

Zur anthropogenen Belastbarkeit der alpinen Vegetation

Christian Körner

As part of the Austrian MAB Alpine Programme trampoling, skiing, and grazing effects on the alpine vegetation were analysed. A dwarf shrub community and a sedge vegetation in the central Alps (2175, 2300 m s.l.) as well as a sub-alpine grassland in the central Caucasus (2050 m s.l.) were investigated. For the causal analysis microclimate, soil properties, evapotranspiration, and plant characteristics like leaf diffusive conductance and water potential were studied. The following results were obtained: 600 walks along the same path - but frequently even single steps or singular effects of ski edges under poor snow conditions - ruin the shrub canopy, whereas in the sedge vegetation even 3000 walks cause only moderate damage. The higher susceptibility of dwarf shrubs has morphological and physiological reasons. The natural restoration of the vegetation at bare walking tracks takes more than half a century in both vegetation types. However, on slopes steeper than 20 % erosion of the entire soil profile may take only few years. Therefore such slopes as well as wind exposed elevations and wet zones need special protection from the human impact. A moderate and controlled grazing intensity by sheep causes an increased intensity of transfer processes in the canopy and does not seem to cause ecological disadvantages.

Trampoling, skiing, grazing, regeneration, canopy structure, stomatal behaviour, alpine heath, alpine meadow, Patscherkofel, Hohe Tauern, Caucasus.

1. Einführung

Mehr noch als in Tallagen ist das Vorhandensein einer geschlossenen Vegetationsdecke im Gebirge notwendig, um Erosion zu verhindern. Nur 10-20 % des Jahresniederschlages werden oberhalb der alpinen Waldgrenze für Verdunstungsvorgänge verbraucht (KÖRNER et al. 1978 und 1980). Die restlichen 80-90 % fließen ab und können, sofern der Abfluß oberflächlich stattfindet, Sediment abtragen - insbesondere im steilen Gelände.

Bei simuliertem Katastrophenregen von einer Intensität von $90 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ beträgt zum Beispiel der Sedimentgehalt des Abflusses aus einem intakten Krummseggenrasen nach einstündiger Beregnungsdauer nur $26 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, wogegen an Hängen mit gestörter Vegetation Abtragmengen von $0.2\text{-}2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ festgestellt werden konnten (Zitat bei BUNZA 1978).

In der Niederung reicht hingegen die Jahressumme der Verdunstung häufig an die Jahressumme des Niederschlages heran (im Alpenvorland 60-80 %, vgl. KERN 1975), ja sie kann bei hohem Grundwasserstand örtlich sogar den Niederschlag übersteigen.

Durch eine Reihe anthropogener Einflüsse im Zuge landwirtschaftlicher, touristischer oder energiewirtschaftlicher Nutzung kommt es laufend zu Schäden an der alpinen Vegetationsdecke, ohne daß wir in den meisten Fällen in der Lage wären, etwa Grenzwerte für bestimmte Arten der Belastung anzugeben noch die Chancen einer Wiederherstellung der Vegetation zu beurteilen. Häufig kennen wir nicht einmal die Ursache der Schäden. Es ist daher ein zentrales Anliegen des österreichischen "Mensch und Biosphäre-Hochgebirgsprogrammes" (MAB 6), solche Informationen bereitzustellen. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist aber die genaue Kenntnis von Struktur und Funktion ungestörter Pflanzenbestände. Diese Voraussetzung ist dank jahrelanger ökologischer Untersuchungen für Teile der alpinen Zwergstrauchheide (IBP-Projekt Patscherkofel, LARCHER 1977) und der alpinen Grasheide (MAB-Hochgebirgsprojekt Hohe Tauern, CERNUSCA 1977a) gegeben.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher, neben einigen Daten über sub-alpines Weideland im Zentralkaukasus, nur auf diese beiden Vegetationseinheiten der Alpen. Von den vielen Formen der Belastung behandelt dieser Beitrag die Wirkungen und Folgen mechanischer Einflüsse, nämlich

- I. das Problem von Trittschäden, Trampelpfaden und Schi-Kantenschliff und
- II. die Frage der Auswirkung intensiver Beweidung.

Zu beiden Problemkreisen gibt es eine große Zahl von Untersuchungen aus außer-alpinen Gebieten, von denen hier wegen der etwas ähnlich gelagerten Situation etwa jene von BILLINGS (1973), BABB und BLISS (1974), HAAG und BLISS (1974), WEBBER und IVES (1978) aus der arktischen Tundra, die Untersuchungen von WEAVER und DALE (1978) in den Rocky Mountains oder Beweidungsstudien wie etwa jene von VICKERY (1972) und MIKA (1977), erwähnt seien. Umfangreiche Literaturübersichten finden sich z. B. bei BÖTTCHER (1976), WEBBER und IVES (1978) und BROWN et al. (1978). Aus den Alpen liegen - soweit uns bekannt - nur einzelne,

im wesentlichen vegetationskundliche Arbeiten wie etwa jene von LIPPERT (1972), SPATZ (1978), GRABHERR (1979) und HOFER (1979) vor. Ansätze zu einer Quantifizierung des Regenerationsprozesses an Schadstellen finden sich bei GRABHERR et al. (1978). Eine Übersicht zur Problematik von Schiabfahrten aus ökologischer Sicht gibt CERNUSCA (1977c).

2. Versuchsflächen und Vegetation

Untersucht wurden in der alpinen Zwergstrauchheide Gmsheidespaliiere (dominiert von *Loiseleuria procumbens*) und in der alpinen Grasheide Krummseggenrasen (dominiert von *Carex curvula*). Die untersuchten *Loiseleuria*-Bestände befinden sich am Patscherkofel bei Innsbruck (2175 m ü.d.M. IBP-Station '*Loiseleurietum*'). Der untersuchte Krummseggenrasen befindet sich in den Hohen Tauern in 2300 m Meereshöhe an der Glocknerstraße (MAB-Station '*Curvuletum*').

Die Böden der beiden Untersuchungsflächen unterscheiden sich deutlich. Im *Loiseleurietum* liegt ein Eisenhumuspodsol mit einer für die Zwergstrauchheide typischen Rohhumusaufgabe vor, in die Sprosse von *Loiseleuria* eingebettet sind. Im *Curvuletum* handelt es sich um einen alpinen Pseudogley ohne Ausbildung einer derartigen Rohhumusaufgabe. Beide Standorte sind natürlicherweise stark windexponiert. Die schneefreie Zeit dauert mit kurzen Unterbrechungen im *Loiseleurietum* von Anfang Mai bis Mitte Oktober (ca. 5 Monate) und im *Curvuletum* von Mitte Juni bis Mitte Oktober (ca. 4 Monate). Nähere Angaben zu beiden Versuchsflächen finden sich bei LARCHER et al. (1973) und in CERNUSCA (1977a).

Abschließend werden kurz Untersuchungen an stark mit Schafen beweidetem Grasland im Zentralkaukasus beschrieben. Extreme Formen der Beweidung sind in den Alpen - mit Ausnahme der unmittelbaren Umgebung von Almgebäuden - heute eher selten. Im Kaukasus finden wir hingegen riesige Gebiete mit ähnlicher Vegetation wie in den Alpen unter starkem Beweidungsdruck. Nahe der Hochgebirgsstation Kasbegi des Botanischen Instituts der Georgischen Akademie der Wissenschaften bot sich die Gelegenheit, subalpines Weideland und Hochmäher in unmittelbarer Nachbarschaft 2050 m ü.d.M. zu untersuchen. In den Mähwiesen dominieren u. a. *Bromus variegatus*, *Alchemilla retinervis*, *Plantago caucasica*, auf den Weideflächen vor allem die beiden letzteren. Detaillierte Publikationen sind gemeinsam mit A. CERNUSCA und G. NACHUZRISCHWILI in Vorbereitung.

3. Methodik

Ein Teil der hier vorliegenden Ergebnisse stützt sich auf wiederholte Befunde diverser Schadensbilder (1974 - 1979) und das Festhalten qualitativer Veränderungen in der Vegetation. Zur Quantifizierung von Trittschäden wurden Schadensbilder von markierten, etwa 50 m langen und regelmäßig von Erwachsenen mit Bergschuhen begangenen Pfaden im Bereich der Forschungsstationen *Loiseleurietum* und *Curvuletum* herangezogen. Über die Häufigkeit der Begehung im Zuge meteorologischer, hydrologischer und ökophysiologischer Messungen wurde laufend ein Protokoll geführt, das für diese Studie ausgewertet wurde. Derartige Untersuchungen lassen sich in vielen Bereichen nicht streng quantitativ durchführen. Die aufgeworfenen Probleme deshalb überhaupt nicht zu bearbeiten, wäre aber im Hinblick auf ihre große Bedeutung für Naturschutz und Raumplanung falsch.

Zur Beschreibung nicht sichtbarer Veränderungen bzw. zur Kausalanalyse der Schäden wurden folgende Meßgrößen herangezogen: Bodenwassergehalt (70 mm Stechzylinder), Infiltrationsrate (Döppelring-Infiltrometer, BRECHTEL 1970), Bodenatmung (Daten von P. DECKER, Infrarot-Gasanalysator, Methodik bei CERNUSCA, DECKER 1977), Blattdiffusionswiderstand (Wasserdampfdiffusionsporometer, KÖRNER 1977), Blattwasserpotential (Scholander-Druckapparat), Evapotranspiration (wiegende Kleinlysimeter, KÖRNER et al. 1978), Windklima im Bestand in Abhängigkeit von der Bestandeshöhe (Winkanalexperimente im Labor) sowie Angaben zum Mikroklima.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Trampelpfade, Trittschäden, Schi-Kantenschliff

4.11 Gmsheidespaliiere in der Zwergstrauchheide auf dem Patscherkofel

4.111 Schäden. Nach 600 einzelnen Begehungen, verteilt auf die Sommer 1973 und 1974, sind *Loiseleuria*-Bestände einschließlich der Rohhumusaufgabe völlig zerstört. Der untersuchte Trampelpfad ist gut 2 Schuh breit. Bei einer Sohlenlänge von 28 cm und statistischer Verteilung der Auftritte ergibt sich eine durchschnittliche Belastung des Bestandes von etwa 80 Tritten. (Zum Vergleich: Die Förderleistung moderner Aufstieghilfen erreicht heute 1000 - 3000 Personen pro Stunde.)

Je nach Steigung des Trampelpfades entstehen Erosionsrinnen, über die auch ursprünglich nicht beschädigte Pflanzenbestände unterhalb des Pfades, insbesondere an Kehren stark in Mitleidenschaft gezogen werden. Im steileren Gelände kommt es binnen 2 Jahren nach erfolgter Störung (1976) zum Abtrag des gesamten Bodenprofils bis auf den anstehenden Moränenschutt (Hangneigung 33 %, Wegsteigung 15 - 20 %, in Kehren 33 %). Keine derartige Bodenerosion ist 1979, 5 Jahre nach Entstehung des seither fast nicht mehr benutzten Pfades festzustellen, wo die Hangneigung weniger als 15 % beträgt. Der schräg zum Hang laufende Pfad hat in diesem Teil eine Steigung von 5 - 10 %. Unter der Trittbelastung bilden sich hier aus dem humus- und rhizomreichen Oberboden zunächst schwingende Auflagen, aus denen der mineralische Anteil beim Begehen nach unten wegrieselst. Die organische Auflage löst sich bei weiterer Belastung in einen mehrere Zentimeter tiefen, lockeren Mull auf, der zum Teil vom Wind verblasen wird.

Tab. 1: Die Änderung einiger bodenphysikalischer Größen nach Trittbelastung. Ein Vergleich von natürlichen Beständen und Trampelpfaden nach 600 (*Loiseleurietum*) bzw. 3000 (*Curvuletum*) Begehungen.

Bodenphysikalische Größen für 1-6cm Tiefe	Loiseleurietum 2175m			Curvuletum 2300m		
	Nat.Best.	Trampelpf.	Änderg[%]	Nat.Best.	Trampelpf.	Änderg[%]
Spezif. Gewicht [g·cm ⁻³]	2,10±0,04	2,02±0,08	n.sign.	2,22±0,14	2,37±0,19	n.sign.
Gesamtporenvolumen [%]	72,3±1,7	74,9±4,1	n.sign.	66,2±5,4	60,0±6,3	n.sign.
Grobporen [%]	29,3±7,5	12,5±4,1	-57,3	3,5±0,5	0,9±0,7	(-74,3)
Feinporen [%]	43,0±5,7	62,4±0,1	+45,1	62,7±5,4	59,1±5,7	n.sign.
Wassergehalt 8/1391977[Vol.-%]	26,1±4,7	41,1±1,4	+57,5	41,6±4,6	49,2±3,8	+18,2
Infiltrationsrate [mm·h ⁻¹]	30-150	-	-	13-16	2,5	-83

Dort, wo an flachen Stellen des Trampelpfades der Oberboden noch erhalten blieb, ist - verglichen mit ungestörten *Loiseleuria*-Beständen - keine signifikante Verdichtung des Bodens zu beobachten. Das Gesamtporenvolumen in den obersten 5 cm des Bodenprofils (ohne Rohhumusauflage) beträgt am Trampelpfad 74.9 % und im Bestand 72.3 % (H. GUGGENBERGER pers. Mitt.; vgl. Tab. 1). Allerdings vermindert sich unter Trittbelastung der Grobporenanteil zugunsten des Feinporenanteiles von 29.3 auf 12.5 %. Der Feinporenanteil steigt von 43.0 auf 62.4 %. Die Folge davon ist ein erhöhter Bodenwassergehalt unter dem Trampelpfad (41 gegenüber 26 Vol-%). Erhöhter Bodenwassergehalt unter Trampelpfaden wurde auch von anderen Autoren beobachtet (z.B. LIDDLE und GREIG-SMITH 1975) und kann zusammen mit fehlendem mechanischem Schutz des Bodens durch eine Vegetationsdecke bei heftigen Regenfällen zu verstärktem Oberflächenabfluß und Bodenabtrag führen.

Bemerkenswert ist, daß in allen Fällen einer Schädigung von Bestandesteilen der Gernsheid sekundär eine autonome Ausweitung des primären Schadensbereiches auftritt, die häufig sogar progressiven Charakter annimmt (vgl. Abb. 1).

Eine Untergrenze für die Tritt-Belastbarkeit von Gernsheidbeständen kann deshalb nicht angegeben werden. Es konnte wiederholt beobachtet werden, daß selbst einzelne Tritte, insbesondere von Kühen, Bestandesbezirke zum Absterben bringen, wobei durch das nachfolgende Ausuferen des Schadens Kahlfächen entstehen, die ein Vielfaches der ursprünglichen Trittwunde ausmachen. Neben der touristischen Belastung ist die regelmäßige Beweidung des Zwergstrauchgürtels auf dem Patscherkofel durch Jungvieh somit sicher eine der Ursachen für die teilweise bis zur Waldgrenze hinabreichende Fragmentierung der Bestände.

Für Schäden durch das Abrasieren oberirdischer Bestandesteile durch Schifahrer ist die Zwergstrauchheide und im besonderen die auf windexponierten Erhebungen dominierende Gernsheid sehr empfindlich. Ein von mir länger beobachteter Bestand wurde im Spätwinter 1976 in 3 - 5 cm breiten, parallelen Streifen durch Schikanen abrasiert (Seitabrutschen). Diese Streifen sind 1979 noch voll erhalten, stellenweise ist ein weiterschreitendes Absterben zu beobachten.

4.112 Schadensursachen. Welches sind nun die möglichen Ursachen dieser Schäden? Zunächst ist klar, daß eine ausdauernde Holzpflanze mit oberirdischen Überwinterungsknospen von mechanischen Störungen wesentlich stärker betroffen wird als etwa Gräser, Seggen oder Rosettenpflanzen mit bodennahen oder unterirdischen Vegetationspunkten. Das leichte Abknicken flach liegender Achsen oder Rhizome unter der Last eines Trittes ist ein weiteres Gefahrenmoment. Nicht erklärt werden können dadurch aber die allseits um eine Schadstelle, also auch hangaufwärts von der primären Verletzung, auftretenden Sekundärschäden. Dafür bieten Resultate ökophysiologischer und mikrometeorologischer Untersuchungen Anhaltspunk-

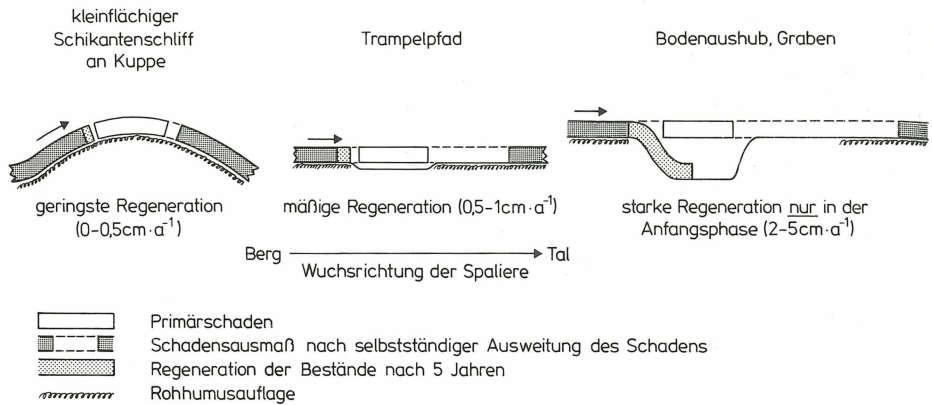


Abb. 1: Mechanische Zerstörung und Regeneration von Gmsheidebeständen (*Loiseleuria procumbens*) in der alpinen Zwergstrauchheide. Schematisierte Querschnitte durch Schadstellen. Bestandeshöhe 3 cm. Die autonome Ausweitung des Schadens, ausgehend von der primären Schadstelle (strichlierte Linie) ist umso ausgeprägter, je stärker die Beschädigung des Oberbodens ist. Die angegebenen Regenerationsraten entsprechen der Geschwindigkeit, mit der *Loiseleuria*-Spalierie in geschlossener Front wieder in die Schadstelle einwachsen. Hangneigung 20%.

te: Es zeigte sich, daß die Stomata der Gmsheide sensibel auf trockene Luft reagieren, hingegen auf stark erniedrigtes Wasserpotential im Sproß in einem weiten Bereich (bis -17 bar, KÖRNER 1976) recht unempfindlich sind. Es ergibt sich also die paradoxe Situation, daß die als besonders windharte Art beschriebene *Loiseleuria* diesem Ruf wohl als geschlossener, intakter Bestand mit feuchtem Bestandesklima (CERNUSCA 1976) gerecht wird, diese Charakterisierung aber keineswegs auf isolierte Triebe am Rand von Schadstellen zutrifft, die Wind und trockener Luft ausgesetzt sind. Auf eine Zerstörung des warm-humiden Kleinklimas im Bestand folgt in kurzer Zeit eine drastische Spaltenverengung und damit eine Behinderung der Gasdiffusionsprozesse (Abb. 2; vgl. auch KÖRNER 1977, sowie KÖRNER und MAYR 1980). Hinzu kommt, daß an dunklen Kahlstellen extreme mikroklimatische Bedingungen entstehen können, die nicht nur diese physiologische Reaktion randlicher Triebe der *Loiseleuria*-Spalierie auslösen können, sondern nach Ausfall der "Transpirationsskühlung" (Spaltenschluß) auch Hitzeschäden verursachen können. An derartigen Blößen konnte CERNUSCA (pers. Mitt.) Oberflächentemperaturen um 60°C feststellen. Bei 52°C sterben *Loiseleuria*-Blätter nach LARCHER und WAGNER (1976) ab. Das Aufkommen von Keimpflanzen dürfte durch diese Überhitzung ebenfalls stark behindert sein.

4.113 R e g e n e r a t i o n. Fünf Jahre nach Beendigung der intensiven Trittbelastung entlang des untersuchten Trampelpfades sind selbst im nicht erodierten, flacheren Bereich erst ganz kümmerliche Anzeichen einer Wiederbesiedlung zu erkennen: An Keimpflanzen krautiger Pflanzen finden sich ganz vereinzelt *Senecio incanus*, *Primula minima* und *Euphrasia minima*. *Loiseleuria*-Spalierie schieben sich 1979 stellenweise bereits von der Bergseite über den ursprünglichen Schadensrand (0,5 cm pro Jahr); großenteils, vor allem auf der Talseite, sind die Bestände aber bis 15 cm weit vom Pfad weg abgestorben und ohne nennenswerte Regeneration. Ein Neuaustrieb aus entlaubten und freigelegten Sprossen konnte in keinem Fall beobachtet werden. Bei gleich bleibendem Zuwachs von *Loiseleuria* dürfte es insgesamt 50 - 60 Jahre dauern, bis der schmale Pfad wieder von geschlossenen Spalierie bedeckt ist.

An Stellen, die im Winter auch bei Föhnsturm durch Triebsschnee mindestens 30 cm tief schneebedeckt bleiben, kann die Bärentraube (*Arctostaphylos uva ursi*) gedeihen. Mit einem Triebwachstum von etwa 2,5 cm pro Jahr ist *Arctostaphylos* in solchen Bereichen die erfolgreichste Art der Wiederbesiedlung von Kahlflächen.

Rascher als im Bereich des Trampelpfades erfolgt die Wiederbesiedlung von kleinflächigen Schadstellen in Verebnungen sowie in weniger windexponierten Geländeteilen. Auf einem derartigen Areal, 30 m unterhalb des beschriebenen Trampelpfades, wurden 1972 und 1973 Bestandesausschnitte von 25 x 25 cm für Biomasseanalysen entnommen (Tiefe 5 - 10 cm). 1977 fanden sich hier eingeweihte Strauchflechten (*Cetraria islandica* u.a.), stellenweise zarte Rasen von *Polytrichum spec.* sowie Jungpflanzen diverser krautiger Arten, allen voran *Euphrasia minima*,

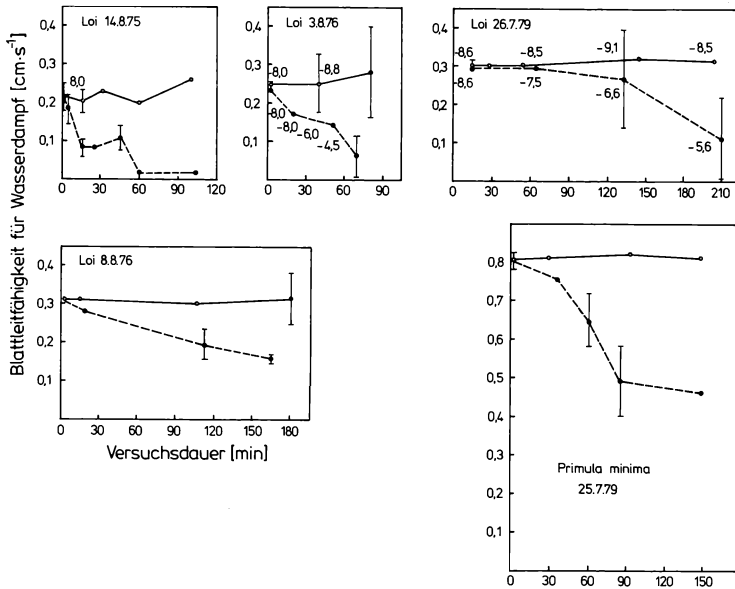


Abb. 2: Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Öffnungszustand der Stomata (Blattleitfähigkeit für Wasserdampf) von *Loiseleuria procumbens* und *Primula minima* bei sommerlichem Schönwetter. Ergebnisse von Experimenten, bei denen die Luftfeuchtigkeit in Blattnähe mit Hilfe eines Gebläses in situ auf über 10 mbar Dampfdruckdefizit abgesenkt wurde. Temperaturänderungen wurden durch Abschwächung der direkten Sonnenstrahlung mit Hilfe von Nylonnetzen weitgehend unterbunden. Durchgezogene Linie: Kontrollbestand. Unterbrochene Linie: Bestand mit künstlich abgesenkter Luftfeuchtigkeit. Am 3. August 1976 und am 26. Juli 1979 wurde bei *Loiseleuria* laufend das Sproß-Wasserpotential bestimmt (bar, eingetragene Zahlenwerte).

dann *Leontodon spec.*, *Phyteuma hemisphaericum* und *Antennaria spec.* Interessant ist, daß die *Loiseleurias*spaliere, die 1977 bereits wieder in die kleinen Mulden hängen und somit besonders windgeschützt sind, talab enorme Zuwachsraten aufweisen. Stellenweise wurden sogar über 5 cm pro Jahr gemessen (Abb. 1). Bergauf und bei erodiertem Oberboden findet im allgemeinen keine Regeneration statt.

Ob eine Schadstelle wieder zuwächst, hängt also davon ab, ob das bergseitige Zuwachsen rascher erfolgt als das talseitige Absterben und Erodieren. Dabei kommt der Hangneigung eine entscheidende Bedeutung zu. Als kritische Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen, können wir nach diesen Beobachtungen 20 % Hangneigung und 15 % Wegsteigung annehmen, wobei die Wegsteigung entscheidender ist.

4.12 Krummseggenrasen in der alpinen Grasheide in den Hohen Tauern

4.121 Schäden. Der alpine Rasen ist weit weniger empfindlich gegen Trittbelastung als die Zwergstrauchvegetation. *Carex curvula* selbst erträgt 3000, relativ gleichmäßig über 2 Vegetationsperioden verteilte Begehungen entlang eines schmalen Pfades ohne wesentliche Ausfälle, wenngleich die Blätter dadurch flach auf den Boden gedrückt werden und die Hülle aus abgestorbenen Blattscheiden zum Teil abgerieben wird. Mit einer physiologischen Beeinträchtigung ist schon allein wegen der Verschmutzung der Blätter zu rechnen. 3000 Begehungen (60 voll besetzte Reiseautobusse) entsprechen bei statistischer Verteilung der Auftritte etwa 420 Einzelbelastungen des Bestandes. Sogar an Stellen unmittelbar vor stabilen Meßeinrichtungen, die jahrelang betreut wurden und weit mehr belastet sind als der hinführende Trampelpfad, finden sich noch einzelne lebende *Carex*triebe.

Stark in Mitleidenschaft gezogen sind hingegen die übrigen Arten im *Curvuletum*, allen voran die Strauchflechten (*Cetraria islandica*, *Cladonia rangiferina* u.a.), die im *Curvuletum* einen großen Teil der Biomasse bilden. Unter der Trittbelastung bei trockener Witterung im Sommer - das sind die bevorzugten Ausflugsstage - werden die ab etwa 9 Uhr trockenen und damit spröden Thalli (KÖRNER 1977) pulverisiert und die Reste vom Wind verblasen. Äußerst empfindlich sind auch die Blätter

der Rosettenpflanzen, allen voran die der im *Curvuletum* stark vertretenen *Primula minima*. Die leicht sukkulenten, weichen Blätter der Zwergprimel werden rascher zerrieben als die derberen Blätter der Kompositen-Rosetten (*Hieracium* spec., *Leontodon* spec.). Die Regenerationsfähigkeit der Primel ist aber dank eines unverhältnismäßig großen unterirdischen Sproßsystems so groß, daß sie als letzte Dikotyle durch Trittbelastung vollständig verdrängt wird.

Günstig sowohl für die Trittresistenz als auch für die Regeneration wirkt sich im *Curvuletum* das Fehlen einer Rohhumusaufgabe aus. Im Gegensatz zur Zwergstrauchheide ist der Oberboden sehr kompakt und durch einen gut entwickelten Wurzelfilz verfestigt. Eine verstärkte Bodenerosion infolge Zerstörung oberirdischer Pflanzenteile bei Trittbelastung konnte nicht beobachtet werden (Hangneigung 20 %, Steigung des trampelpfades 5 - 10 %, kurze Abschnitte bis 20 %).

Schäden infolge des Schibetriebes im Winter beschreibt HOFER (1979) ausführlich. Nach seiner Beobachtung sind Krummseggenrasen wegen der meist starken Windexposition und folglich geringen Schneebedeckung durch Schikantenschliff besonders gefährdet.

Die Veränderungen des Bodens unter der von uns gesetzten Trittbelastung sind im *Curvuletum* geringer als im *Loiseleurietum*: Neben nichtsignifikanten Unterschieden im Porenvolumen und spezifischen Gewicht konnte wie im *Loiseleurietum* eine Erhöhung des aktuellen Wassergehaltes festgestellt werden. Deutlich verändert ist die Infiltrationsrate. Die Einsickerungsgeschwindigkeit ist im ungestörten Bestand rund 6 mal so hoch wie auf dem trampelpfad (Tab. 1). In einem kleinflächigen *Nardetum* auf dem Patscherkofel stellt GUGGENBERGER (pers. Mitt.) nach Trittbelastung eine Abnahme um den Faktor 6.5 fest.

Leider fehlen uns derzeit Beobachtungen von Schadensverläufen in steilem Gelände. Es ist vorstellbar, daß diese stark verminderte Durchlässigkeit den im Sommer an sich sehr geringen Oberflächenabfluß (KÖRNER et al. 1980) im Bereich eines ähnlich belasteten, aber steileren trampelpfades so deutlich erhöht, daß es trotz stabilerer Bodenverhältnisse auch im *Curvuletum* zu Erosion kommt. Die bisherigen Beobachtungen an Pfaden bis zu 20 % Neigung sprechen eher dagegen. Völlig anders ist die Situation natürlich, wenn die Trittbelastung so groß wird, daß bereits durch das Begehen selbst ein Bodenabtrag stattfindet. Durchnäßte Geländeteile sind diesbezüglich besonders gefährdet.

Die kleinflächige Entfernung der Vegetation hat im Krummseggenrasen nach unserer bisherigen Erfahrung keinen wesentlichen Einfluß auf die Evapotranspiration. Meßreihen über 3 Jahre und an verschiedenen Standorten in der alpinen Grasheide ergaben immer wieder das gleiche Bild: Entgegen der Erfahrung aus Tallagen unterscheidet sich die Evapotranspiration von Kahlstellen kaum von der Evapotranspiration bewachsener Flächen (KÖRNER et al. 1980). Die Hauptursache dafür liegt in der großen Niederschlagshäufigkeit und daraus resultierenden hohen Bodenfeuchte.

Die teilweise Zerstörung der oberirdischen Pflanzenteile mit nachfolgendem Absterben unterirdischer Teile auf dem untersuchten trampelpfad mit 3000 Begehungen führt hingegen zu einer Erniedrigung der Bodenatmung. Nach DECKER (pers. Mitt.) wurden auf dem trampelpfad im Sommer bei Bodentemperaturen zwischen 2 und 10°C durchschnittlich nur halb so hohe Atmungswerte erreicht wie im angrenzenden ungestörten Bestand (bei 6°C: 115 gegenüber 220 mg CO₂·m⁻²·h⁻¹). Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die starke Störung der Vegetation insgesamt, auch wenn *Carex curvula* selbst dem mechanischen Belastungsdruck noch einige Zeit standhält.

4.122 R e g e n e r a t i o n . Obwohl die Krummseggenversuchsflächen höher gelegen sind als die der Zwergstrauchheide, erfolgt die Wiederbesiedlung rascher. Die unmittelbare Nachbarschaft stark reproduktiver Pflanzenarten wirkt sich hier neben den stabileren Bodenverhältnissen und weniger extremen mikroklimatischen Belastungen (geringere Überhitzung von Kahlstellen) positiv aus.

Falls eine weitere Störung unterbleibt, ist bereits im Folgejahr das Aufkommen von Keimpflanzen festzustellen (*Primula minima*, *Senecio incanus* ssp. *carniolicus*; *Polytrichum* spec.; später folgen die Kompositen). *Carex curvula* vermehrt sich hauptsächlich vegetativ. Eine Invasion in eine Schadstelle durch Rhizomwachstum erfolgt aber - wenn überhaupt - äußerst langsam. GRABHERR et al. (1978) stellten in den Ötztaler Alpen in 2550 m Meereshöhe eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 0.9 mm pro Jahr fest. Um einen 25 cm breiten trampelpfad auf diese Weise (von 2 Seiten) wieder zu besiedeln, würde somit ein Zeitraum von über 100 Jahren nötig sein. BABB und BLISS (1974) kamen zu sehr ähnlichen Ergebnissen für die Wiederbesiedlung von Fahrstreifen in der arktischen Tundra. Eine laterale Invasion von Rhizomen der graminoiden Arten konnten sie nicht beobachten, wohl aber ein relativ rasches Auftreten von Moosen und Keimpflanzen stark reproduktiver Arten (u.a. *Draba* spec., *Oxyria digyna*, *Polygonum viviparum* und einige Gräser).

Vergleichen wir die im *Curvuletum* festgestellten Verhältnisse mit den Erfahrungen aus der Zwergstrauchheide, so können wir festhalten: Bei noch intaktem Boden, aber zerstörter Vegetation erfolgt die Wiederbesiedlung mit der standortstypischen Charakterart im *Curvuletum* eher langsamer als im *Loiseleurietum*; "Stellvertreter-

Arten" bilden jedoch rascher eine neue geschlossene Pflanzendecke aus, als dies im *Loiseleurietum* der Fall ist. Diese Ersatzvegetation ist aber gegen mechanische Belastungen viel empfindlicher als die ursprüngliche Vegetation.

4.2 Beweidungseffekte

4.21 Krummseggenrasen in den Hohen Tauern

Das *Curvuletum* an der Glocknerstraße wird heute mit Schafen und Jungrindern beweidet, allerdings in so geringer Intensität, daß nach 5 Jahren noch keine auffälligen Veränderungen an der Vegetation gegenüber eingezäunten Flächen zu erkennen sind. Trotzdem wollten wir zumindest an einigen Kenngrößen des Bestandes die mögliche Auswirkung einer intensiveren Beweidung studieren, wobei sicher noch viele weitere Fragen zu klären wären. Es wurden *Carex*-Bestände von Hand geschoren und der Effekt dieser Bestandesveränderung auf das Windklima im Bestand, die physiologische Reaktion der Pflanzen darauf und der Einfluß auf die Bestandesverdunstung untersucht. Hierzu kurz einige Vorbemerkungen über den Bestandesaufbau des untersuchten Krummseggenrasens (vgl. CERNUSCA 1977b): Die lebende Biomasse verteilt sich auf eine Bestandeshöhe (einschließlich der Infloreszenzen) von rund 12 cm so, daß 70 % davon in den durch Weidetiere praktisch nicht erreichbaren untersten 1.5 cm konzentriert sind, während nur 30 % der Biomasse den restlichen Teil des Bestandes aufbauen. Der Bestand ist 3-schichtig. In den untersten 1.5 cm befinden sich die Blattbasen von *Carex curvula*, die Rosetten von *Primula minima* und Kryptogamen, die ja insgesamt etwa 60 % der gesamten Biomasse bilden (PÜMPEL 1977). Die mittlere Schicht bis etwa 7 cm (schwankend von 4 - 10 cm) bilden hauptsächlich die Blätter von *Carex curvula*. In der obersten Schicht sind Infloreszenzen. In dieser Schicht sind auch die gekräuselten, abgestorbenen Blättenden der Krummsegge gehäuft.

Bezüglich des Weideverhaltens ist folgendes zu beobachten: Unter den derzeitigen Verhältnissen weiden Schafe den Bestand bis knapp über das Zwergprimelniveau ab (ca. 1.5 cm), Kälber auf etwa 2.5 cm und ältere Rinder auch auf 2.5 cm oder - und dies konnten wir mehrfach feststellen - bis auf die Bodenoberfläche, indem sie mit einer ausholenden Zungenbewegung ganze Bestandesbezirke, einschließlich etwas Boden abkratzen, was ansehnliche Wunden im Bestand hinterläßt. Abgesehen von dieser sehr destruktiven Freßgewohnheit würden bei intensiver gleichmäßiger Beweidung also nur 17 % (Rinder) bis maximal 30 % (Schafe) der vorhandenen Biomasse abgeweidet. Läßt man die Kryptogamen außer Betracht, da sie - einmal entfernt - sehr lange brauchen, um wieder nachzuwachsen (gilt besonders für Flechten), beträgt die Biomasse rund $1.95 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (PÜMPEL 1977). Davon könnten bei intensiver gleichmäßiger Beweidung Rinder 45.8 % oder $0.89 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ und Schafe 80.8 % oder $1.58 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ der lebenden Biomasse abweiden. Diese Zahlen sind sehr eindrucksvoll. Sie zeigen, daß die von ODOM (1967) genannte kritische Grenze von 50 %, von der an die Stabilität von Weideland nicht mehr gesichert sein soll, selbst bei sehr intensiver Beweidung mit Kälbern - abgesehen von den dann zu befürchtenden Trittschäden - nicht erreicht wird, während eine Überbeweidung durch unkontrollierte Intensivierung der Schafbeweidung auf Grund der anderen Freßgewohnheiten leicht möglich ist.

Nun zu den durchgeführten Experimenten: Wie ändert sich das Windklima im Bestand, wenn Teile davon entfernt werden? Abb. 3 zeigt das Ergebnis von Studien im Windkanal. Daraus wird deutlich, daß bei intakter Bestandesstruktur durch die toten, gekräuselten Blattspitzen (1.4 % der Phytomasse) der Wind soweit abgebremst wird, daß die Windgeschwindigkeit in dem Bereich, wo die grünen Blätter beginnen (hier 6.0 cm) nur noch 7 % der in 2 m Höhe über dem Bestand beträgt. Entfernt man nur diese Blattspitzen, so verdoppelt sich in diesem Bereich die Windgeschwindigkeit. Darin kann möglicherweise eine positive Bedeutung dieses auffälligen, namengebenden Merkmales von *Carex curvula* liegen, über dessen Entstehungsursachen noch nicht volle Klarheit besteht. Zur Zeit deuten die Meßergebnisse darauf hin, daß es nicht, wie ursprünglich vermutet, ausschließlich ein Problem des Wasserhaushaltes ist, das dafür verantwortlich ist. Ein Großteil der toten "Locke" entsteht nämlich beim Einziehen im Spätherbst und wird bei neu einsetzender Aktivität des basalen Meristems im Frühjahr mit dem nun im zweiten Sommer befindlichen Blatt emporgehoben, und zwar umso mehr, je besser die Wachstumsbedingungen am jeweiligen Mikrostandort sind. Bringt man *Carex curvula* ins Tal, bildet sie grüne Blätter bis zu 30 cm Länge ohne totes Ende - die Reste des letztjährigen Wachstumsschubes sind unter den günstigeren Klimabedingungen längst verrottet. Entfernt man nun weitere Bestandes-schichten, so werden immer tiefere Bereiche stärker ventiliert (Abb. 3), was fortschreitende Abkühlung, aber auch eine Absenkung der Luftfeuchte in Blattnähe bewirkt.

Wie reagieren nun *Carex curvula* und *Primula minima* auf diese verstärkte Belüftung? Um dies in situ ohne Verletzung der Pflanzen zu untersuchen, wurde im Gelände mit Hilfe eines Gebläses künstlich eine derartige Erhöhung der Windgeschwindigkeit im Bestand erzeugt. Die Stomata von *Carex curvula* reagieren nicht auf diese Milieu-änderung und bleiben voll geöffnet. *Primula minima* zeigt eine Spaltöffnungsreaktion (Abb. 2). Der Leitwert vermindert sich binnen 2 Stunden auf 60 % des Kon-

trollwertes, ist aber im Artenvergleich selbst dann noch relativ hoch (vgl. KÖRNER et al. 1979). Diese 40 %-ige Verminderung der stomatären Leitfähigkeit dürfte aber zum Großteil durch die gleichzeitige Erhöhung des aerodynamischen Leitwertes (Abnahme des aerodynamischen Austauschwiderstandes) kompensiert werden, so daß die Diffusion von Wasserdampf (Transpiration) und CO_2 (Photosynthese) aus diesem Grund nur unwesentlich verändert sein dürfte. Tatsächlich weisen auf ein Niveau von 2 cm geschorene Bestände nur eine geringfügig verminderte Evapotranspiration auf. Im Durchschnitt bestimmten wir mit Wiegelysimetern für August -15 %, für die gesamte Vegetationsperiode -13 % gegenüber gut entwickelten, unveränderten Beständen. Dies ist teilweise auch durch die erhöhte Evaporation vom Boden bedingt. Da die Photosynthese bei so hohen Leitwerten in weit geringerem Maße durch die Stomata behindert wird als die Transpiration (KÖRNER et al. 1979), sind negative Auswirkungen auf die Stoffproduktion der verbliebenen Pflanzenteile nicht zu erwarten. Im Gegenteil, durch den Wegfall der oberen Bestandesteile steht der noch vorhandenen Assimilationsfläche bei heiterem Wetter etwa doppelt so viel photosynthetisch aktive Strahlung zur Verfügung als im ungestörten Bestand (nach Angaben bei CERNUSCA 1977b). Es ist bekannt, daß die Stoffproduktion von natürlichem Grünland durch Beweidung gesteigert werden kann (z. B. VICKERY 1972). Ob und in welchem Ausmaß dies im *Curvuletum* möglich ist und bei welcher Beweidungsintensität eine Optimierung zu erzielen ist, wäre sicher eine genaue Untersuchung wert, wobei selbstverständlich die diversen, negativen Auswirkungen der Trittbelastung nicht außerachtgelassen werden dürfen. Auf Grund der beschriebenen Zusammenhänge ist anzunehmen, daß Wasserhaushalt und Photosynthese der wichtigsten Arten im *Curvuletum* durch Entfernung der abweidbaren Bestandesteile nicht beeinträchtigt werden.

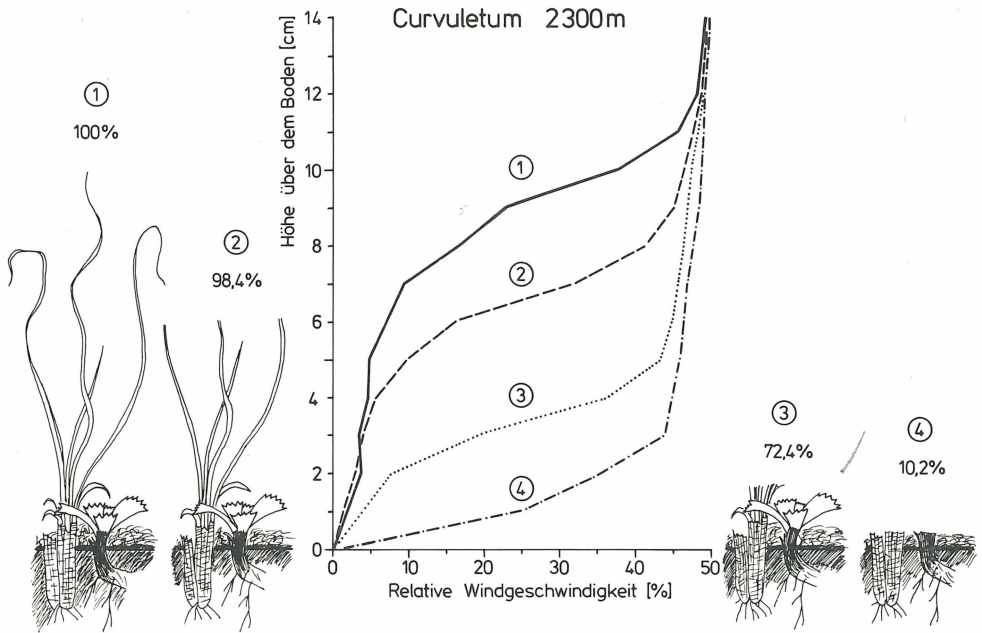


Abb. 3: Simulationsexperiment im Windkanal zum Studium des Einflusses der Beweidung auf die Windgeschwindigkeit im Inneren von Beständen der alpinen Grasheide an der Glocknerstraße (*Caricetum curvulae*, 2300 m ü.M.). Die Prozentangaben bei den Bestandesskizzen beziehen sich auf die jeweils noch vorhandene Phytomasse (Trockengewicht aller lebenden und toten Pflanzenteile). Die Windgeschwindigkeit ist relativ angegeben, in bezug auf den entsprechenden Wert in 2 m Höhe über dem Bestand (hier 4 m/s = 100%). Die Abschwächung der Windgeschwindigkeit zwischen 15 cm und 200 cm ist auf Grund von Profilmessungen im Freiland bekannt (CERNUSCA 1977b). (1) ungestörter Bestand, (2) tote Blattspitzen von *Carex curvula* entfernt, (3) Bestand auf das Zwergprimelniveau eingekürzt (1.5 cm, entspricht dem Zustand nach gleichmäßiger Schafbeweidung), (4) alle grünen Pflanzenteile entfernt.

4.22 Subalpines Grünland im Zentralkaukasus

Abschließend seien noch kurz einige Ergebnisse einer im August 1979 im Zentralkaukasus durchgeführten Studie angeführt, die auch für den Alpenraum relevant sind. Die untersuchte Weide und eingezäunte Mähweide unterscheiden sich deutlich hin-

sichtlich der Bestandesstruktur: Die Mähwiese ist 40 - 50 cm hoch, hat eine lebende Biomasse ("standing crop" im August) von $400 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ und einen LAI von 7.9. Die Weide ist etwa 2 cm hoch, hat eine Biomasse von $140 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ und einen LAI von ca. 3. Bei hochsommerlichem Schönwetter ergab sich folgendes (CERNUSCA, KÖRNER und NACHUZRISCHWILI, in Vorbereitung):

- a) Energiehaushalt: Der Energieumsatz erfolgt in der Wiese hauptsächlich in der kräuterreichen Schicht zwischen 5 und 10 cm Höhe; dort treten auch die höchsten Temperaturen auf. Auf der Weide findet der Energieumsatz größtenteils unmittelbar an der Bodenoberfläche statt. Die Folge ist, daß der Bodenwärmestrom auf der Weide 3 mal so groß ist wie auf der Mähwiese, was sich günstig auf den Mineralisierungsprozeß auswirken dürfte.
- b) Boden: Unter gleichen Ausgangsbedingungen entwickelt sich in der Wiese nach 20 Jahren unterbundener Beweidung ein doppelt so großer Humusgehalt wie auf der Weide (NACHUZRISCHWILI, pers. Mitt.). Die Ursache liegt einerseits sicher in der höheren Streuproduktion, andererseits aber auch in der oben erwähnten, geringeren Bodenerwärmung. Sättigungswassergehalt und aktueller Wassergehalt unterscheiden sich kaum.
- c) Evapotranspiration: Pro Tag verdunstet bei sommerlichem Schönwetter auf Wiese und Weide etwa gleich viel Wasser (durchschnittlich $4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$). Wie dies bei so unterschiedlicher Blattflächenentwicklung möglich ist, zeigen
- d) die ökophysiologischen Untersuchungen: Auf der Weide sind stomatäre Leitfähigkeit und Transpiration pro Blattflächeneinheit bis zu 30 % höher als auf der Wiese. Der aerodynamische Austauschwiderstand ist auf der Weide nur etwa halb so groß wie auf der Wiese. Entsprechend dem höheren Wasserumsatz pro Blattflächeneinheit ist auf der Weide auch das Blattwasserpotential stärker erniedrigt (-11.6 gegenüber -9.0 bar). Nach CHEZURIANI (pers. Mitt.) ist auch die Nettphotosynthese auf der Weide höher.

Auf der Weide erreichen die Pflanzen also pro Blattflächeneinheit deutlich höhere Stoff- und Energieumsätze. Die untersuchte Fläche, an der keine Kennzeichen einer destruktiven Überbeweidung erkennbar sind, obwohl im Frühsommer und Herbst für einige Wochen 5000 Schafe über sie hinweg zu den höher gelegenen Weiden ziehen, dürfte somit relativ gut an diese anthropogene Nutzung adaptiert sein. Die Folgen der Überbeweidung an den tiefer gelegenen schmalen Talflanken, über die alljährlich der Auf- und Abtrieb erfolgt, sind hingegen katastrophal. Die Bestände können sich während des Sommers nicht voll erholen. Großflächige Erosion und Murrbrüche sind das Ergebnis.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

- 1) Gemsheidebestände in der alpinen Zwergstrauchheide sind extrem sensibel gegen mechanische Belastungen wie Tritt und Schi-Kantenschliff und sollten daher weder durch schweres Vieh noch durch Menschen betreten werden. Besondere Gefahr ist durch Schibetrieb bei unzureichender Schneelage im Spätwinter gegeben. Bei der Anlage von Schiabfahrten sollte die Zwergstrauchheide an sich - im besonderen aber Geländeteile mit Gemsheide - ausgeklammert werden.
- 2) Sind Wege (Trampelpfade) in diesem Bereich notwendig, sollten sie so geführt werden, daß die Steigung nie 15 % übersteigt. Kehren sollten grundsätzlich in Geländeverflachungen angelegt werden. Andernfalls kommt es zu starker Boden-erosion.
- 3) Die Wiederbesiedlung von Schadstellen in Gemsheidematten erfolgt fast ausschließlich vegetativ mit einer Geschwindigkeit von ca. 0.5 cm pro Jahr. Bei Hangneigungen über 20 % ist meist die Erosion rascher als die Regeneration, weshalb solche Hänge eines ganz besonderen Schutzes bedürfen. Eine Besiedlung von nicht erodierten Kahlstellen mit krautigen Pflanzen (Einsaaten) wird durch extreme mikroklimatische und edaphische Bedingungen weitgehend unterbunden.
- 4) Krummseggenrasen in der höher gelegenen alpinen Grasheide sind um ein Vielfaches trittresistenter als die Zwergstrauchbestände. Die erwähnten Grundsätze bei der Anlage von Wegen sollten aber auch hier beachtet werden. Flächen mit häufiger Bodendurchnässung (z. B. Schmelzwasserzüge) sind besonders gefährdet. Um weitgehend irreparable Schäden durch Schi-Kantenschliff zu vermeiden, sind besonders windexponierte Geländeteile von wintersportlicher Nutzung auszuklammern.
- 5) *Carex curvula*, trittresistenteste Art im Krummseggenrasen, vermehrt sich fast ausschließlich vegetativ und dies extrem langsam. Die an Schadstellen aufkommende Ersatzvegetation ist gegen mechanische Belastungen wesentlich empfindlicher als die ursprüngliche Vegetation. Da Begrünung im herkömmlichen Sinne in der mittleren bis oberen alpinen Stufe versagt, müssen Geländeänderungen (etwa Planierungen) in dieser Höhenlage grundsätzlich unterbleiben. Sind einmal Schäden entstanden, ist nur das Aufbringen von Rasensoden erfolgversprechend. Aber auch bei diesem Verfahren dauert die Wiederherstellung einer voll deckenden Vegetation bei laufender Pflege mehr als 20 Jahre.

- 6) Zur Frage der Beweidung von alpinem Krummseggenrasen ist festzustellen, daß auf Grund der Bestandesstruktur und der Freßgewohnheiten bei unkontrollierter Intensivierung der Beweidung durch Schafe, die Gefahr einer übermäßigen Abweidung mit destruktiven Folgen gegeben ist. Eine mäßige und kontrollierte Schafbeweidung dürfte hingegen eine günstige Nutzungsform des alpinen Krummseggenrasens sein. Die optimale Bestoßungsdichte (bei maximaler Stoffproduktion) müßte in Experimenten ermittelt werden. Soweit auf Grund dieser Untersuchungen längerfristige Auswirkungen abgeschätzt werden können, wirkt sich die teilweise Entfernung oberirdischer Pflanzenteile nicht negativ auf den Gebietswasserhaushalt und den Wasserhaushalt der Pflanzen aus.
- 7) Ergebnisse von Untersuchungen an subalpinem Gras- und Weideland im Zentralkaukasus, die auch für das subalpine Grünland in den Alpen relevant sind, zeigen folgendes: Eine in ihrer Intensität dem Standort gut angepaßte Schafbeweidung führt neben der sichtbaren Veränderung der Bestandesstruktur zu verstärktem Bodenwärmestrom (was die Mineralisierung begünstigt), keiner sehr wesentlichen Veränderung von Porenvolumen und Wassergehalt der Böden, aber zu einer Intensivierung der Stoffumsätze in der Pflanzendecke, also einer höheren Transpiration und Photosynthese der Blätter; sie hat somit im vorliegenden Fall offensichtlich keine schwerwiegenden ökologischen Nachteile. Übermäßig beweidete Flächen hingegen zeigen alle Anzeichen einer starken Erosionsgefährdung.
- 8) Untersuchungen in dieser Richtung müssen unbedingt intensiviert werden. Es ist zu hoffen, daß etwa im Rahmen des Internationalen MAB-Programmes an möglichst vielen Pflanzengesellschaften der Alpen weitere Studien zu Fragen der Belastung und Belastbarkeit der alpinen Vegetation durchgeführt werden.

Literatur

- BABB T.A., BLISS L.C., 1974: Effects of physical disturbance on arctic vegetation in the Queen Elizabeth Islands. *J. Appl. Ecol.* 11: 549-562.
- BILLINGS W.D., 1973: Arctic and alpine vegetations: Similarities, differences, and susceptibility to disturbance. *Bio Science* 23: 697-704.
- BÖTTCHER R., 1976: Veränderung der Vegetation unter Einwirkung von Erholungsnutzung. Diplomarbeit TU Hannover.
- BRECHTEL H.M., 1970: Wald und Retention - Einfache Methoden zur Bestimmung der lokalen Bedeutung des Waldes für die Hochwasserdämpfung. *Dt. Gewässerkundl. Mitt.* 14: 91-103.
- BROWN R.W., JOHNSTON R.S., JOHNSON D.A., 1978: Rehabilitation of alpine tundra disturbances. *J. Soil and Water Cons.* 154-160.
- BUNZA G., 1978: Vergleichende Messungen von Abfluß und Bodenabtrag auf Almflächen des Stubnerkogels im Gasteiner Tal. In: (Ed. Cernusca A.) *Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal*. Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 3: 315-334. Innsbruck (Wagner).
- CERNUSCA A., 1976: Bestandesstruktur, Bioklima und Energiehaushalt von alpinen Zwergstrauchbeständen. *Oecol. Plant.* 11: 71-102.
- CERNUSCA A., 1977a: Alpine Grasheide Hohe Tauern. Ergebnisse der Ökosystemstudie 1976. Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 1: 175 S. Innsbruck (Wagner).
- CERNUSCA A., 1977b: Bestandesstruktur, Mikroklima, Bestandesklima und Energiehaushalt von Pflanzenbeständen des alpinen Grasheidegürtels in den Hohen Tauern. Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 1: 25-46. Innsbruck (Wagner).
- CERNUSCA A., 1977c: Ökologische Veränderungen im Bereich von Schipisten. In: (Ed. Sprung R., König B.) *Das österreichische Schirecht*: 81-150. Innsbruck (Wagner).
- CERNUSCA A., DECKER P., 1977: Respiratorischer Kohlenstoffverbrauch im alpinen Grasheidegürtel der Hohen Tauern. In: (Ed. Cernusca A.) *Alpine Grasheide Hohe Tauern*. Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 1: 123-131. Innsbruck (Wagner).
- GRABHERR G., MÄHR E., REISIGL H., 1978: Nettoprimärproduktion und Reproduktion in einem Krummseggenrasen (*Caricetum curvulae*) der Ötztaler Alpen, Tirol. *Oecol. Plant.* 13: 227-251.
- GRABHERR G., 1979: Schädigungen der natürlichen Vegetation über der Waldgrenze durch die Anlage von Schipisten und deren Fähigkeit zur Regeneration. Bericht üb. d. Wiss. Seminar "Begrünungsmaßnahmen im Gebirge", Akad. f. Naturschutz u. Landschaftspflege (Laufen): 45-51.
- HAAG R.W., BLISS L.C., 1974: Energy budget changes following surface disturbance to upland tundra. *J. Appl. Ecol.* 11: 355-374.
- HOFER H., 1979: Der Einfluß des Massenskilaufs auf alpine Sauerbodenrasen am Beispiel der Gurgler Heide (Ötztal) und Beobachtungen zur Phänologie des *Curvuletums*. Diss. Univ. Innsbruck.
- KERN H., 1975: Mittlere jährliche Verdunstungshöhen 1931-1960. *Schriftenr. Bayr. Landesamt Wasserwirtschaft*. München 2.
- KÖRNER C., 1976: Wasserhaushalt und Spaltenverhalten alpiner Zwergsträucher. *Verh. Ges. f. Ökol.* Wien 1975: 23-30.

- KÖRNER C., 1977: Blattdiffusionswiderstände verschiedener Pflanzen im alpinen Grasheidegürtel der hohen Tauern. In: (Ed. Cernusca A.) Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 1: 69-82. Innsbruck (Wagner).
- KÖRNER C., HOFGLACHER H., WIESER G., 1978: Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Almflächen im Gasteiner Tal. In: (Ed. Cernusca A.) Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 2: 67-69. Innsbruck (Wagner).
- KÖRNER C., SCHEEL J.A., BAUER H., 1979: Maximum leaf diffusive conductance in vascular plants. *Photosynthetica* 13: 45-82.
- KÖRNER C., MAYR R., 1980 : Stomatal behaviour in alpine plant communities between 600 and 2600 m above sea level. *Proc. Brit. Ecol. Soc. Symp. Edinburgh 1979*. Oxford London Edinburgh Melbourne (Blackwell): in press.
- KÖRNER C., WIESER G., GUGGENBERGER H., 1980: Die Wasserbilanz eines alpinen Rasens in 2300 m MH. In: (Ed. Franz H.). Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm 3: im Druck.
- LARCHER W., CERNUSCA A., SCHMIDT L., 1973: Stoffproduktion und Energiebilanz in Zwergstrauchbeständen auf dem Patscherkofel bei Innsbruck. In: (Ed. Ellenberg H.) Ökosystemforschung. Berlin/Heidelberg/New York (Springer): 175-194.
- LARCHER W., WAGNER J., 1976: Temperaturgrenzen der CO₂-Aufnahme und Temperaturreistenz der Blätter von Gebirgspflanzen im vegetationsaktiven Zustand. *Oecol. Plant.* 11: 361-374.
- LARCHER W., 1977: Ergebnisse des IBP-Projektes "Zwergstrauchheide Patscherkofel". Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss. Mathem.-naturw. Kl. Abt. 1, 186: 301-371.
- LIDDLE M.J., GREIG-SMITH P., 1975: A survey of tracks and paths in a sand dune ecosystem. *J. Soils. J. Appl. Ecol.* 12: 893-908.
- LIPPERT W., 1972: Veränderungen der Pflanzenwelt durch Bergsteigen und Fremdenverkehr im Hochgebirge (Kopfstationen der Bergbahnen, Hüttenbereiche, Hochwege usw.). *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 43: 5-15.
- MIKA V., 1977: Intensity of trampling and productivity of plant associations in enclosed pastures. *Rostl. Výroba* 23: 1305-1310.
- ODUM E.P., 1967: Ökologie. München/Basel/Wien (BLV).
- PÜMPPEL B., 1977: Bestandesstruktur, Phytomassevorrat und Produktion verschiedener Pflanzengesellschaften im Glocknergebiet. In: (Ed. Cernusca A.) Alpine Grasheide Hohe Tauern. Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 1: 83-102. Innsbruck (Wagner).
- SPATZ G., 1978: Die Beeinflussung des Artengefüges einer Almweide im Bereich der Schiabfahrt Stubnerkogel. In: (Ed. Cernusca A.) Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Veröff. Österr. MAB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern 2: 335-340. Innsbruck (Wagner).
- VICKERY P.J., 1972: Grazing and net primary production of a temperate grassland. *J. Appl. Ecol.* 9: 307-314.
- WEAVER T., DALE D., 1978: Trampling effects of hikers, motorcycles and horses in meadows and forests. *J. Appl. Ecol.* 15: 451-457.

Adresse:

Mag. Dr. Christian Körner
 Institut für Botanik der Universität
 Sternwartestr. 15
 A-6020 Innsbruck

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [8_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Körner Christian

Artikel/Article: [Zur anthropogenen Belastbarkeit der alpinen Vegetation 451-461](#)