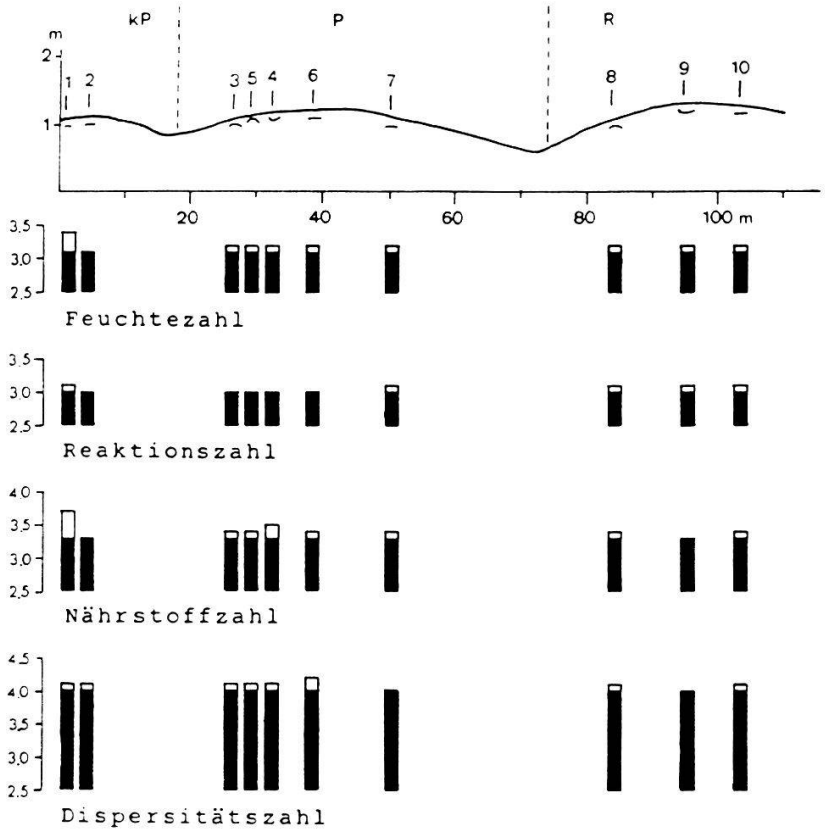
A

Abb. 16. Mittlere Werte der Feuchte-, Reaktions-, Nährstoff- und Dispersitätszahl (nach LANDOLT 1977) mit einer Uebersicht der Lage der Flächen. A, B, C entsprechen den drei Transekten.
(Im Weissen sind die Zehntelwerte angegeben, die höher sind als der niedrigste Wert einer Aufnahme des Transektes)

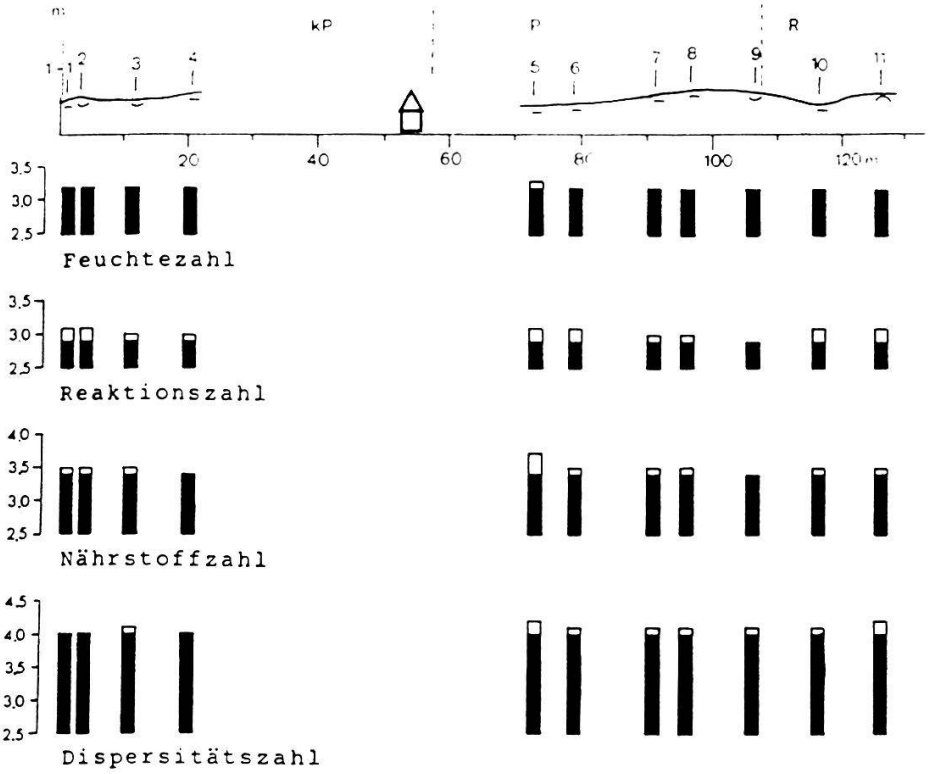
Fig. 16. Mean values of humidity, reaction, nutrient, and dispersion (after LANDOLT 1977) with relief profile of the relevés.
A, B, C correspond to the three transects.
(Tenth-values in the white area indicate the values which are higher than the lowest of a relevé of the transect)

kP = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run,
R = Randbereich - border area

Mikrorelief:
⌣ = Muldenlage - depression, ⌒ = Kuppenlage - hummock, — = eben - level


kP
P
R
m
2
1
1 2
3 5 4
6
7
8
9
10
20
40
60
80
100 m
3,5
3,0
2,5
Feuchtezahl
3,5
3,0
2,5
Reaktionszahl
4,0
3,5
3,0
2,5
Nährstoffzahl
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
Dispersitätszahl

B


m
kP
P
R
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
20
40
60
80
100
120 m
3,5
3,0
2,5
Feuchtezahl
3,5
3,0
2,5
Reaktionszahl
4,0
3,5
3,0
2,5
Nährstoffzahl
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
Dispersitätszahl

C

Art auf und neben der Piste. Dabei wurde berücksichtigt, dass Transekt A mehr als zweimal soviel Flächen enthält als die beiden anderen.
Aus Tab. 7 geht hervor, dass die Hälfte der Arten, nämlich diejenigen der Artengruppen D, E, F, G, H und M, neben der Piste eine etwas höhere Deckung oder Stetigkeit aufweisen als auf der Piste. Bei 20% der Arten, nämlich denjenigen der Artengruppen A und L, verhält es sich umgekehrt. Einige Arten (Artengruppe I und N) kommen auf und neben der Piste etwa gleich häufig vor.
Bei der Ordination (Abb. 15) und der Klassifikation (Tab. 7) sind die Aufnahmen im Pistenbereich und neben der Piste oft gut voneinander getrennt. Die Arten Alchemilla sp., Trifolium repens, Taraxacum officinale s.l. und Poa pratensis charakterisieren die Aufnahmen im Pistenbereich der Transekte B und C (vgl. Gruppen 1 und 2 der Vegetationstabelle). Auf der anderen Seite der Ordinationsachse kennzeichen die Arten Trisetum flavescens, Peucedanum ostruthium und Geranium silvaticum die Aufnahmen neben der Piste dieser Transekte (vgl. Gruppe 4 der Vegetationstabelle). Die Aufnahmengruppen 6 und 7 der Vegetationstabelle korrespondieren mit der rechten Aufnahmenwolke der Ordination. Alle diese Aufnahmen des Transekts A befinden sich mit Ausnahme von A_{14} und A_{15}

Tab. 13. Geschätzter Gesamtdeckungsgrad in % der Kleearten, Gräserartigen und übrigen Kräuter der drei Transekte neben und auf der Piste im Jahr 1983.
Table 13. Estimations of total plant cover in %, for legumes, grasses, and other herbs of the three transects outside and on the ski run in 1983

N = neben Piste - no ski run, R = Randbereich - border area,
P = Piste - ski run.

	Transekt A		Transekt B		Transekt C	
Pistenbereich	N, R	P	N, R	P	N, R	P
Anzahl Flächen	11	13	5	5	6	6
Kleearten	100	67	100	316	100	159
Gräserartige	100	104	100	179	100	56
Kräuter	100	103	100	94	100	92

neben der Piste. Sie unterscheiden sich durch viele Trockenheits-, Magerkeits-, und Säurezeiger vom Rest des Transektes. Diese Aufnahmen neben der Piste stammen von einem flachen Buckel, die im Pistenbereich aus einer ziemlich flachen Mulde (Abb. 4).

Die Aufnahmegruppen 1-3 der Vegetationstabelle, welche vor allem die Aufnahmen auf der Piste und den grössten Teil derjenigen im Randbereich umfassen, haben eine ausgesprochen wechselnde Feuchtigkeit (w/3) (Tab. 9). Bei den Gruppen 4-7 mit Aufnahmen neben der Piste und einigen im Randbereich ist die Wechselfeuchtigkeit weniger ausgeprägt (w/4).

Die mittleren Zeigerwerte aller Aufnahmen im Pistenbereich sind nicht signifikant anders als diejenigen neben der Piste (Abb. 16). Erwartungsgemäss sind die Buckellagen trockener, basen- und nährstoffärmer (Verlustlagen) als die schwachen Muldenlagen (Gewinnlagen).

Der geschätzte Gesamtdeckungsgrad der Kleearten, der gräserartigen Pflanzen und der Kräuter ist in Tab. 13 abgebildet. Als Grundwerte (100%) dienten die Werte neben der Piste. Keine dieser drei Gruppen kommt im Pistenbereich aller drei Transekte überall wesentlich häufiger oder weniger häufig vor. Für die Abnahme der Kleearten auf der Piste im Transekt A und die Zunahme auf den Pistenflächen der Transekte B und C sind die Arten Trifolium badium bzw. Trifolium repens ausschlaggebend. Der Gräseranteil verhält sich in jedem Transekt anders. Beim Kräuteranteil wurde keine grosse Veränderung konstatiert.

Weil keine pflanzensoziologischen Daten aus früheren Zeiten vorliegen und die Topographie nicht homogen ist, können über die alleinige Beeinträchtigung der Artenzusammensetzung durch den Skibetrieb keine zuverlässigen Aussagen gemacht werden.

3.5. ERTRAGSERHEBUNGEN

Abb. 17 zeigt die oberirdischen Biomassen in Trockensubstanz, ausgedrückt in Dezitonnen pro Hektar (dt/ha), der Jahre 1982 und 1983 und die Mittelwerte für den Pistenbereich, den Randbereich und für die unbelasteten Abschnitte der drei Transekte. In fast allen Fällen war der Ertrag zum Zeitpunkt des Heuschnittes, Mitte bis Ende Juli, im Pistenbereich deutlich geringer als neben der Piste und im Randbereich. Die relativ niedrigen Werte des Teiles neben der Piste im Transekt A, die beim folgenden Vergleich ausgeklammert wurden, dürften vermutlich reliefbedingt sein, da dieser Transektabschnitt auf einem leichten Buckel liegt im Gegensatz zum Rest des Transektes. Auffällig ist der grosse Unterschied im Ertrag der Flächen neben der Piste des Transektes C. Dies hängt mit der Gräsermenge zusammen, insbesonders des Trisetum flavescens. Das Jahr 1983 war für das Wachstum sehr günstig, jedenfalls im Untersuchungsgebiet. Die letzten Aufnahmen des Transekts A (Randgebiet),

Tab. 14. Durchschnittlicher Ertragsausfall auf der Piste in den drei Transekten der Jahre 1982, 1983 und sein Mittelwert.
Table 14. Mean loss of yield on the ski run of the three transects in 1982, 1983, and its mean.

P = Piste - ski run, R = Randbereich - border area,
kP = keine Piste - no ski run
n = Anzahl Messungen - number of measurements

* 1983 vom Transekt B nur Randbereich (n=3) - in 1983 only border area (n=3) of transect B

		n=	1982	1983	1982 + 1983
Transekt A	P R	8 6	21.0	17.2	19.1
Transekt B	P kP + R	5 5*	23.0	14.9	16.8
Transekt C	P kP + R	5 6	12.1	21.9	17.8
Transekte A, B, C	P: A, B, C kP: B, C R: A, B, C	18 17	17.2	19.0	17.8

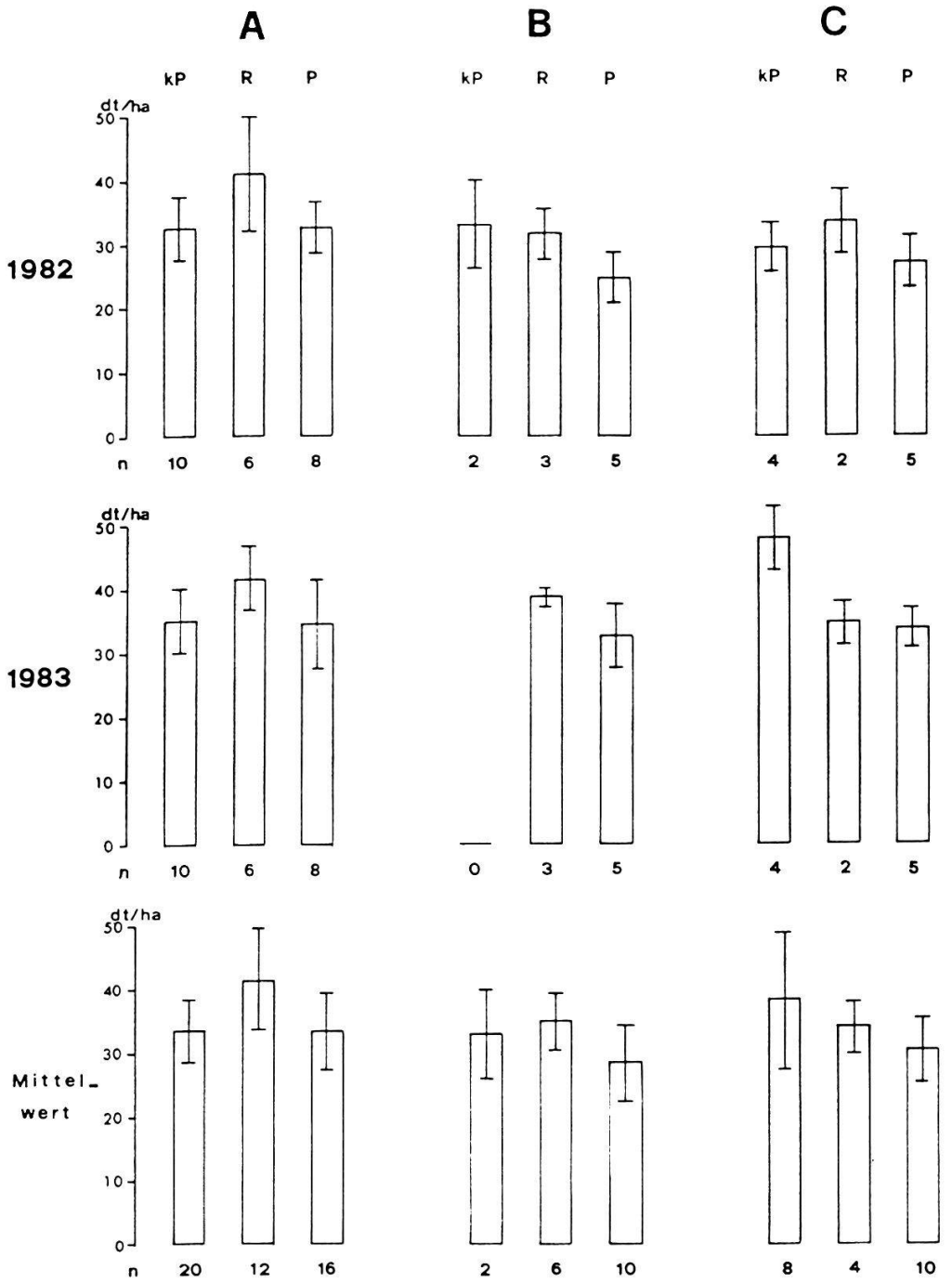


Abb. 17. Trockensubstanz der Heuernte vom Juli 1982, Juli 1983 und Mittelwert mit Standardabweichung in den drei Transekten A, B und C.

Fig. 17. Yield of dry matter in July 1982, July 1983, and mean with standard deviation in the three transects A, B, and C.

kP = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run,
R = Randbereich - border area,
n = Anzahl Messungen - number of measurements

die mehr in einer Mulde liegen, weisen einen sehr hohen Ertrag auf. Jedoch allein auf diesen Flächen wurde im Jahr 1983 kein höherer Ertrag gemessen.
Die Ertragseinbussen auf der Piste in den einzelnen Transekten werden in Tab. 14 dargestellt. Der durchschnittliche Ertragsausfall der drei Transekte betrug im Jahr 1982 17.2%, im Jahr 1983 19.0% und in den zwei Jahren zusammen 17.8%. Diese Ertragsausfälle sind mit 95% Sicherheit signifikant. Die Wachstumsverhältnisse im Jahr 1983 begünstigten insbesondere die Pflanzen auf den Pistenflächen in den Transekten A und B. Hier nahm der Unterschied im Ertrag zwischen Piste und neben der Piste ab. Dagegen waren im Transekt C die mittleren Erträge und die mittlere Vegetationshöhe (vgl. Kap. 3.2.6.) der Flächen neben der Piste viel grösser als jene im Pistenbereich.

3.6. NAEHRSTOFFANALYSEN

In Tab. 15 und Abb. 18 sind die chemischen Analysen der Grasproben von einigermassen ähnlichen Vegetationen aufgezeichnet. Acht Flächen lagen im Pistenbereich, vier neben der Piste oder im wenig befahrenen Rand. Die Ergebnisse dieser Analysen zeigen eine sehr grosse Variation, besonders auch innerhalb der beiden Gruppen. Ein Unterschied zwischen den Flächen auf der Piste und denen neben der Piste konnte nicht nachgewiesen werden.
Bei den Rohfasern gilt ein Gehalt von 20-22% als optimal. Der extrem hohe Wert in der Aufnahme A_{18} wird durch eine grosse Menge an Deschampsia caespitosa bewirkt.

Tab. 15. Qualitätsbestimmungen der Grasproben des Transektes A im Pistenbereich (n=8) und neben der Piste mit dem Randbereich (n=4) im Jahr 1983.

Table 15. Analyses of nutritive values of transect A on the ski run (n=8) and outside the ski run with the border area (n=4) in 1983.

	neben Piste	Randbereich				Piste								
Flächen-nummer	A9	A11	A12	A13	Mittel	A14	A15	A16	A18	A19	A20	A21	A22	Mittel
Rohprotein g/kg Ts	153	133	134	137	139	132	146	150	151	142	139	136	155	144
Rohfasern g/kg Ts	216	216	192	212	209	211	166	180	298	192	188	235	176	206
NEL MJ/kg TS	6.37	6.23	6.29	6.34	6.31	6.32	6.34	6.32	5.80	6.38	6.39	6.18	6.47	6.28
P g/kg TS	3.4	2.8	3.1	3.2	3.1	3.4	3.5	3.0	2.7	2.9	3.0	2.8	3.0	3.0
K g/kg TS	22.0	20.8	25.2	23.7	23.0	19.5	26.0	30.3	21.4	24.6	20.9	20.1	20.7	22.9
Mg g/kg TS	3.1	3.3	3.8	3.4	3.4	3.9	4.5	3.3	2.9	3.3	3.8	3.2	4.2	3.6
Ca g/kg TS	12.1	13.2	15.3	12.0	13.2	15.0	19.9	16.8	12.0	13.7	15.5	11.2	17.0	15.1
Ca/P	3.6	4.7	4.9	3.8	4.3	4.4	5.7	5.6	4.4	4.7	5.2	4.0	5.7	5.0

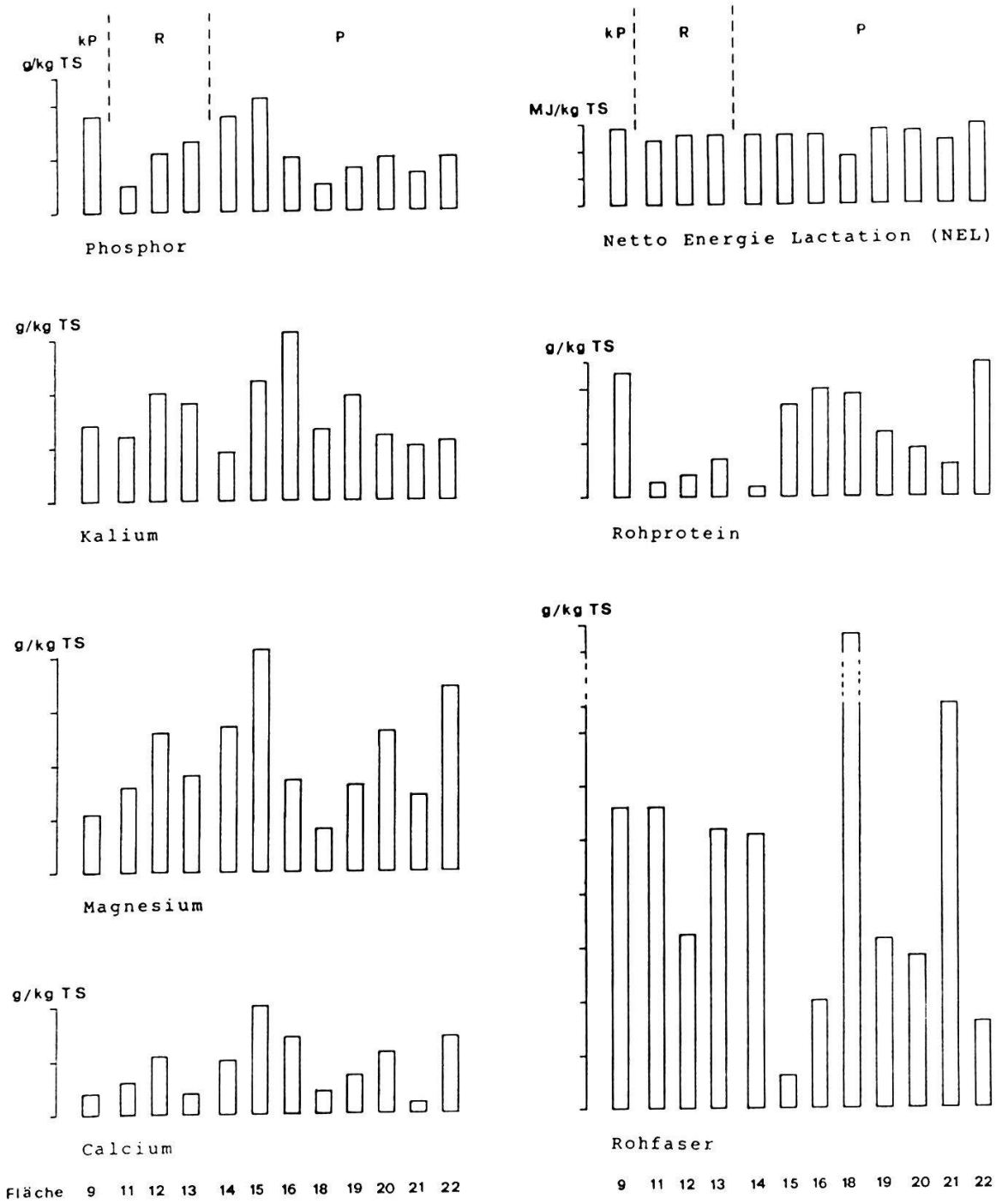


Abb. 18. Nährstoffwerte der Grasproben des Transektes A, neben der Piste mit dem Randbereich (n=4) und auf der Piste (n=8) im Jahr 1983.
Fig. 18. Nutritive values of grass samples of transect A, outside the ski run with the border area (n=4) and on the ski run (n=8) in 1983.

kP = keine Piste - no ski run, P = Piste - ski run,
R = Randbereich - border area,

4. DISKUSSION

4.1. EINFLUSS DER SKIPISTEN AUF SCHNEEDECKE UND VEGETATIONSENTWICKLUNG

Eine natürliche Schneedecke ist während der tiefen Wintertemperaturen in der subalpinen und alpinen Stufe für viele Lebewesen eine Lebensnotwendigkeit. Die vielen Hohlräume der Schneeschicht bilden eine gute Isolation (u.a. ADAMS 1981, DAUBENMIRE 1959, LEVI und CHORUS 1932, RUEBEL 1912 und WOEIKOF 1889). Unter einer Schneedecke von mindestens 50 cm gefriert der Boden in der subalpinen Stufe kaum (MICHAELIS 1934). Dagegen kann an schneefreien Stellen der Frost bis auf 1 m Tiefe in den Boden eindringen (AULITZKY 1961).

Im Frühling können die nicht oder nur wenig belasteten Schneeschichten von einem halben Meter Höhe und mehr während einiger warmer Tage rasch schmelzen, wobei Lage, Höhe und Aufbau der Schneedecke eine wichtige Rolle spielen. Ein weniger schneller Schmelzvorgang wurde dort beobachtet, wo der Schnee durch das Präparieren der Pisten und das Skifahren verdichtet war (u.a. BAYFIELD 1971, PFIFFNER 1978, SCHNITZER 1977, VOELKE 1977, und VON WYL und TROXLER 1984). Ein verspätetes Ausapern wurde auch auf mit Motorschlitten befahrenen Strecken von RYERSON et al. (1977) in Nordamerika beobachtet. Zudem ist eine zusammengepresste Schneeschicht gegen kürzere Warmlufteinbrüche im Spätwinter sehr widerstandsfähig (TISCHENDORF 1975).

In den vorliegenden Untersuchungen wurde entgegen aller Erwartung vielerorts im Pistenbereich ein verfrühtes Ausapern festgestellt, und zwar nicht etwa in extremer Buckellage, wo die Schneedecke normalerweise geringer ist als anderswo. Aus der Literatur ist diese Erscheinung kaum bekannt. VOELKE (1977) beschreibt ein inselhaftes Ausapern auf dem unteren Teil (1000-1100 m) einer Piste mit nur noch 20 cm Schnee am Saisonsende, während die Umgebung noch schneebedeckt war. Auch GRABHERR (1985) erwähnt, dass auf präparierten Pisten der Schnee nicht immer länger liegen bleibt, dass aber auch das Gegenteil beobachtet wird. Dieses frühere Schmelzen der Schneeschicht hängt vielleicht mit einer durch intensive Nutzung der Piste dünn gewordenen Schneedecke zusammen (vgl. Kap. 3.1.1.).

Eine starke Verdichtung des Schnees, z.B. durch den Skibetrieb, führt zur Bildung einer Firn- oder sogar Eisschicht. Besonders nasser Schnee wird unter Druck zu Eis (WAKAHAMA 1974). Dies deckt sich mit den Beobachtungen von VON WYL und TROXLER (1984), sie stellten Eisbildung vor allem an feuchten Hängen fest, an Orten, wo Quellwasser austritt und an ebenen Stellen, wo sich Hangwasser und oberflächlich abfliessendes Wasser ansammelt. Ebenfalls wurde in tieferen Lagen unter 1200 m ü.M. die dünnere Schneedecke durch die Pistenbearbeitung und das Skifahren bis auf den Boden zusammengedrückt, was die Entstehung einer Eisschicht verursachte.

Wie in dieser Untersuchung wurde aber auch an nicht besonders feuchten Stellen und in höheren Lagen während der Ausaperungszeit vielerorts eine Eisschicht angetroffen (vgl. KARL 1974, PFIFFNER 1978, SCHNITZER 1977). Der verfestigte Schnee hat, insbesondere wenn er zu Eis geworden ist, einen grossen Teil seiner isolierenden Wirkung verloren. Die Bodentemperaturen sinken folglich tiefer und sind einer grösseren Variation ausgesetzt als in Böden unter einer natürlichen Schneedecke wo sie nach SALISBURY (1985) nur wenig über dem Gefrierpunkt liegen (RYERSON et al. 1977, TISCHENDORF 1975). Beim Absinken der Temperaturen auf der Piste gefriert der Boden, die Poren füllen sich mit Eis, das bis auf den Boden durchsickerende Schmelzwasser bleibt liegen, gefriert und verstärkt dadurch die Bildung einer Eisschicht (MALE und GRAY 1981). In den Monaten Mai und Juni waren alle Böden im Pistenbereich vor und während der ersten Zeit nach der Ausaperung bis zu einer Tiefe von mindestens 5 cm gefroren. Sogar bis 20 cm Tiefe wurde noch gefrorener Boden gemessen. Erwähnenswert ist, dass nach dem Schmelzen von Schnee und Eis der Boden im Pistenbereich noch gut eine Woche gefroren blieb.

Böden, die vor der anhaltenden Winterschneebedeckung gefroren sind, tauen unter einer Schneeschicht von ca. 50 cm und mehr, dank der aufsteigenden Bodenwärme wieder auf. Die Temperatur in der Uebergangszone Boden-Schnee erreicht 0°C und auf 12 cm Tiefe sogar 0.6°C. Während der Wintermonate bleibt sie bei nicht abnehmender Schneedecke stabil (KIMBALL et al. 1973).

VON WYL und TROXLER (1984) konstatierten in Château d'Oex (VD), 1000-1500 m, dass eine dem Boden anliegende Eisschicht ein Gefrieren von höchstens 10 cm Tiefe hervorrief. Aber nur unter Eisschichten war der Boden gefroren, und zwar mit Temperaturen von -0.1-0.0°C. Unter Schneedecken war die Bodentemperatur auf der Piste längere Zeit konstant, näm-

lich rund 0°C und neben der Piste +0.6°C. Auf Pisten in Unterwasser (SG), 1000-1400 m, und auf Langlaufloipen bei Einsiedeln (SZ), 900 m, wurde indirekt eine Unterkühlung des Bodens festgestellt, da der Neuschnee auf den Pistenflächen länger liegen blieb als auf den unberührten Flächen (VOELKE 1977, bzw. ROHWEDER 1984).

Ist der Schnee weggeschmolzen, schmücken vielerorts auf unbelasteten Flächen die Frühlingskrokusse (Crocus albiflorus) mit ihren Blüten die subalpinen Wiesen und Weiden. Sogar durch die letzten Schneereste dringen auf Flächen neben der Piste die Krokusse und Soldanellen (Soldanella alpina) hervor (vgl. BRAUN 1908, ELLENBERG 1978, ROMPEL 1928, RUEBEL 1912). BRAUN (1908) stellte bei Krokus im Herbst Blütenknospen fest, aber um sich so zu entwickeln, wie sie aus dem Schnee hervortreten, müssen sie noch zum Wachsen reichlich Wasser aufnehmen. Unter einer natürlichen Schneedecke auf ungefrorenem Boden ist das Wasserangebot genügend gross, z.B. durch die zeitweise schmelzende Schneeschicht (BROCKMANN-JEROSCH 1925-29, LARCHER 1957, RUSSELL und WELLINGTON 1940).

Anfangs Februar fand RUEBEL (1925) auf 2100 m unter mehr als einem Meter Schnee frischgrüne Blättchen verschiedener Pflanzen. Aber Lichtmangel, Boden- und Wassertemperaturen um 0°C erlauben im Winter kein grosses Wachstum (KNAPP 1958). Infolge der stärkeren Zerstreuung durch den frisch gefallenen Schnee dringt im Hochwinter nur 1% des Lichtes bis zu einer Tiefe von 18 cm ein, während im Spätsommer die grobkörnige und verdichte Altschneedecke eines kleinen Gletschers den gleichen Lichtanteil 110 cm eindringen lässt (CURL et al. 1972). RICHARDSON und SALISBURY (1977) jedoch stellten fest, dass Ende April Samen unter einer ca. 2 m dicken Schneeschicht auf Licht reagierten, obwohl das Licht in dieser Tiefe nur bei sehr günstigen Witterungsverhältnissen messbar war.

Gegen den Frühling nimmt die Regsamkeit der Pflanzen zu. Die Zunahme des Lichtes durch die dünner und dichter werdende Schneedecke und das reichlich vorhandene Schmelzwasser bewirken eine weitgehende Vorbereitung und einen Entwicklungsanfang der Blatt- und Blütensprosse (BILLINGS und BLISS 1959, BRAUN 1908). Auch bei noch verhältnismässig niedrigen Temperaturen und geringen Lichtmengen können subalpine und alpine Arten assimilieren (MOSER 1973). So konnten nahe der Waldgrenze an strahlungsreichen Tagen Ende April junge Arven unter einer Schneedecke von rund 50 cm Höhe mit der Assimilation beginnen (TRANQUILLINI 1957).

Ende Mai, wenn die Lichtstärke schon bedeutend grösser ist, wurden im Untersuchungsgebiet neben der Piste unter 50 cm Schnee Krokusknospen bis

4 cm Höhe gefunden. Eine natürliche Schneebedeckung ermöglicht dem bei der Ausaperung ungefrorenen Boden eine rasche Erwärmung und ist so der Stoffproduktion im Frühjahr förderlich (HAVRANEK 1972). Nach der Ausaperung zeigten die Aufnahmeflächen neben der Piste zuerst Krokusblüten, bald nachher erschienen die Flächen als frischgrüne Matten. Auch BILLINGS und BLISS (1959), KNAPP (1958), ROMPEL (1928), sowie RUEBEL (1912) erwähnen ein schnelles Wachstum der Pflanzen nach der Schneeschmelze.
Aber im Bereich der Skipiste sah die Grasnarbe bis etwa zwei Wochen nach der Ausaperung braun und abgestorben aus (vgl. PFIFFNER 1978, VOELKE 1977). Unmittelbar nach der Ausaperung war der Boden auf der Piste noch gefroren. Innerhalb ungefähr einer Woche tauten die obersten Zentimeter auf (vgl. Kap. 3.2.1.). Bodentemperaturmessungen während zweier Jahre von März bis Mitte Mai in Château d'Oex ergaben, dass nach der Schneeschmelze die Temperatur rasch über $0^{o}C$ anstieg, dass aber die Minimumtemperaturen auf der Piste bis am Ende der Messungen tiefer blieben als neben der Piste (VON WYL und TROXLER 1984).
Durch das langsame Auftauen des Bodens konnten die Pflanzen nur zögernd mit ihrem Wachstum beginnen: es erschienen die ersten sehr kleinen noch gefalteten Blättchen von u.a. Trifolium repens, Poa alpina und Alchemilla sp. Etwa drei Wochen nach der Ausaperung kamen die Knospen von Crocus albiflorus aus dem Boden hervor. Auf den früher aper gewordenen Stellen im Pistenbereich wurde der gleiche Vorgang dieses verzögerten Wachstumsanfangs festgestellt.
Am deutlichsten kommt der Rückstand in der Entwicklung auf Pistenflächen im verspäteten Blühen in grosser Zahl vorkommender Arten wie z.B. Crocus albiflorus, Primula elatior, Taraxacum officinale und Cardamine pratensis zum Ausdruck (vgl. DIERAUER 1984, VOELKE 1977, VON WYL und TROXLER 1984). Arten, die nur eine oder wenige Blüten oder Blütenköpfe haben, sind für diese Beobachtung gut geeignet, da sie ein eindeutiges Bild liefern.
Eine ein- bis zweiwöchige Verspätung wurde bei den Arten Crocus albiflorus, Taraxacum officinale s.l., Ligusticum mutellina und Silene dioeca festgestellt. Diese Arten gelten stellvertretend für andere Arten, die schwieriger zu erfassen waren. Die frühblühenden Arten zeigten die Verzögerung viel ausgeprägter als die spätblühenden. Der Grund wird der grössere Unterschied der Bodentemperaturen zwischen belasteten und unbelasteten Wiesenteilen am Anfang der Vegetationsperiode sein (vgl. VON WYL und TROXLER 1984). Neben der Blütezeit ist auch die Wuchshöhe ein

guter Indikator für die Entwicklungsverzögerung. Bei diesen Untersuchungen wurden in zwei der drei Transekte auf der Piste während der ersten 30 Tage nach der Ausaperung ein Rückstand der mittleren Vegetationshöhe von rund 50% gemessen. Während dieser Periode war bei Messungen nach je sieben bis zehn Tagen die mittlere Zunahme der Pflanzenhöhe auf der Piste ebenfalls geringer als neben der Piste (vgl. Kap. 3.2.6.). Also nicht nur ein späterer Vegetationsanfang, sondern auch ein langsameres Wachstum während des ersten Monates prägen die Entwicklung der Pflanzen im Pistenbereich. Erst in der letzten Woche vor der Ernte nahm das mittlere Wachstum der Vegetation auf der Piste in den drei Transekten 35 bis 107% mehr zu als neben der Piste.
DIERAUER und REDIGER (1983) führten Messungen der Höhe an häufig vorkommenden Gräserarten durch. Sie stellten auf Langlaufloipen eine um 15-30% niedrigere Höhe fest als daneben. Langlaufloipen sind bezüglich der Intensität und der Frequenz der Druckbelastung wohl gleichwertig wie Skipisten, vor allem da sich hier die Belastung auf eine sehr kleine Fläche beschränkt. Trotz des erwähnten Rückstandes fand während des Rispenschiebens ein Ausgleich statt. Ebenfalls scheint in Château d'Oex in der montanen Stufe der Zeitpunkt der reproduktiven Phase der Gräser unabhängig vom Pisteneinfluss zu sein (VON WYL 1980).

4.2. EINFLUSS DER SKIPISTEN AUF ARTENZUSAMMENSETZUNG UND ERTRAG

Man könnte erwarten, dass das Präparieren der Pisten, die daraus folgende Bildung von Eisschichten und das Gefrieren des Bodens einen Einfluss auf die Artenzusammensetzung hätten. In unteren Lagen, 1000-1500 m, wird von verschiedenen Autoren eine Abnahme der qualitativ hochwertigen und empfindlichen Futterpflanzen berichtet (DIERAUER 1984, KARL 1974, REDIGER 1984, SCHNITZER und KOECK 1980). In Château d'Oex variierte die Artenzusammensetzung manchmal stark und manchmal gar nicht. Doch wurde eher eine Abnahme der hochwertigen Futterpflanzen, z.B. Dactylis glomerata und eine Zunahme der minderwertigen z.B. Festuca rubra festgestellt (VON WYL und TROXLER 1984). Bei einem Experiment auf einer schneefrei gehaltenen Fläche einer Goldhaferwiese, auf 1240 m, stellte GRISCH (1907) ein starkes Zurücktreten von Trisetum flavescens, Silene vulga-

ris, Silene dioeca und Poa pratensis fest. Ueberhand genommen hatten die Arten Poa trivialis, Taraxacum officinale, Trifolium repens und Bromus mollis alles Pflanzen, die verhältnismässig widerstandsfähig sind gegen Kälte. Ganz besonders Trifolium repens und Poa trivialis konnten mit oberirdischen Ausläufern freigewordene Räume in Anspruch nehmen.

Auf der Clavadeler Alp, ca. 2040 m, kamen knapp die Hälfte der Arten neben der Piste und nur 20% der Arten auf der Piste häufiger vor (vgl. Tab. 7). In allen drei Transekten wurde eine über 10% höhere Deckung der Arten Trifolium repens und Alchemilla sp. im Pistenbereich gemessen. Ebenso hatte Taraxacum officinale s.l. auf der Piste in zwei Transekten eine höhere Deckung. Carum carvi kam im Transekt B verhältnismässig häufig auf der Piste vor, in den anderen Aufnahmen war sie kaum vorhanden. Eine gute Entwicklung von Carum carvi auf der Piste wurde auch von VON WYL (1980) festgestellt.

Auf unbelasteten Flächen aller drei Transekte kamen die Arten Ligusticum mutellina, Ranunculus montanus und Trifolium badium häufiger vor. VON WYL und TROXLER (1984) berichteten, dass Trifolium repens und Taraxacum officinale einmal mehr auf der Piste, einmal mehr daneben auftraten und besonders Trifolium repens, profitierend von grösserem Lichtangebot, Lücken auffüllte.

Die Deckungsanteile der Gräser, der Kleearten und der übrigen Kräuter waren auf den Flächen auf und neben der Piste nicht wesentlich verschieden (vgl. Kap. 3.4.). Dagegen ergaben verschiedene Untersuchungen (PFIFFNER 1978, SCHNITZER und KOECK 1980 und WELTER 1985) eine Abnahme der Gräseranteile und eine Zunahme der Kräuter-, insbesondere der "Unkräuter"anteile auf bis ca. 1500 m gelegenen Flächen im Pistenbereich. Oft findet vor allem eine Verschiebung von hochwertigen Futterpflanzen (z.B. Dactylis glomerata, Festuca pratensis, Trisetum flavescens) zu minderwertigen (z.B. Agropyron repens, Anthoxanthum odoratum, Festuca rubra, Poa annua) statt (DIERAUER 1984, REDIGER 1984, SCHNITZER und KOECK 1980, und WELTER 1985).

Trifolium badium wurde häufiger neben der Piste, Trifolium repens häufiger im Pistenbereich angetroffen. So konnte in zwei der drei Transekte eine Zunahme der Gesamtdeckung der Kleearten auf der Piste festgestellt werden. Dies im Gegenteil zu der Abnahme des Kleeanteils, insbesondere des Trifolium pratense in tieferen Lagen (DIERAUER 1984, SCHNITZER und KOECK 1980 und WELTER 1985).

WELTER (1985) berichtete über eine Beobachtungsreihe von DIETL in Giswil

(OW), nach der in den ersten vier Jahren, seit dem Anfang des Skibetriebes fast kein Unterschied festgestellt wurde. Nachher nahmen jedoch auf einer schattigen, feuchten und deshalb empfindlichen Parzelle auf 1360 m Festuca pratensis und Trifolium pratense ab und der Kräuteranteil zu, vor allem mit Polygonum bistorta. Dagegen zeigte sich auf einer Parzelle auf der Sonnenseite gut hundert Meter höher noch keine Veränderung.
In den Jahren 1982 und 1983 wurde auf einer einschürigen Wiese der Clavadeler Alp, ca. 2040 m, im Pistenbereich ein geringerer Ertrag als neben der Piste gemessen. Im Jahr 1982 war der Ertrag im Durchschnitt 17.2% (=6.0 dt TS/ha), 1983 19.0% (=7.9 dt TS/ha) kleiner als derjenige ausserhalb der Piste und im Randbereich.
Erste Ergebnisse der Untersuchungen über die durch den Skibetrieb verursachten Erträgsausfälle auf der Alpe di Siusi im Südtirol (Norditalien) ergaben, dass auf den zwischen 1920-2030 m gelegenen Wiesen Ertragseinbussen von 29-58% gemessen wurden, wobei die Ausfälle mit zunehmender Höhe abnahmen (BEZZI und CUMER 1977).
Bisherige Ertragsbestimmungen auf Skipisten wurden vor allem in tieferen Höhenlagen zwischen 1000 und 1500 m vorgenommen. Zum Vergleich der Ertragsabnahmen wurde deshalb nur der erste Heuschnitt, die Ernte, berücksichtigt. Die durch den Skibetrieb verursachten Schäden können innerhalb einer und derselben Wiese stark abweichen. Kleine Reliefunterschiede führen im allgemeinen zu verschiedenen Schneehöhen, welche ihrerseits sehr unterschiedliche Druckbelastungen zur Folge haben. So wird eine Vertiefung viel stärker geschützt durch eine mächtigere Schneedecke als eine Erhöhung, die zudem zum Abschwingen einlädt. An letztgenannten Stellen betrug der Ausfall auf intensiv befahrenen Pisten im Durchschnitt 20-40%, auf weniger stark befahrenen Pisten im Durchschnitt 10% bis 20% (SCHNITZER 1977). In Oesterreich ergaben Ertragsmessungen während vier Jahren bei einem Dutzend Skipisten auf mässig bis normal belasteten Flächen einen grossflächigen Ertragsausfall von 21-30%, auf stark belasteten Flächen einen solchen von 30-70% (SCHNITZER 1983). Dagegen berichtete PFIFFNER (1978), dass die Annahme eines durchschnittlichen Ertragsausfalles von 15-20% gerechtfertigt sein dürfte, dass es aber Skigebiete gebe, wo dieser Durchschnitt auf 20-25% erhöht werden müsse. Nach einer Wachstumsperiode von 71-74 Tagen gaben VON WYL und TROXLER (1984) einen, für die Jahre 1980, '81 und '82 durchschnittlichen Minderertrag von 12.2% (=3.6 dt TS/ha) an. Die Pisten ohne Eisschicht hatten einen Ertragsausfall von 4-11%, die Pisten mit Eisschicht einen

von 4 bis 34% mit einem Durchschnitt von 15.1%. Auf verschiedenen Langlaufloipen in der Schweiz wurden Ertragsausfälle von 10-35% gemessen (DIERAUER 1984 und RIEDERER 1984). Die tieferen Werte von 10-20% wurden meistens auf Loipen gefunden, wo bei Saisonende eine Volldüngung aufgebracht worden war. Doch nicht überall wurden auf den Loipen Ertragseinbussen gemessen. Auf Weiden in höheren Lagen, z.B. am Mont Soleil, 1200 m im Jura, wo ein rauhes Klima herrscht, und im Sparrenmoos, 1700 m bei Zweisimmen (BE), wurden auf Grund der Unterschiede in der Wuchshöhe keine Beeinträchtigungen durch den Skibetrieb festgestellt. Untersuchungen über den Ertragsausfall auf Motorschlittentrasses ergaben sehr unterschiedliche Resultate. Bei einer Untersuchung wurden an den einen Orten Ertragseinbussen gemessen, an anderen nicht (RYERSON et al 1977). Beim Experiment auf einer schneefrei gehaltenen Fläche von GRISCH (1907) nahm der Ertrag ohne die schützende Wirkung der Schneedecke im Winter um 40% ab.

Auf einer einschürigen Wiese im Dischmatal, einem Seitental bei Davos, auf 1910 m Höhe gelegen, wurden von PETERER (1985) ähnliche Ertrags- und Nährstoffwerte erhoben wie auf der Clavadeler Alp. Die Vegetation im Dischmatal unterschied sich durch das reichliche Vorkommen von Ranunculus aconitifolius und Polygonum bistorta, was auf höhere Bodenfeuchtigkeit hinweist. Die Flächen auf der Clavadeler Alp ergaben lediglich einen höheren Rohproteingehalt und eine niedrigere Phosphor- und Magnesiummenge. Die übrigen durchschnittlichen Werte waren etwa gleich. PETERER (1985) stellte für die einschürigen Wiesen bei späterer Nutzung eine kontinuierliche Abnahme des Energie-, Rohprotein-, Phosphor- und Kaliumgehaltes und eine Zunahme des Rohfaser-, Calcium- und Magnesiumgehaltes des Futters fest. Das durch den Skibetrieb verzögerte Wachstum hat eine Nutzung jüngerer Pflanzen zur Folge. Im Pistenbereich war der Rohproteingehalt dementsprechend allerdings nur sehr gering höher als neben der Piste, und der Unterschied ist nicht gesichert. Die Werte für Energie, Phosphor und Kalium neben und auf der Piste zeigten keine Differenz auf. Der Rohfasergehalt neben der Piste war, wie für ältere Vegetationen allgemein, etwas höher, doch auch hier war der Unterschied eher bedeutungslos. Dagegen blieben die Werte für Magnesium und Calcium der "älteren" Vegetation neben der Piste sogar tiefer als diejenigen auf der Piste. Zwischen Skipisten mit einem verzögerten Vegetationswachstum und unbelasteten Flächen konnte im Grünfutternährwert kein Unterschied nachgewiesen werden, wie PETERER (1985) zu verschiedenen Schnittzeitpunkten feststellte.

Nach SCHNITZER (1983) verdichten die modernen, leistungsfähigen Pistenmaschinen, die heute oft über 10 Tonnen schwer sind, den Boden ab etwa 10 cm Tiefe sehr stark. Dadurch wird der Lebensraum der Pflanzenwurzeln verkleinert, was zu Ertragsausfälle führt. Der Boden der untersuchten Wiese war aber so skelettreich, dass eine Verdichtung durch das Pistenpräparieren nicht wahrscheinlich ist. Da eine allfällige Bodenverdichtung in skelettreichen Böden sehr schwierig zu messen ist, wurde sie nicht untersucht. In weniger skeletthaltigen Böden wäre eine Verdichtung des Bodens durch schwere Maschinen, einschliesslich Traktoren, vor allem in nassem oder gesättigtem Zustand gut vorstellbar. Wieweit dies für die Pistenmaschinen zutrifft, müsste genauer untersucht werden.

4.3. UNTERSCHIEDE IN DER AUSWIRKUNG DES SKIBETRIEBES ZWISCHEN MONTANEN UND SUBALPINEN WIESEN

Der Unterschied zwischen den montanen Wiesen (bis ca. 1500 m ü.M.) und den subalpinen ist klimabedingt. Mit der Höhe nehmen die Niederschlagsmenge und die Zeit der Schneebedeckung zu und die mittleren Temperaturen ab. Die montane Stufe ist charakterisiert durch relativ ausgeglichene Temperaturen und kaum auftretende Fröste während der Vegetationszeit. Die Wärmeeinstrahlung ist meistens nicht sehr gross. Das Klima der subalpinen Stufe zeigt grössere Temperaturschwankungen, grössere Einstrahlung und oft grössere Lufttrockenheit als das montane (LANDOLT 1984).
Verschiedene hochwertige und empfindliche Futterpflanzen z.B. Festuca pratensis und Dactylis glomerata, die in den tieferen Lagen mancherorts unter dem Einfluss des Skibetriebes abnehmen oder verschwinden (u.a. SCHNITZER 1977, VON WYL und TROXLER 1984) erreichen in der subalpinen Stufe die obere Grenze ihres Verbreitungsgebietes. Robustere Arten z.B. Festuca rubra und Anthoxanthum odoratum, die oft im Pistenbereich der niedrigen Höhenlagen eine Zunahme aufweisen, sind meistens auch in den unbelasteten subalpinen Wiesen stärker vertreten zufolge der rauheren Klimaverhältnisse.
In den untersuchten Flächen auf ca. 2040 m wurde ein häufigeres Vorkommen einiger Arten im Pistenbereich (Alchemilla sp., Trifolium repens und Taraxacum officinale) oder neben der Piste (Ligusticum mutellina,

Ranunculus montanus und Trifolium badium) festgestellt. Aber ob der Skibetrieb dies allein verursacht hatte, oder ob das Relief mitverantwortlich ist, konnte nicht nachgewiesen werden.

Die mittlere Höhe der Vegetation dient neben dem Blühen der Arten als Merkmal des Rückstandes in der Pflanzenentwicklung. Auf der Clavadeler Alp war kurz vor der Ernte die mittlere Höhe im Pistenbereich noch bis 30% geringer als neben der Piste. Ebenfalls erreichte die höchste Pflanze, in vielen Fällen Rumex arifolius, neben der Piste höhere Werte als im Pistenbereich. Aus verschiedenen Untersuchungen in Höhenlagen bis ca. 1500 m geht hervor, das gegen den Schnittzeitpunkt von der Verspätung nicht mehr viel festzustellen war (DIERAUER und REDIGER 1983, VON WYL und TROXLER 1984). Die Ergebnisse über das Verschwinden des Rückstandes in der Vegetationshöhe sind jedoch zu wenig zahlreich, um abgesicherte Angaben machen zu können. Als Ertragseinbussen wurden auf dem untersuchten Teil der Clavadeler Alp Werte von 12-23% gemessen. Demgegenüber sind zum Teil viel höhere grossflächige Ertragsausfälle von rund 40% und 50% bis 70% in tieferen Lagen festgestellt worden (SCHNITZER 1977, 1983). PFIFFNER (1978) jedoch gibt einen durchschnittlichen Ertragsausfall von 15-25% als gerechtfertigt an.

In der montanen Zone ist dazu ein Emdschnitt möglich. PFIFFNER (1978) beobachtete grössere Ausfälle beim Emd als beim ersten Schnitt. Der Verlust in zweischürigen Wiesen kann deshalb zusätzlich bedeutend grösser werden als auf den einschürigen subalpinen Wiesen.

Die Zahl der Daten ist ebenfalls zu gering für zuverlässige Aussagen, aber infolge der dickeren und länger liegenbleibenden Schneeschicht ist eine geringere Schädigung der subalpinen Wiesen im allgemeinen gut denkbar.

Die Untersuchung auf der ca. 2040 m hoch gelegenen einschürigen Fettwiese an einem Westhang betrifft nur einen kleinen Teil des ganzen Skigebietes. Je nach Pistenlage, Schneemenge und Beanspruchungen wird der Unterschied gegenüber den unbelasteten Wiesen grösser oder kleiner ausfallen.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Beeinträchtigungen der Wiesenvegetation durch den Skibetrieb hängen von einer Reihe von Faktoren ab. Lage der Piste, Höhe über Meer, Neigung, Exposition und Relief beeinflussen die Schneemenge und den Ausaperungsvorgang. Die Intensität der Präparierung, das Gewicht der Pistenmaschinen und die Frequenz der Skifahrer spielen eine grosse Rolle bei der Verdichtung der Schneeschicht. Dies sind verhältnissmässig feste Gegebenheiten. Dagegen ist die Witterung mit allen ihren Folgeerscheinungen sehr unterschiedlich und wechselhaft (vgl. PFIFFNER 1978, SCHNITZER 1983).

Die Vielfalt der lokalen Faktoren und die Unregelmässigkeit des Wetters machen es unmöglich, allgemein gültige Richtlinien für Entschädigungen aufzustellen (vgl. SCHNITZER 1983).

Der Rückstand in der phänologischen Entwicklung und die geringere Höhe der Pflanzendecke ermöglichen bis ungefähr einen Monat nach Beginn der Vegetationsperiode die Lokalisierung der Pistenfläche. Auf Grund dieser Beobachtungen kann das Ausmass der Ertragsausfälle nicht vorausgesagt werden, da die Wetterentwicklung und damit die allgemeinen Erträge ungewiss sind.

Auf Grund der erhobenen und der aus anderen Untersuchungen bekannten Ertragsausfälle ist eine Entschädigung der betroffenen Bauern angezeigt.

Die Bergbauern haben infolge der kurzen Vegetationszeit ohnehin einen geringeren Ertrag als die Bauern im Unterland. Dazu kommen Behinderungen und Umstellungen in der Bewirtschaftung, von Touristen verursachte Schäden an Gebäuden und die Beseitigung der Abfälle, soweit diese nicht durch das Personal der Bahnen besorgt wird (MOOR 1977, STUDACH 1976).

Eine genaue Bewertung der Ertragsausfälle müsste aus allen diesen Gründen nach jeder Skisaison für jedes einzelne Grundstück erfolgen, was unverhältnismässig viel Arbeit und Zeit erfordern und hohe Kosten verursachen würde. Darum empfiehlt sich die Ausrichtung von gebietsweise festzusetzenden grosszügigen Pauschalentschädigungen. Dies ist umso gerechtfertigter, als die betroffenen Bergbauern durch den Skibetrieb nicht nur geschädigt werden, sondern mit der Bewirtschaftung ihrer Wiesen und Weiden für das Pistenfahren erst die erforderlichen Bedingungen schaffen und aufrecht erhalten.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Auswirkungen des Abfahrtskibetriebes wurden an einer auf ca. 2040 m gelegenen subalpinen Fettwiese (Trisetion) auf der Clavadeler Alp bei Davos (GR) untersucht (vgl. Tab. 16).
Es wurden drei Transekte von 100-140 m Länge mit 10, 11 und 25 1 m^2-Flächen angelegt. Untersucht wurden die Einwirkungen der Verdichtung der Schneedecke, der Eisbildung und der verzögerten Ausaperung auf die phänologische Entwicklung und die Ertragsleistung der subalpinen Fettwiese.
Zwei Teile des untersuchten Pistenabschnittes aperten unerwartet früher aus als die übrige Wiese. Dies ist vermutlich einer schwachen Buckellage und einer demzufolge dünneren Schneedecke sowie einer intensiven Nutzung um eine Pistenmarkierung herum zuzuschreiben.
Im Frühling wurde auf der Piste, teilweise noch unter einer Schneedecke, immer (n=26) eine Eisschicht von 1-6 cm Dicke gemessen. Neben der Piste wurde lediglich bei einem Drittel der Messungen (n=31) eine Eisschicht festgestellt, die nur eine Dicke von 1-3 cm aufwies. Unter der Eisschicht auf der Piste war der Boden überall bis zu einer Tiefe von mindestens 5 cm gefroren. Neben der Piste war der Boden meist nicht gefroren oder höchstens bis 2 cm Tiefe.
Nach dem Schmelzen der Eisschicht brauchte der Boden ungefähr zwei Wochen, bis er ganz aufgetaut war. Die Lebewesen im gefrorenen Boden sind wenig oder nicht aktiv. Dementsprechend waren die Flächen im Pistenbereich noch ungefähr zwei Wochen nach der Ausaperung braun und ohne deutliches Pflanzenwachstum. Die früher ausgeaperten Flächen zeigten denselben Verlauf.
Eine Woche nach dem Auftauen des Bodens, also drei Wochen nach der Ausaperung, waren die Pflanzen auf den Pistenflächen etwa gleich weit entwickelt wie diejenigen, die auf Flächen neben der Piste gerade aus dem Schnee hervorgekommen waren. Die phänologische Entwicklung der vier Arten Crocus albiflorus, Taraxacum officinale s.l., Ligusticum mutellina und Silene dioeca wurde beschrieben. Es wurde im Mittel auf Pistenflächen ein Rückstand in der Entwicklung von zehn Tagen bis zwei Wochen gemessen. Bei den früh blühenden Arten Crocus albiflorus und Taraxacum officinale war diese Verspätung viel ausgeprägter, vermutlich infolge der in jener Zeit grösseren Unterschiede in den Bodentemperaturen auf und neben der Piste. Der Rückstand wurde bei den später blühenden Arten Ligusticum mutellina und Silene dioeca teilweise aufgeholt.
Neben der Entwicklung der Blüten wurde auch die mittlere Höhe der Pflanzendecke als Mass für die Verzögerung verwendet. Kurz vor der Heuernte betrug die mittlere Höhe auf der Piste in zwei der drei Transekte erst 70% derjenigen neben der Piste. Ein langsameres Wachstum auf den Pistenflächen während der ersten 30 Tage verstärkte den Rückstand der Vegetation, welchen der verzögerte Wachstumsanfang verursacht hatte.
Knapp die Hälfte der Arten kamen neben der Piste häufiger vor als auf der Piste und nur 20% häufiger auf der Piste als neben der Piste. In allen drei Transekten waren die Arten Ligusticum mutellina, Trifolium badium und Ranunculus montanus mit mindestens zehn Deckungsprozenten Unterschied häufiger auf den Flächen ausserhalb der Piste als auf denjenigen im Pistenbereich vertreten. Auf den Pistenflächen kamen Alchemilla sp. und Trifolium repens, ebenfalls mit mindestens zehn Deckungsprozenten Unterschied, häufiger vor. Geringe Differenzen in der topographischen Lage prägten die Artengarnitur stark mit, folglich war jeder Transekt teilweise durch eine eigene Artenkombination gekennzeichnet.

Tab. 16. Folgen des Abfahrtskibetriebes auf einer ca. 2040 m hoch gelegenen subalpinen Fettwiese bei Davos von Sommer 1982 bis Frühling 1984.

Zeitpunkt	subalpine Wiese	
	Skipiste	ungestörte Wiese
Winter - Frühling	Durch Pistenfahrzeuge und Skifahrer wird die Schneedecke zusammengedrückt.	Die Schneedecke bleibt mehr oder wenig locker.
Anfangs Juni	Der Boden ist teilweise bis 20 cm gefroren und grossenteils mit einer Eis- und Schneeschicht bedeckt ohne Pflanzenwachstum.	Der ungefrorene Boden ist schneebedeckt, oder durch Schneereste kommt Crocus hervor und blüht.
Mitte Juni	Crocus blüht. Die mittlere Höhe der Krautschicht beträgt 3.2 cm.	Crocus ist verblüht. Die mittlere Höhe der Krautschicht beträgt 5.7 cm.
Ende Juni	Die mittlere Länge der Blütenkopfstengel mit Knospen der Taraxacum-Individuen beträgt 4.2 cm. Die mittlere Höhe der Krautschicht ist 10.6 cm.	Die meisten Taraxacum-Planzen blühen. Die mittlere Länge der Blütenkopfstengel mit Knospen beträgt 29.9 cm. Die mittlere Höhe der Krautschicht ist 17.2 cm.
Mitte Juli	Die Taraxacum-Pflanzen blühen. Die mittlere Höhe der Krautschicht beträgt 20.3 cm	Die Taraxacum-Pflanzen sind verblüht. Die mittlere Höhe der Krautschicht ist 27.9 cm
Kurz vor der Heuernte	Der Deckungsgrad von Alchemilla sp. und Trifolium repens ist in allen drei Transekten auf der Piste mindestens 10% höher als neben der Piste. Die mittlere Höhe der Krautschicht beträgt 26.4 cm.	Der Deckungsgrad von Ligusticum mutellina, Trifolium badium und Ranunculus montanus ist in allen drei Transsekten neben der Piste mindestens 10% höher als auf der Piste. Die mittlere Höhe der Krautschicht beträgt 32 cm.
Heuernte Mitte bis Ende Juli	Der mittlere Ertrag an Trokkensubstanz ergibt 31 dt/ha.	Der mittlere Ertrag an Trokkensubstanz ergibt 38 dt/ha.

Die in tieferen Lagen (bis ca. 1500 m) auf Skipisten oft zurückgedrängten "empfindlichen" Futterpflanzen z.B. Festuca pratensis und Dactylis glomerata kommen in höheren Lagen gar nicht mehr vor.
Der Rückstand in der Vegetationsentwicklung wirkte sich in einem geringeren Ertrag aus. Der durchschnittliche Ertragsausfall auf den drei Transekten im Pistenbereich betrug im Jahr 1982 17.2%, im Jahr 1983 19.0% und im Mittel 17.8%. Diese Ertragseinbussen fielen weniger hoch aus als diejenigen in tieferen Lagen (bis ca. 1500 m). Dies ist die Folge der in der subalpinen Zone höheren und länger liegenbleibenden Schneedecke, die einen besseren Schutz gewährleistet und der Tatsache, dass in dieser Zone nur "robustere", an extremere Klimaverhältnisse angepasste Arten verbreitet sind.
Bei der Bestimmung des Futterwertes wurden zwischen der "älteren" Vegetation neben der Piste und der "jüngeren" auf der Piste wider Erwarten keine Unterschiede festgestellt.
Da die Erhebung der Schäden auf jeder einzelnen Landparzelle sehr arbeitsintensiv und kostspielig wäre, wird die Ausrichtung gebietsweise anzusetzender grosszügiger Pauschalentschädigungen empfohlen.

SUMMARY

On the Clavadeler Alp near Davos (GR) the effects of downhill skiing were investigated on a subalpine fertilized meadow (Trisetion) situated about 2040 m a.s.l. (see Table 16).
Three transects of 100-140 m length and 10, 11, and 25 1 m^2 plots were established. The influences of the compressed snow cover, of the ice formation, and the delayed thaw on the phenological development and the yield of the subalpine fertilized meadow were investigated.
Two segments of the investigated parts of the ski runs were unexpectedly sooner free of snow than the rest of the meadow. This is presumably the result of a thinner snow cover due to a slightly humped site and intensive skiing around a marking of the ski run.
In spring an ice layer of 1-6 cm thickness was always (n=26) measured on the ski runs, partly still under a snow cover. Only a third of the measurements outside the ski runs (n=31) showed layers of ice only 1-3 cm thick.
Underneath the layer of ice on the ski run the soil was frozen everywhere to at least 5 cm depth. Outside the ski run the soil was mostly not frozen or only to a depth of 2 cm at the most.
After the melting of the layer of ice it took about two weeks for the soil to thaw completely. The living organisms in the frozen soil are little or not at all active. Therefore the ski run areas are still brown without evident growth two weeks after the melting of the snow. The areas that were free of snow earlier showed the same state.
One week after the thawing of the soil, that is three weeks after the melting of snow and ice, the plants on the ski run area had grown about as far as the ones that broke straight through the last snow on areas outside the ski run. The phenological development of the four species Crocus albiflorus, Taraxacum officinale s.l., Ligusticum mutellina and Silene dioeca is described. The development was delayed from ten days to two weeks. In the early flowering species Crocus albiflorus and Taraxacum officinale this delay was far more noticeable, probably due to the greater difference in the temperature of the soil within and outside the

Table 16. Effects of downhill skiing on a subalpine fertilized meadow at c. 2040 m near Davos from summer 1982 until spring 1984.

Time	subalpine meadow	
	Ski run	undisturbed meadow
Winter - Spring	The snow cover is compressed by levelling machines and skiers.	The snow cover is more or less loose.
Beginning of June	The soil is frozen, in some places to a depth of 20 cm, and mainly covered with ice and snow. No plant growth.	The unfrozen soil is covered with snow, or Crocus emerges through remnants of snow and blooms.
Middle of June	Crocus blooms. The average height of the herb layer is 3.2 cm.	Crocus faded. The average height of the herb layer is 5.7 cm.
End of June	The average length of the stem with bud of Taraxacum individuals is 4.2 cm. The average height of the herb layer is 10.6 cm.	Most of the Taraxacum plants are in bloom. The average length of the stem with bud is 29.9 cm. The average height of the herb layer is 17.2 cm.
Middle of July	The Taraxacum plants are in bloom. The average height of the herb layer is 20.3 cm	The Taraxacum plants are faded. The average height of the herb layer is 27.9 cm
Shortly before the hay harvest	The plant cover of Alchemilla sp. and Trifolium repens on the ski run in all three transects is at least 10% greater than beside the ski run. The average height of the herb layer is 26.4 cm.	The plant cover of Ligusticum mutellina, Trifolium badium, and Ranunculus montanus beside the ski run in all three transects is at least 10% greater than on the ski run. The average height of the herb layer is 32 cm.
Hay harvest middle - end of July	The average yield of dry substance is 31 dt/ha.	The average yield of dry substance is 38 dt/ha.

ski run at this particular time. The delay was somewhat less in the later flowering species Ligusticum mutellina and Silene dioeca.
Apart from the development of the flowers the average height of the plant cover was also used as a measure for the delay. Shortly before the hay harvest the average height within the ski run came to only 70% of that outside the ski run at two transects out of the three. A slower growth on the ski run areas during the first 30 days increased the delay caused by the late beginning of growth.
Slightly more than half the species occurred more frequently outside the ski run than on the ski run, and only 20% more frequently on the ski run than outside the ski run. In all three transects the species Ligusticum mutellina, Trifolium badium, and Ranunculus montanus were found more frequently, with at least ten percent of cover difference, on the areas outside the ski run than on those within the ski run. Within the ski run areas Alchemilla sp. and Trifolium repens appeared more frequently, also with a difference of at least ten percent of cover.
Small differences in the topography of the site influenced the combination of species therefore each transect was partly characterized by an individual combination of species.
"Sensitive" forage plants such as Festuca pratensis and Dactylis glomerata repressed on lower altitude ski runs (up to about 1500 m) cannot be found at all at higher altitudes.
The consequence of the delay in the development of the vegetation was a smaller yield. The average loss of yield on the three transects in the ski run area came to 16.2% in the year 1982, to 18.8% in the year 1983, and to 17.2% average . These losses of yield were smaller than those at lower altitudes (up to about 1500 m). This is the result of a deeper snow cover that remains longer in the subalpine zone and guarantees better protection, as well as of the fact that only more robust species, adapted to extreme climatic conditions, are distributed.
Unexpectedly there were no differences in the nutritive value of the older vegetation outside the ski run and the younger one within the ski run.
As it would cause very much work and expense to establish the damage to each plot of land, the payment of generous, regional, lump-sum compensations is recommended.

LITERATUR

ADAMS W.P., 1981: Snow: plants and animals. In: GRAY D.M. und MALE D.H. (Hrsg.), Handbook of snow, principles, processes, management and use. Pergamon Press, Toronto/Oxford/New York/Sydney/Paris/Frankfurt. 776 S.

AULITZKY H., 1961: Die Bodentemperaturen in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im subalpinen Zirben-Lärchenwald. Oekologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung Teil I. Mitt.Forstl.Bundes Versuchsanst., Mariabrunn (Oesterr.) **59**, 153-208.

BARKMAN J.J., DOING H. und SEGAL S., 1964: Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. Acta Bot.Neerl. **13**, 394-419.

BAYFIELD N.G., 1971: Some effects of walking and skiing on vegetation at Cairngorm. In: DUFFEY E. und WATT A.S. (Hrsg.), The scientific management of animal and plant communities for conservation. 11th Sympos.Brit.Soc. Blackwell, Oxford/London/Edingburgh/Melbourne. 469-485.

BEZZI A. und CUMER A., 1977: Danni a cotici erbosi di montagna legati all' ecercizio dello sci - primo contributo di studio. Stud.Trent. sci.nat.Biolog. **54**, 211-219.

BILLING W.D. und BLISS L.C., 1959: An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development and productivity. Ecology **40(3)**, 388-397.

BRAUN J., 1908: Ueber die Entwicklung der Soldanellen unter der Schneedecke. Naturf.Ges.Graubünden **50**, 1-20.

BRAUN-BLANQUET J., 1964: Pflanzensoziologie. (3.Aufl.). Springer, Wien. 865 S.

BROCKMANN-JEROSCH H., 1925-1929: Die Vegetation der Schweiz. Beitr.Geobot.Landesaufn.Schweiz, Zürich **6**. 255 S.

CERNUSCA A., 1977: Oekologische Veränderungen im Bereich von Schipisten. In: SPRUNG R. und KOENIG B., (Hrsg.), Das oesterreichische Schirecht. Uni.Verlag Wagner, Innsbruck. 81-150.

CURL H.J., HARDY J.T. und ELLERMEIER R., 1972: Spectral absorption of solarradiation in alpine snowfields. Ecology **53**, 1189-1194.

DAUBENMIRE R.F., 1959: Plants and environment. (2.Aufl.). Wiley, New York. 422 S.

DIERAUER H.U., 1984: Einfluss von Langlaufloipen auf die botanisch Zusammensetzung und der Heuertrag ausgewählter Wiesen im Kanton Graubünden. Diplomarbeit. Inst.Pflanzenbau ETH, Zürich. 83 S. (Polykopie).

DIERAUER H.U. und REDIGER M., 1983: Der Einfluss von Langlaufloipen auf den Ertrag und die botanische Zusammensetzung von Naturwiesen. Semesterarbeit. Inst.Pflanzenbau ETH, Zürich. 53 S. (Polykopie).

ECKEL O., 1938: Ueber die Schneeverhältnisse von Davos. Naturf.Ges. Graubünden **75**, 109-156.

ELLENBERG H., 1978: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. (2.Aufl.). Ulmer, Stuttgart. 981 S.

Geotechnische Karte der Schweiz, 1963: Schw. Geotechnische Kommission (Hrsg.), Bern Nr. **2**.

GIGON A., 1971: Vergleich alpiner Rasen auf Silikat- und auf Karbonatboden. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **48**. 159 S.

GRABHERR G., 1978: Schädigungen der natürlichen Vegetation über der Waldgrenze durch die Anlage von Skipisten und deren Fähigkeit zur Regeneration. Wiss.Seminar "Begrünungsmassnahmen im Gebirge". ANL, Laufen/Salzbach (Deutschl.), 45-51.

GRABHERR G., 1983: Tourismus induzierte Störungen, Belastbarkeit und Regenerationsfähigkeit der Vegetation in der alpinen Rasenstufe. Habilitationsschrift, Univ. Innsbruck. 20 S.

GRABHERR G., 1985: Damage to vegetation by recreation in the Austrian and German Alps. In: BAYFIELD N. und BARROW G.C. (Hrsg.), The ecological impacts of outdoor recreation on mountain areas in Europe and North America. Recreation Ecol. Research Group Report, Wye College, Asford (England) **9**, 74-91.

GRISCH A., 1907: Beiträge zur Kenntnis der Pflanzengeographischen Verhältnisse der Bergünerstöcke. Beil.Bot.Zentralbl. **22(2)** 255-316.

GUENTER T., 1985: Landnutzungsänderungen in einem alpinen Tourismusort. Schlussber.Schweiz.MaB-Programm, Bern **13**. 169 S.

HAVRANEK W., 1972: Ueber die Bedeutung der Bodentemperatur für die Photosynthese und Transpiration junger Forstpflanzen und für die Stoffproduktion an der Waldgrenze. Angew.Bot. **46**, 101-116.

HESS E.H., LANDOLT E. und HIRZEL R., 1976-1980: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. (2.Aufl.). Birkhäuser, Basel. 3 Bde. 2690 S.

HOFER H., 1979: Der Einfluss des Massenskilaufs auf alpine Sauerbodenrasen, am Beispiel Gurgler Heide (Oetztal) und Beobachtungen zur Phänologie des Curvuletums. Dissertation Univ. Innsbruck. 175 S.

HUNDT R., 1985: Untersuchungen zur Höhendifferenzierung der Polygono-Trisetion-Gesellschaften im Gebiet Davos. Ber.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **52**, 74-116.

KARL H., 1974: Rekultivierung von Schipisten und Pflegemassnahmen im Sommer. Natur und Landschaft **49(3)**, 63-67.

KIMBALL S.L., BENNETT B.D. und SALISBURY F.B., 1973: The growth and development of species at near-freezing temperatures. Ecology **54**, 168-173.

KLOETZLI F. und SCHIECHTL H.M., 1979: Skipisten - tote Schneisen durch die Alpen. Kosmos **12**, 954-962.

KNAPP R., 1958: Untersuchungen über die Entwicklung der Pflanzen nach dem Abschmelzen des Schnees in den Alpen. Ber.Bayer.Bot.Ges. **32**, 44-47.

KOERNER Ch., 1980: Zur anthropogenen Belastbarkeit der alpinen Vegetation. Verh.Ges.Oekol. **8**, 451-461.

KRAUSE M., 1986: Die Böden von Davos, Ertragspotential, Belastbarkeit und Gefährdung durch Nutzungsänderungen. Schlussber.Schweiz.MaB-Programm, Bern **18**. 148 S.

LANDOLT E., 1977: Oekologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **64**. 208 S.

LANDOLT E., 1984: Unsere Alpenflora. (5.Aufl.). Schweizer Alpen-Club. 318 S.

LANDOLT E., KRUESI B.O. und ZUMBUEHL G. (Hrsg), 1986: Vegetationskartierung und Untersuchungen zum landwirtschaftlichen Ertrag im MaB6-Gebiet Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **88a**. 152 S. + Kartenband **88b**, 1:25000, Vegetationskarte, Karte des landwirtschaftlichen Ertrages, Naturschutzkarte.

LARCHER W., 1957: Frosttrocknis an der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide auf dem Patscherkofel bei Innsbruck. Veröff.Ferdinandeum, Innsbruck **37**, 49-81.

LEVI F. und CHORUS U., 1932: Wintertemperaturen in und unter der Schneedecke, aus dem Physikalisch-Meteorolgischen Observatorium Davos. Verh.Schweiz.Naturf.Ges.Thun. 319 S.

MALE D.H. und GRAY D.M., 1981: Snowcover ablation and runnoff. In: GRAY D.M. und MALE D.H. (Hrsg.), Handbook of snow, principles, processes, management und use. Pergamon Press, Toronto/Oxford/New York/Sydney/Paris/Frankfurt. 776 S.

MEISTERHANS E., 1988: Vegetationsentwicklung auf Skipistenplanierungen in der alpinen Stufe bei Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **97** (im Druck).

MEISTERHANS-KRONENBERG H. und KRUESI B.O., 1986: Auswirkungen des Skibetriebes auf subalpine Fettwiesen (Polygono-Trisetion) im Raum Davos (Schweiz). In: LANDOLT E., KRUESI B.O. und ZUMBUEHL G. (Hrsg), Vegetationskartierung und Untersuchungen zum landwirtschaftlichen Ertrag im MaB6-Gebiet Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **88a**, 131-152; + Kartenband **88b**.

MICHAELIS G. und MICHAELIS P., 1934: Oekologische Studien an der alpinen Baumgrenze IV: Zur Kenntnis des winterlichen Wasserhaushaltes. Jahrb. wiss.Bot. **80**, 169-247.

MOOR H., 1977: Landschaftsschäden im Zusammenhang mit dem Skisport. Geograph.Helv. **32(1)**, 11-14.

MOSER W., 1973: Licht, Temperatur und Photosynthese an der Station "Hoher Nebelkogel" (3184 m ü.M.). In: ELLENBERG H. (Hrsg.), Oekosystemforschung. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. 203-223.

MOSIMANN Th., 1981: Geoökologische Standortsindikatoren für die Erosionsanfälligkeit alpiner Hänge nach Geländeeingriffen für Pistenanlagen. Geomethodica, Basel **6**, 143-174.

MOSIMANN Th., 1983: Landschaftsökologischer Einfluss von Anlagen für den Massenskisport II: Bodenzustand und Bodenstörungen auf Skipisten in verschiedenen Lagen am Beispiel des Crap Sogn Gion, Laax (GR). Materialien zur Physiogeographie, Basel **3**. 72 S.

MOSIMANN Th., 1984: Das Stabilitätspotential alpiner Oekosysteme gegenüber Bodenstörungen durch Skipistenbau. Verh.Ges.Oekol.,Bern **12**, 167-176.

MOSIMANN Th., 1985: Landschaftsökologischer Einfluss von Anlagen für den Massenskisport III: Oekologische Entwicklung von Pistenflächen, Entwicklungstendenzen im Erosionsgeschehen und beim Wiederbewuchs planierter Pisten im Skigebiet Crap Sogn Gion, Laax (GR). Materialien zur Physiogeographie, Basel **9**. 40 S.

MOSIMANN Th. und LUDER P., 1980: Landschaftsökologischer Einfluss von Anlagen für den Massenskisport I: Gesamtaufnahme des Pistenzustandes (Relief, Boden, Vegetation, rezente Morphodynamik) im Skigebiet Crap Sogn Gion Laax (GR). Materialien zur Physiogeographie, Basel **1**, 57 S.

MUELLER-DOMBOIS D. und ELLENBERG H., 1974: Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons York/London/Sydney/Toronto. 547 S.

PETERER R., 1985: Ertragskundliche Untersuchungen von gedüngten Mähwiesen der subalpinen Stufe bei Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **84**. 100 S.

PETERER R., 1986: Ertragsleistung und Ertragspotential der Grünlandgesellschaften im Raum Davos (Schweiz). In: LANDOLT E., KRUESI B.O. und ZUMBUEHL G. (Hrsg.), Vegetationskartierung und Untersuchungen zum landwirtschaftlichen Ertrag im MaB6-Gebiet Davos. Veröff.Geobot.Inst. ETH,Stiftung Rübel,Zürich **88a**, 114-130; + Kartenband **88b**.

PFIFFNER A., 1978: Skipistenschäden und deren Entschädigung. Europäische Hochschulschriften, Sport und Kultur, Bern **35(1)**. 170 S.

QUILLET R., 1984: Der Einfluss des Skibetriebes auf die Vegetation in der alpinen Stufe. Verh.Ges.Oekol., Bern **12**, 177-183.

REDIGER M., 1984: Einfluss von Langlaufloipen auf die botanische Zusammensetzung und den Heuertrag ausgewählter Wiesen im Berner-Oberland. Diplomarbeit. Inst.Pflanzenbau ETH, Zürich. 117 S. (Polykopie).

RICHARDSON S.G. und SALISBURY F.B., 1977: Plant responses to the light penetrating snow. Ecology **58**, 1152-1158.

ROHWEDER K., 1984: Der Einfluss von Langlaufloipen auf den Ertrag und

die botanische Zusammensetzung von Naturwiesen. Semesterarbeit. Inst. Pflanzenbau ETH, Zürich. 104 S. (Polykopie).

ROMPEL J., 1928: Beobachtungen über die bis zum Aufblühen alpiner Arten verstreichende Aperzeit. Oesterr.Bot.Z. **77**, 178-194.

RUEBEL E., 1912: Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. Bot.Jahrb. **47(1-4)**, 625 S.

RUEBEL E., 1925: Alpenmatten - Ueberwinterungsstadien. Veröff.Geobot. Inst.Rübel,Zürich **3**, 37-53.

RUSSELL R.S. und WELLINGTON P.S. 1940: Physiological and ecological studies on an artic vegetation. I. The vegetation of Jan Mayen Island. J.Ecology **28**, 153-179.

RYERSON D.K., SCHLOUGH D.A.,FORESMAN C.L., TENPAS G.H., PENDLETON J.W., 1977: Effect of snowmobile traffic on several forage species and winter wheat. Agron.J. **69**, 769-772.

SALISBURY F.B., 1985: Plant growth under snow. Aquilo, ser.Bot. **23**, 1-7.

SCHAUER Th., 1981: Vegatationsveränderungen und Florenverlust auf Skipisten in den bayerischen Alpen. Jahrb.Ver.Schutz Bergwelt, München **46**, 149-179.

SCHLEUNIGER K., 1969: Mechanische Pflege der Schiabfahrten. Mittbl. Oesterr. Inst. Schul- und Sportstättenbau **4**, 36-44.

SCHNEEBERGER H. und LANDIS J. (Hrsg.), 1984: Fütterungsnormen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. (2. Aufl.). Landwirtschaftl. Lehrmittelzentrale, Zollikofen. 148 S.

SCHNITZER R., 1977: Belastungen und Flurschäden durch den Schisport. Der Alm und Bergbauer, Innsbruck **27**, 62-70.

SCHNITZER R., 1983: Bestimmungsgrunde für die Entschädigung bei der Inanspruchnahme von Grund und Boden durch den Wintersport im Heimgutsbereich. Der Alm und Bergbauer, Innsbruck **33**, 140-146.

SCHNITZER R. und KOECK L., 1980: Untersuchungen über pflanzenbauliche Schäden auf Schipisten. Der Alm und Bergbauer, Innsbruck **30**, 82-88.

STUDACH J., 1976: Planerische Massnahmen zur Konfliktbehebung zwischen Skipisten und anderen Nutzungen. Herbsttagung "Die Entschädigung von Skipisten-Boden", Bündn.Ver.Raumplanung, Chur, 29-36.

TISCHENDORF W., 1975: Schneeverhältnisse auf einer Schipiste und im angrenzenden Wald. Intern.Symposium "Interpraevent, Schutz alpiner Lebensräume", 311-316.

THELIN G., 1983: Touristische Transportanlagen der Schweiz, Grundlagen für die Raumplanung. Bundesamt f.Verkehr/Raumplanung, Bern. 66S.

TRANQUILLINI W., 1957: Standortsklima, Wasserbilanz und CO_2-Gaswechsel junger Zirben (Pinus cembra L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta **49**, 612-661.

URFER Ch., GENSLER G., AMBROSETTI F. und ZENONE E., 1979: Regionale Klimabeschreibungen. 2. Teil: Alpennordhang, Graubünden und Alpensüdseite. Beih.Annal.Schw.Meteor.Anst. 247-437.

VAN DER MAAREL E., 1979: Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. Vegetatio **39 (2)**, 97-114.

VOELKE N., 1977: Die Erkennbarkeit von Vegetationsschäden im Luftbild, dargestellt am Beispiel von Skipisten. Diplomarbeit. Geogr.Inst.Uni. Zürich. 87 S. (Polykopie).

VON WYL A., 1980: Effets des pistes de ski sur la végétation et la production fourragère. Bull.MaB-Pays d'Enhaut **3**, 31-39.

VON WYL A. und TROXLER J., 1984: Effets des pistes de ski sur l'exploitation agricole, en particulier sur la végétation. Bull.MaB-Pays d'Enhaut **23**, 74 S.

WAKAHAMA G., 1974: The role of meltwasser in densification processes of

snow and firn. Intern.Assoc.Hydrol.Sci. **114**, 66-72.
WALTER H. und LIETH H., 1960-1967: Klimadiagramm Weltatlas. Fischer, Jena.
WELTER M., 1986: Des einen Freud, des andern Leid. Landfreund **3**, 139-140.
WENNER H., 1973: Eine Karte der Vegetationszeit im Kanton Bern. Geograph.Helv. **28**, 151-158.
WILDI O. und ORLOCI L., 1983: Management and multivariate analyses of vegetation data. (2. Aufl.) Ber.Eidg.Anst.Forstl.Versuchswes.,Birmensdorf **215**. 139 S.
WILDI O. und EWALD K. (Hrsg.), 1987: Der Naturraum und dessen Nutzung im alpinen Tourismusgebiet von Davos. Ergebnisse des MaB-Projektes Davos. Ber.Eidg. Anst.Forstl.Versuchswes., Birmensdorf (im Druck).
WOEIKOF A., 1889: Der Einfluss einer Schneedecke auf Boden, Klima und Wetter. Geograph.Abhandl., Wien **3(3)**, 321-435.
ZUMBUEHL G., 1983: Pflanzensoziologisch-ökologische Untersuchungen von gemähten Magerrasen bei Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **81**. 101 S.
ZUMBUEHL G., 1986: Vegetationskartierung des MaB6-Testgebietes Davos. In: LANDOLT E., KRUESI B.O. und ZUMBUEHL G. (Hrsg.), Vegetationskartierung und Untersuchungen zum landwirtschaftlichen Ertrag im MaB6-Gebiet Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich **88a**, 13-113; + Kartenband **88b**.

Adresse der Autorin: Hanna Meisterhans-Kronenberg
Geobotanisches Institut ETH
Stiftung Rübel
Zürichbergstr. 38
CH-8044 Zürich