

# Ökologische Studien auf alpinen Matten in der weiteren Umgebung des Schweizerischen Nationalparks

## 1. Untersuchungsobjekt und Fragestellungen

Bei Umweltstudien drängt sich oft die Frage auf, wie Art, Ausmaß und Steuerungsmechanismen von lokalen Veränderungen erfaßt werden können. Besonders geoökologisch orientierte Forschungen beinhalten die Messung bestimmter Phänomene über längere Zeiträume. Die vorliegenden Langzeitbeobachtungen sind 1970 hauptsächlich im Ofenpaßgebiet angesetzt worden und betreffen einige bereits von FURRER (1965) untersuchte Lokalitäten. Es handelt sich um Standorte im Höhenbereich von 2000 – 2500 m, wo periglaziale Prozesse die Vegetationsdecke lockern und mit Solifluktsformen rhythmisch mustern. Im Blickpunkt stehen fünf Testgebiete, die petrographisch einheitlich aus Dolomit und Rauhwaacke aufgebaut sind (siehe Fig. 1): Munt La Schera-Westflanke, Sattel westlich Munt Chavagl, Murtaröl-Westflanke, der Sattel von Mot Radond und (als Ausnahme im Berninagebiet gelegen) der Sattel westlich I Gessi. Im Besonderen werden

- Welche oberflächlichen Bewegungen von Boden- substrat und speziellen Steinen finden statt?
- Widerspiegeln die rezenten Ablagerungen von Pollenkörnern und Sporen lokalklimatische Unterschiede der einzelnen Standorte?
- Wie verändert sich die lokale Vegetationsbedeckung respektive ihre anteilmäßige Zusammensetzung?

Selbstverständlich interessieren auch die im Hintergrund davon stehenden größeren Zusammenhänge,

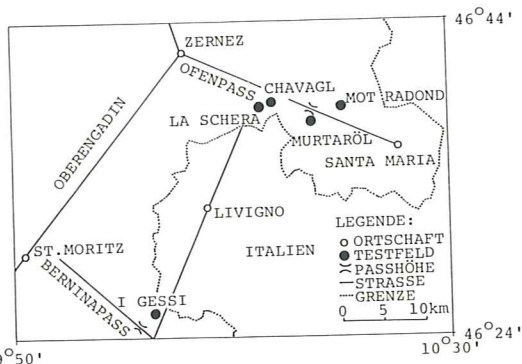


Fig. 1 Die Untersuchungsregion östlich des Oberengadins.

welche um Fragen der Veränderlichkeit von Ökosystemen kreisen. Ebenso sollen dabei allgemein methodische Erfahrungen gesammelt werden.

## 2. Methodik

Für die drei erwähnten, an sich sehr speziellen Fragestellungen sind geeignete Meßmethoden entwickelt worden. Teilweise kann auch auf bereits durchgeführte Studien in ähnlichem Kontext zurückgegriffen werden; GAMPER (1981, S. 362 ff.) zu Lokalklima und Frostversetzung, FRIES (1985, S.11 ff.) zu Bodenfeuchtigkeit und Kapillardruck, STÜSSI (1970) zur standörtlichen Vegetationsentwicklung sowie u. a. FLURY (1988) zu Vegetations-, Boden- und Klimafragen. Neu sind nun Experimente ausgeführt worden, welche die Pollensedimentation, die Solifluktsbeiträge auf annähernd horizontalen Flächen und die dortige quantitative Vegetationsbedeckung betreffen.

Bei der pollenanalytischen Datenerhebung sind insgesamt 45 Proben aus humosem, oberflächennahem Bodenmaterial zwischen 2100 und 2570 m ü.M. gesammelt, präpariert und ausgezählt worden. Darunter befinden sich Proben aus verschiedenen Solifluktsformen wie Bülden, Erdkuchen, Girlanden und Erdströmen sowie aus geschlossenem alpinen Rasen. Die verschiedenen Probenstandorte variieren nicht nur nach der Höhenlage, sondern auch nach der vorherrschenden Vegetation und der besonderen Topographie (Sattel, Mulde, Terrasse, Kuppe, Hang). Damit sind folgende Auswertungen angestrebt worden:

- Korrelation bestimmter Formen der gehemmtten Solifluktion mit dem Pollenanteil der dort und in der weiteren Umgebung wachsenden Pflanzen.
- Nachweis einer Höhenabhängigkeit des Fernflugpollens, je nach Distanz des Waldes und der Dichte der örtlichen Vegetation.
- Abklärung, ob besonders windexponierte Kuppen und Sättel einen erhöhten Anteil an Fernflugpollen (v. a. Baumpollen) aufweisen.

Kurt Graf, Prof. Dr., Geograph. Institut, Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich

- Feststellung von be-  
ten Pollenkörnern,  
klimatische Belast-  
spruchung schließe  
1985, S. 109 und T  
Im Laufe der palynol  
sich gezeigt, daß zun  
ungen bei gleichgear  
daher die fünf gewäh  
se nur summarisch a  
Die Bewegungsexpe  
früheren Arbeit vorg  
vier Lokalitäten m  
Rauhwaacke sind in ei  
mehreren Erdkuchen  
sen ausgelegt worde  
kreise sind in Foto 1  
rung gebracht wer  
vegetationsumrahmt  
den nach FURRER 195  
zungen stattfinden.  
denkbar:



Foto 1 Übersicht zu  
auf 2400 m, wo 1970  
trischen Kreisen Expe  
Klappmeter weist dal  
den Gefälles. Im Hir  
(1975) untersuchten E

- Feststellung von besonders verwitterungsresistenten Pollenkörnern, die allenfalls auf eine extreme klimatische Belastung oder mechanische Beanspruchung schließen lassen (s. dazu auch GRONER 1985, S. 109 und Tafel 1).

Im Laufe der palynologischen Auszählungen hat es sich gezeigt, daß zum Teil unerklärbar große Streuungen bei gleichgearteten Proben auftreten und daß daher die fünf gewählten Testgebiete sinnvollerweise nur summarisch ausgewertet werden können.

Die Bewegungsexperimente sind bereits in einer früheren Arbeit vorgestellt worden (GRAF 1982). An vier Lokalitäten mit vorherrschender gelblicher Rauhwacke sind in einer künstlichen Anordnung auf mehreren Erdkuchen andersfarbige Steine in Kreisen ausgelegt worden. Zwei konzentrische Steinkreise sind in Foto 1 sichtbar. Es soll damit in Erfahrung gebracht werden, wie intensiv auf diesen vegetationsumrahmten Feinerdeflächen (Kuchenboden nach FURRER 1954, S. 268) frostbedingte Versetzungen stattfinden. Mehrere Ergebnisse sind dazu denkbar:



Foto 1 Übersicht zur Lokalität westlich des Munt Chavagl auf 2400 m, wo 1970 auf einem Erdkuchen mit zwei konzentrischen Kreisen Experiment Nr. 2 ausgelegt worden ist. Ein Klappmeter weist dabei 1 m in Richtung des 1-2° betragenden Gefälles. Im Hintergrund sind die von FURRER et al. (1975) untersuchten Erdströme sichtbar.

- Bewegungen im Einflußbereich der Mikrosolifluktion (TROLL 1947, S. 166; FURRER 1954, S. 272) müßten auf Erdkuchen vom Zentrum radial gegen außen gerichtet sein und die Steinkreise ausweiten.
- Infolge der Hangsolifluktion (op. cit.) müßten die Steine linear talwärts rücken.
- Gleichsinnig müßte auch die Wirkung von Kamm-eis erwartet werden (FURRER 1954, S. 223), was sich allerdings bei den geringen Hangneigungen bloß in einer schwachen Verformung der Kreise zu Ellipsen äußern dürfte.

Die Experimente sind ca. alle fünf Jahre kontrolliert worden, und zwar jeweils fotografisch mit ungefähren Senkrechtaufnahmen und mit zusätzlichen Feldbeobachtungen. Die Testflächen sind randlich mit Pflöcken aus Hartholz markiert.

Die Vegetationsbedeckung ist auf den gleichen Testflächen wie die Solifluktion erfaßt worden. Pflanzensoziologisch handelt es sich um Verbände der alpinen Kalk-Trockenrasen (*Seslerion coeruleae*), und zwar insbesondere um Polsterseggenrasen (*Caricetum firmæ*; siehe dazu die Vegetationskarte von CAMPBELL & TREPP 1968). Für die vorliegende generelle Fragestellung sind 1970 vorerst lediglich die wichtigsten, zumeist polsterartig wachsenden Pflanzen notiert worden. Dazu gehören die Polstersegge (*Carex firma*), Silberwurz (*Dryas octopetala*) und Blaugras (*Sesleria coerulea*).

Glücklicherweise hat sich im nachhinein die fotografische Dokumentation für eine Flächenauswertung als genügend erwiesen. In einer späteren Phase sind dann genaue Lageskizzen erstellt worden. Dazu eignet sich ein 40x80 cm messender Gitterrost mit 10 cm Maschenweite besonders gut. Auf die Testfläche gelegt und je nach Bedarf mit mehrmals verschobener Position, ermöglicht dieses Koordinatengitter eine genaue zeichnerische Erfassung der Vegetationsbedeckung. Nach wenigen Jahren können damit Veränderungen der Vegetationsbedeckung nachgewiesen werden. Die Auswertungen sind z.B. mittels EDV-Quadratraster bzw. als Matrix für verschiedenste Gesichtspunkte durchführbar:

- Allgemein sind Nettoanteil und Nettoänderung der vegetationsbedeckten Flächen im Vergleich zu den solifluidalen Kahlstellen bestimmbar.
- Speziell lassen sich für jede einzelne Polsterfläche Tendenzen des Vorrückens, Ausbreitens oder umgekehrt der Einengung und des Absterbens der vorherrschenden Pflanzenart feststellen.
- Die typische Gewichtung einzelner dominanter Pflanzen kann für jeden Standort ermittelt werden, indem man die ganz oder nur teilweise eingenommenen Rasterflächen auszählt und in % der Gesamtfläche ausdrückt. Für diese momentane Situation resultiert so anhand von Zeigerpflanzen ein bioökologischer Maßstab. Ähnlich funktionieren übrigens analoge Meßmethoden der Bio-

indikation mittels Flechten (vergl. z.B. BRITT 1987).  
 Im größeren Kontext gesehen, sollen die geschilderten Meßmethoden die ökologisch wirksamen Mechanismen auf Solifluktionsstandorten der Mattenstufe zu erfassen helfen. Die gewonnenen Daten haben tatsächlich zu einigen klaren Feststellungen zusammengefaßt werden können, daneben sind aber zum Teil auch erst vorläufige Auswertungen möglich gewesen.

### 3. Resultate

#### 3.1 Pollenanalyse

Aus Arbeiten von WELTEN (1982, S. 26 ff.) sowie FURRER, LEUZINGER & AMMANN (1975, S. 26 ff.) ist be-

kannt, daß Bodenproben aus hochalpinen Lagen vielfach ein einseitiges Pollenspektrum aufweisen. In den meisten Fällen überwiegt *Pinus*, d.h. von Waldföhren, Legföhren und Arven stammender Pollen, oft von relativ viel *Picea* begleitet. Von den Laubbäumen mit guter Pollenproduktion und -flug-eigenschaft äußern sich *Alnus* und *Betula* regelmäßig in den Spektren, recht oft auch *Castanea*. Die Spannweite ihres Auftretens in den 45 bearbeiteten Proben (in % der Pollensumme) wird aus Fig. 2 klar. Nur vereinzelt trifft man dagegen Baumpollen von *Larix*, *Corylus*, *Tilia*, *Fagus*, *Quercus* und *Ulmus*. AMMANN erwähnt in der zitierten Arbeit (1975, S. 21/22) auch noch *Fraxinus* und *Juglans*, WELTEN (1982, Diagr. 6+7) zusätzlich *Abies* und *Salix*. Jedenfalls ist der gesamte Baumpollen im vorliegenden Meßbereich als Fernflugpollen zu taxieren. Von

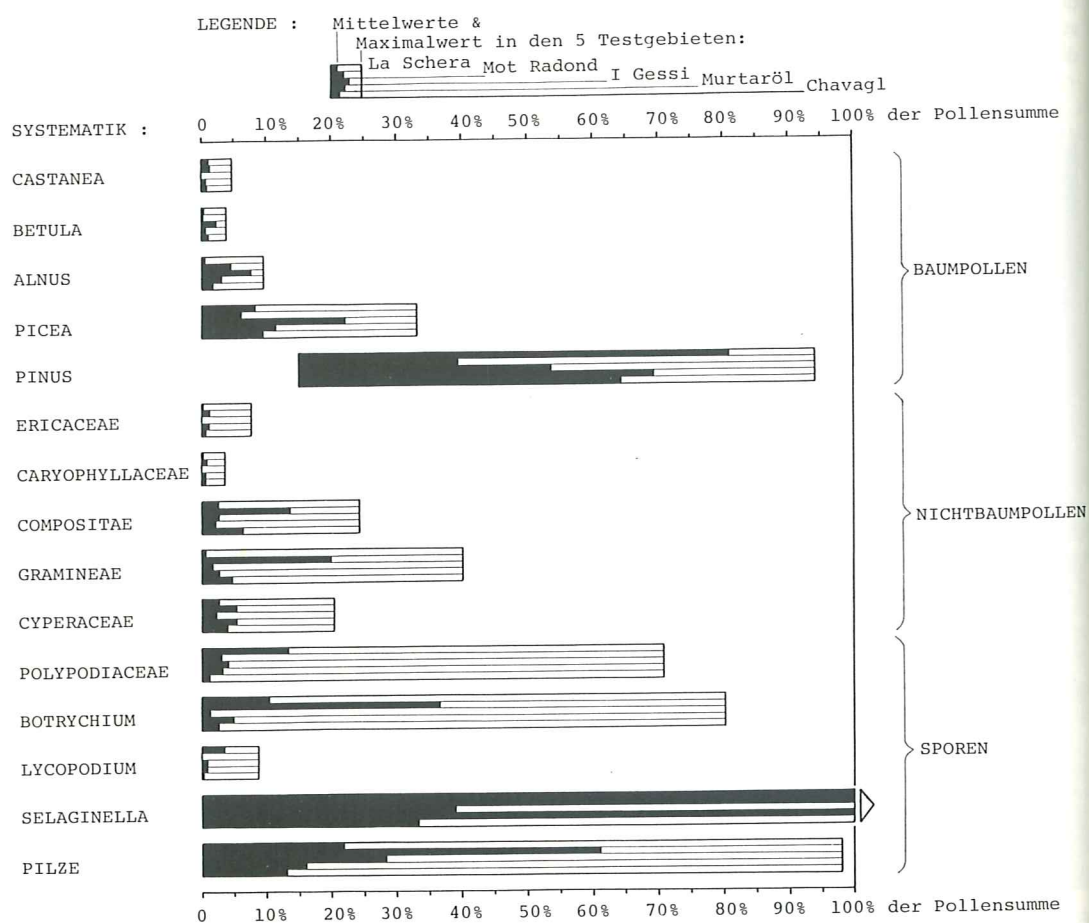


Foto 2 Experiment Nr. 3 auf Murtaröl, links im August 1970 und rechts im August 1988. Die Vegetationspolster haben sich stark ausgeweitet, und zwar besonders auffällig der Bewimperte Steinbrech (*Saxifraga aizoides*) in der oberen Hälfte und der Silberwurz (*Dryas octopetala*) links unten. Im Vergleich dazu sind die Polsterseggen (*Carex firma*) in den 18 Jahren nur wenig angewachsen. Die im Kreis ausgelegten Steine haben sich mehr oder weniger dem Gefälle folgend bis 15 cm nach unten verschoben.

den alpinen Zwerger von Ericaceen, kleinen Anemone, erlangen einzigartig eine Compositen-Pollensumme. In der Pollensumme sind die Caryophyllaceen, Cruciferae, *lianthemum* und *en*, *Plantago*, *Rumex*, *Umbelliferae* zelfunde hinaus *Botrychium* und auch Pilzsporen gelegentlich im ganzen Pollenspektrum recht häufig anzunehmen von *Botrychium*. Im Vergleich dazu ist bekannt, daß sich bei Luftsackpollen züglich ist bekannt, daß bei gelockerten oberflächennahen unterliegenden Folge das Bodenbeanspruchung, besonders man ihren hohen, daß intensive F

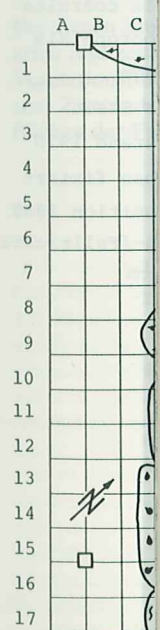


Fig. 3 Experiment Nr. 3 auf Murtaröl, links im August 1970 und rechts im August 1988. Kreis ausgelegt

hochalpinen Lagen  
pektrum aufweisen.  
egt *Pinus*, d.h. von  
ven stammender Pol-  
begleitet. Von den  
produktion und -flug-  
s und *Betula* regel-  
t auch *Castanea*. Die  
den 45 bearbeiteten  
wird aus Fig. 2 klar.  
gen Baumpollen von  
*Quercus* und *Ulmus*.  
ierten Arbeit (1975,  
und *Juglans*, WELTEN  
*Abies* und *Salix*. Je-  
pollen im vorliegen-  
llen zu taxieren. Von

1  
s der Pollensumme

BAUMPOLLEN

NICHTBAUMPOLLEN

SPOREN

s der Pollensumme

etationspolster haben sich  
der oberen Hälfte und der  
n den 18 Jahren nur wenig  
bis 15 cm nach unten ver-

den alpinen Zwergsträuchern finden sich Pollenkör-  
ner von Ericaceen und *Juniperus* in sehr inkonstan-  
ten, kleinen Anteilen. Unter den krautigen Pflanzen  
erlangen einzig Gramineen, Cyperaceen und liguliflo-  
re Compositen gelegentlich Werte von 20 % der  
Pollensumme. Dagegen gehen Campanulaceen, Caryo-  
phyllaceen, Chenopodiaceen, tubuliflore Com-  
positen, Cruciferen, Ephedra, Gentianaceen, *He-  
lianthemum* und andere Rosaceen, Lentibulariace-  
en, *Plantago*, Rubiaceen, *Rumex*, *Saxifraga*, *Thalic-  
trum*, Umbelliferen und *Urtica* meist nicht über Ein-  
zelfunde hinaus. Bei den Sporenpflanzen erscheinen  
*Botrychium* und *Selaginella* oft in enormer Zahl,  
und auch Pilzsporen sind stets vertreten und erlan-  
gen gelegentlich Beträge in der Größenordnung der  
ganzen Pollensumme. Monolete Farnsporen sind  
recht häufig anzutreffen, trilete dagegen mit Aus-  
nahme von *Botrychium* höchst selten.

Im Vergleich der einzelnen Solifluktsformen fällt  
auf, daß sich bei Erdströmen meist besonders viel  
Luftsackpollen (insbes. von *Pinus*) einstellt. Diesbe-  
züglich ist bekannt, daß Erdströme am Munt Cha-  
vagl bei gelockerter Vegetationsdecke einer beacht-  
lichen oberflächlichen Bewegung von 4–5 cm pro  
Jahr unterliegen (GAMPER 1981, S. 385) und demzu-  
folge das Bodenmaterial einer starken mechanischen  
Beanspruchung ausgesetzt ist. Da diese Pollenkör-  
ner besonders verwitterungsresistent sind, kann  
man ihren hohen Anteil dahingehend interpretieren,  
daß intensive Hangsolifluktion den Pollenanteil von

Nadelbäumen selektiv verstärkt bzw. das Fehlen an-  
derer Pollens bewirkt. Standorte mit Erdkuchen  
weisen relativ viel Cyperaceenpollen auf, was wohl  
auf die direkte Auswirkung der lokalen *Carex*-Be-  
stände zurückzuführen ist. Wo hingegen Bünten oder  
andere geschlossene alpine Matten auftreten, sind  
relativ viele Cyperaceen, Gramineen und Comp. li-  
gul. festgestellt worden.

Sucht man eine Korrelation zwischen den unter-  
schiedlichen Palynomorphen und den Höhenlagen  
der Lokalitäten, so muß man in Fig. 2 die nach fünf  
Teststandorten geordneten Ergebnisse analysieren.  
Es ist z. B. bei *Alnus* erkennbar, daß sich dieser aus-  
gesprochene Fernflugpollen auf 2100–2200 m.ü.M.  
weniger niederschlägt als weiter bergwärts. Wo also  
die Vegetationsdecke allgemein noch dichter wächst  
und der Lokalpollen naturgemäß reichlicher als  
sonst anfällt, hält sich die Bedeutung des hergeweh-  
ten Baumpollens entsprechend in Grenzen. Die er-  
faßten Sporen zeigen hierzu ein noch deutlicheres  
Bild. Auch sie äußern sich generell verstärkt in hö-  
heren Lagen, was in diesem Fall aber wohl dem lokal  
gesteigerten Wachstum von Lichtzeigerpflanzen wie  
*Selaginella selaginoides* und *Botrychium lunaria*  
zuzuschreiben ist.

Betrachtet man die Einflüsse der Topographie, so  
fällt auf, daß sich *Botrychium*-Sporen besonders  
häufig in Sattellagen niederschlagen, also an Lokal-  
itäten wie Mot Radond und Chavagl. Die Besonder-  
heiten solcher feuchter Lokallagen, wo viel Boden-

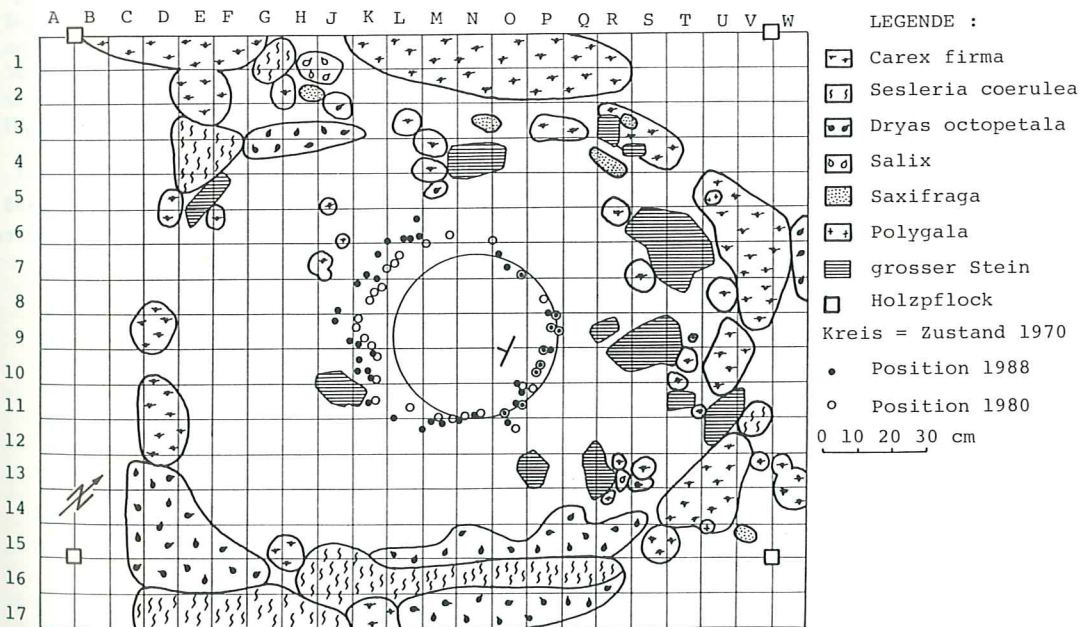


Fig. 3 Experiment 1 am Munt Chavagl (813.600/169.400, 2400 m ü.M.): Vegetation 1988 und Position der Steine 1970 (im Kreis ausgelegt) 1980 und 1988.

wasser und Schneeschmelzwasser hinströmt, werden indirekt auch mit Fig. 2 zum Ausdruck gebracht. Die erwähnte topographische Ähnlichkeit von Mot Radond und Chavagl manifestiert sich pollenanalytisch insbesondere im allgemein hohen Anteil von Gramineen, Cyperaceen und Comp. ligul., in relativ wenig Luftsackpollen und Farnsporen sowie in stets mittleren, aber nie übermäßigen Anteilen von *Alnus* und *Betula*. Die Lokalvegetation prägt hier also entscheidend das Bild. Die ähnlichen Lokalitäten La Schera und Murtaröl, beides terrassendurchsetzte, aber gesamthaft steile Hänge, haben im allgemeinen hohe *Pinus*-Werte und viele Sporen, dagegen eher wenig Gramineen- und Compositenpollen. Beides sind stark windexponierte Westflanken mit auffallend schütterer Lokalvegetation. Bei I Gessi fällt besonders der hohe Anteil von *Alnus*, *Betula* und *Picea* auf, also des hergewehten Pollens relativ feuchtstandörtlicher Gehölze.

### 3.2. Steinkreis-Bewegungsmessungen

Einige überraschende Ergebnisse haben die 1970 auf 2–4° geneigten Feinerdeflächen ausgelegten Kreise aus ortsfremden Steinen gezeigt. Die Testflächen sind zwar bis 1971 allgemein noch intakt geblieben,

jedoch 1976 bereits sehr unterschiedlich stark verändert worden. In den Experimenten 1 und 2 vom Munt Chavagl (813.600/169.400, 2400 m ü.M.) haben sich etliche Steine um 6–8 cm verschoben, und ihre Bewegungen sind vor allem in einem zentralen Streifen stromstrichartig betont. Die Experimente 3–5 von Murtaröl (818.200/168.400, 2400 m) zeigen ein sehr uneinheitliches Bild, wobei offenbar die stärkere Vegetationsbesetzung als am Chavagl entscheidend ins Gewicht fällt. Teilweise hat sie nämlich fast vollständig die Bewegungen von Steinen gebremst, und teilweise haben die Vegetationsinseln sie mit 6–8 cm in nicht erwartete Richtungen gesteuert. Das Experiment 6 von I Gessi (800.150/145.100, 2360 m) zeigt diesen diffusen Mechanismus noch verstärkt. Generell sind nämlich die Solifluktionsbeträge auf bloß 2–4 cm beschränkt, hingegen hat in gewissen Fällen eine offenbar intensive Kammeiswirkung Steine 20–30 cm weit in Schneisen zwischen den einzelnen Vegetationspolstern wegverschoben. Dieses oft breiartige Wegfließen hat in zwei benachbarten Bewegungsexperimenten sogar dazu geführt, daß sie praktisch unkenntlich geworden sind. Experiment 7 von Mot Radond (822.650/170.800, 2340 m) hat demgegenüber die Steine wieder regelhaft hangabwärts versetzt und Beträge von 3–5 cm im zentralen Streifen erzielt.

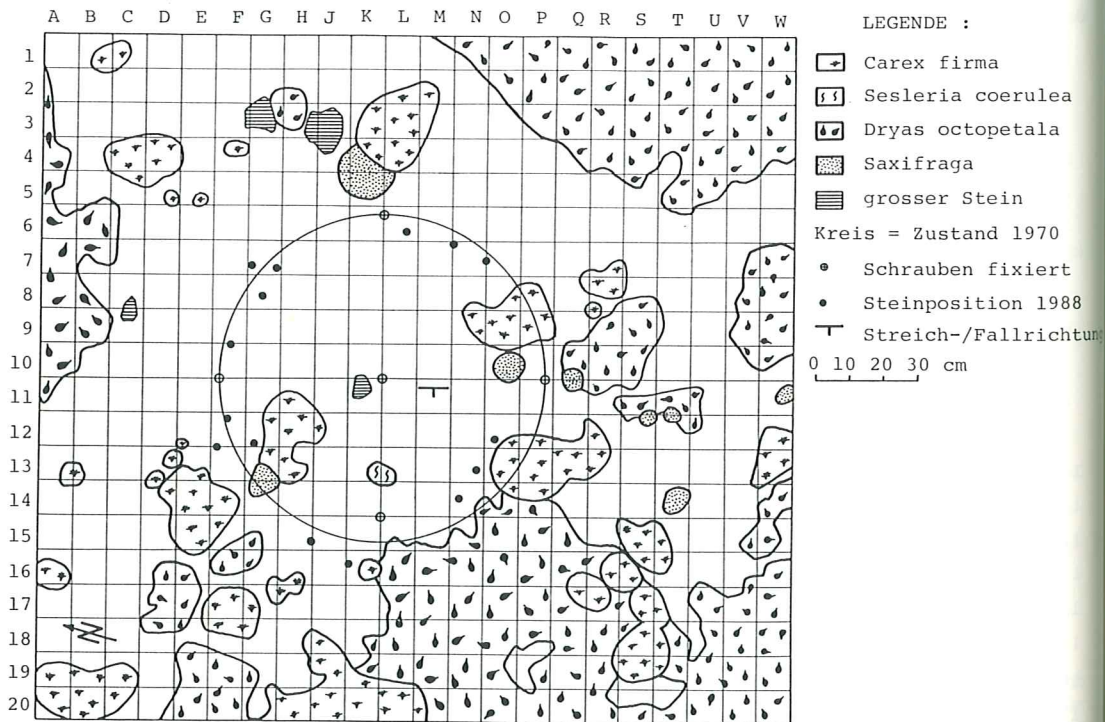


Fig. 4 Experiment 6 bei I Gessi (800.150/145.100, 2360 m): Vegetation 1988 und Position der Steine 1970 (im Kreis ausgelegt), 1980 und 1988.

Die geschilderten Experimenten, mit Lageveränderungen von 0,5 bis 1,5 cm pro Situationen von 1980 in Fig. 3–5 festgelegt, 1980 8–15 cm lange Tal bereits über 20 cm senken sich auch bis 1980 10 cm, in Experimenten mehrere Steine in 1980 erfahren. Experiment 10 cm Bewegung, 1980 Auch Experiment 3 eher geringe Solifluktion und von 10–15 cm wie erwähnt, wahrsolifluktion Vegetation. Bei Experimentmalwerte 1980 um 1988 lediglich noch Experiment 5 sind bis 1980 sen worden, bis 1980 Allgemein erweckt den Eindruck, daß sich in den 80er-Jahren solche Stabilisierung nem veränderten Temperatur Frostwechsellagen oder malien (z.B. Trockensolifluktion) können die Testflächen Spuren von Wildtieren

### 3.3. Vegetationswandel

Bei diesen Messungen werden Arten und zeitliche Veränderungen im Vegetationsbild festgehalten. Dem Zweck der Rekonstruktion der Testflächen der Fig. 3–

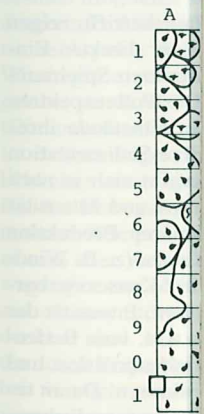


Fig. 5 Experiment 7 bei Mot Radond (822.650/170.800, 2340 m): Vegetation 1980 und 1988.

verschiedlich stark veränderten Experimenten 1 und 2 vom 19.400, 2400 m ü.M.) haben sich um 6–8 cm verschoben, und das alles in einem zentralen Bereich. Die Experimente 3–5 (168.400, 2400 m) zeigen ein Bild, wobei offenbar die Bewegung als am Chavagl entworfen ist. Teilweise hat sie nämlich Bewegungen von Steinen gegen die Vegetationsinseln in erwartete Richtungen gegeben. Experiment 6 von I Gessi (800.150/168.400, 2400 m) zeigt einen diffusen Mechanismus, nämlich die Solifluktion, die beschränkt, hingegen eine offenbar intensive Bewegung von 10–30 cm weit in Schneeflächen Vegetationspolstern oft breiartige Wegfließen. In den Bewegungsexperimenten ist die praktisch unkenntlich. Experiment 7 von Mot Radond (822.650/170.800, 2340 m) hat demgegenüber die Bewegung abwärts versetzt und in zentralen Streifen erzielt.

LEGENDE :

- ☐ Carex firma
- ☐ Sesleria coerulea
- ☐ Dryas octopetala
- ☐ Saxifraga
- ☐ grosser Stein
- Kreis = Zustand 1970
- Schrauben fixiert
- ☐ Steinposition 1988
- T Streich-/Fallrichtung
- 0 10 20 30 cm

Die geschilderten Ergebnisse sind bei späteren Kontrollen, mit Lageveränderung in der Größenordnung von 0,5 bis 1,5 cm pro Jahr bestätigt worden. Die Situationen von 1980 und 1988 sind für drei Beispiele in Fig. 3–5 festgehalten. Für Experiment 1 sind 1980 8–15 cm lange Strecken ausgewiesen, 1988 total bereits über 20 cm. In Experiment 6 (Fig. 4) halten sich auch bis 1988 alle Bewegungsbeträge unter 10 cm, in Experiment 7 (Fig. 5) hingegen haben mehrere Steine in 18 Jahren 15 cm Lageverschiebung erfahren. Experiment 2 belegt übrigens 1980 bis 10 cm Bewegung, 1988 in mehreren Fällen bis 15 cm. Auch Experiment 3, durch Foto 2 dokumentiert, hat eher geringe Solifluktion von 8–10 cm (bis 1980) und von 10–15 cm (1970–1988) ergeben, und dies wie erwähnt, wahrscheinlich wegen der hemmenden Vegetation. Bei Experiment 4 betragen die Maximalwerte 1980 um 12–14 cm, sind dann aber bis 1988 lediglich noch auf 20 cm angewachsen. Bei Experiment 5 sind bis 1980 maximal 13 cm ausgemessen worden, bis 1988 in Extremfällen total 20 cm. Allgemein erwecken die Bewegungsexperimente den Eindruck, daß der anfänglich intensive Schub sich in den 80er-Jahren eher verlangsamt hat. Eine solche Stabilisierungsphase könnte allenfalls auf einem veränderten Temperaturregime (mit weniger Frostwechsellagen) oder auf besonderen Witterungsanomalien (z.B. Trockenheit) beruhen. In Einzelfällen können die Testfelder auch durch Tritte sowie Fraßspuren von Wildtieren beeinträchtigt worden sein.

3.3. Vegetationswandel

Bei diesen Messungen geht es darum, lokale Eigenarten und zeitlich-räumliche Gesetzmäßigkeiten im Vegetationsbild festzustellen. Betrachten wir zu diesem Zweck der Reihe nach nochmals die drei Testflächen der Fig. 3–5.

Der Erdkuchen von Experiment 1 (Fig. 3) weist offensichtlich einen spärlichen Bewuchs auf, der mehrheitlich *Carex firma*-Polstern zufällt. Einzelne größere Flächen werden auch von *Dryas octopetala* und *Sesleria coerulea* dominiert, hingegen treten *Globularia*, *Hieracium*, *Polygala alpestris*, *Salix serpyllifolia* und *Saxifraga caesia* nur sporadisch in Erscheinung. Das mehr oder weniger kreisrunde Vegetationsband begrenzt eine Feinerdefläche, auf welcher sich bloß einige Polsterseggen knapp zu halten vermögen. In den letzten Jahren hat sich diese Konstellation insofern verstärkt, als mehrere *Carex*-Polster deutlich rückläufige Tendenz gezeigt haben oder sogar gänzlich verschwunden sind. Diesen Wandel stellt Fig. 6 exemplarisch für die Polstersegge dar. *Carex* hat zwischen 1970 und 1988 das Areal der zentralen Feinerdefläche praktisch preisgegeben, ist zudem auch randlich dezimiert worden und hat nur an einer Stelle Terrain gewonnen. Beim Erdkuchen von Experiment 6 (Fig. 4) erlangt der Flächenanteil von *Dryas* erstrangige Bedeutung. Von vorrückenden Silberwurzpolstern ist sogar der im südwestlichen Teil ausgelegte Steinkreis beeinträchtigt worden. *Carex* nimmt wiederum recht bedeutende Flächen ein und ist im südlichen Bereich sogar leicht im Vormarsch. Gesamthaft bleibt hier die Vegetation praktisch stationär, sie weist aber eine dichtere Bedeckung als bei Experiment 1 auf. Erdkuchen 7 auf Mot Radond (Fig. 5) sieht der Testfläche 1 ähnlich. *Carex*-Flächen dominieren, stehen in leicht rückläufiger Tendenz, und einzelne ihrer Polster sind bereits tonsurartig geöffnet. Wind- und Kammeiswirkung stehen hier mit im Spiel (FURRER 1954, S. 252 und Abb. 4). Im westlichen Teil wächst *Dryas* recht üppig und rückt sogar leicht vor. Insgesamt gewinnt man den Eindruck, die Lokalitäten Chavagl und Mot Rodond besäßen etliche vegetationsdynamische Gemeinsamkeiten. Bei beiden

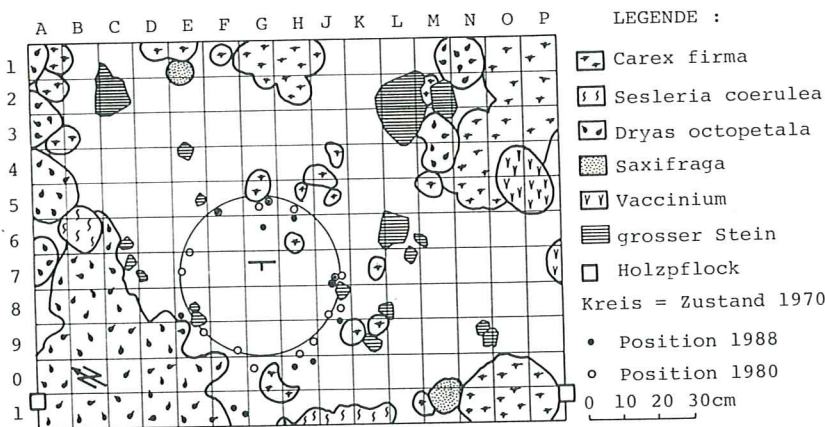


Fig. 5 Experiment 7 bei Mot Radond (822.650/170.800, 2340 m): Vegetation 1988 und Position der Steine 1970 (im Kreis ausgelegt), 1980 und 1988.

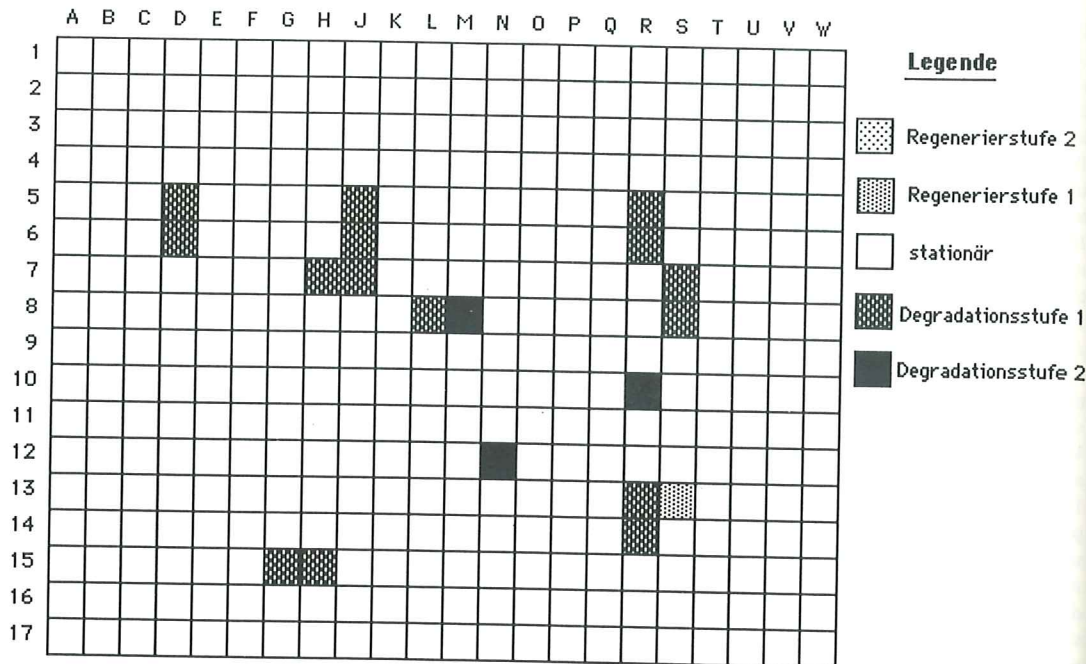


Fig. 6 Quadratstrasterkarte zu den zwischen 1970 und 1988 registrierten Veränderungen der Vegetationsbedeckung mit *Carex firma* auf dem Erdkuchen des Experiments 1 am Munt Chavagl. Im Vergleich mit Fig. 3 ist herauszulesen, daß der Bewuchs sehr locker ist und zudem rückläufige Tendenz aufweist. Zeichnungsprogramm: Peter Jäger, Zürich.

wirkt eine aktive Mikrosolifluktion, die Feinerdeflächen der Erdkuchen öffnen sich ähnlich Kryovulkanen (GRAF 1971, S. 130), und langsam wird die randliche Vegetation zurückgedrängt. Umgekehrt verhält es sich auf Murtaröl, was Foto 2 veranschaulicht. Hier gedeiht die Vegetation relativ üppig, und wahrscheinlich schließt sich die Pflanzendecke langsam. Dies betrifft nicht nur die dominanten Gattungen *Dryas* und *Carex*, sondern besonders auch *Saxifraga aizoides*. Ebenso kann festgehalten werden, daß I Gessi bezüglich der Vegetationsbedeckung indifferent verharret, also in einer stabilen Phase steht. Da unterschiedliche Trends vorliegen, sind allein daraus keine großräumig-klimatischen Veränderungen herleitbar, sondern bloß lokale ökologische Einflüsse.

#### 4. Gesamtbilanz

Die geschilderten Resultate geben zu einigen generellen Überlegungen Anlaß. Es sind mehrere verschieden gelagerte Methoden eingesetzt worden. Dies entspringt der Idee, daß nicht eine einzelne Meßanordnung unbedingt die entscheidenden Mechanismen im Veränderungsprozeß über Jahre hinweg aufdeckt, sondern daß in einem gewissen Zufallsspiel ausgelesene, aber breit gefächerte Tests ein

größeres thematisches Umfeld abzudecken ermöglichen und sich oft auch gegenseitig bestätigen. Nicht nur die Pollenanalysen weisen z. B. Chavagl und Mot Radond als ökologisch sehr ähnlich aus, sondern auch die Bewegungsmessungen und Vegetationsanalysen. Auch insofern ergänzen sich die einzelnen Experimente resultatmäßig oft, weil ein Ausfall im einen Test durch andere Belege wettgemacht werden kann. In diesem Sinne wird für einen Mehrdisziplinen-Ansatz plädiert.

Was die pollenanalytischen Resultate betrifft, zeigen sie deutlich die Vielschichtigkeit der direkten Einflüsse, ebenso aber auch den indirekten Spielraum hinsichtlich der Interpretation. Die Pollenspektren streuen jedenfalls stark, weil die Umstände ihres Eindringens sehr komplex sind. Eine Sedimentation von Pollenkörnern und Sporen ergibt sich je nach Pflanzenverbreitungsgrad (d. h. Art und Intensität der Vegetationsbedeckung), primärer Produktion und Verbreitungsfähigkeit der Pflanze (z. B. Windblütigkeit oder Insektenblütigkeit), Konservierbarkeit von bestimmten Palynomorphen, Intensität der mechanischen Verwitterung (was u. a. vom Bodensubstrat gesteuert wird), der Windexposition und nach anderen lokalklimatischen Faktoren. Damit resultiert eine mehr oder weniger heterogene Erdprobe, deren Unterschiede in den palynologischen Daten vielfältige Ursachen haben können. Das Umfeld,



Fig. 2 Festgestellte Spannbörpräparation: Regula Laco, die weiter oben abgebildet wurde, führt ist. Jeder Balken enthält eine Interpretation siehe Text in K...

in dem die Selektion schließlich deshalb möglichst vollumfänglich unserem Fall hat sich zeitliche Aspekte in bezug auf Windregime, wohl kaum geleitet werden können. Klimamerkmale haben sich La Schera folgerichtig in den Möglichkeiten ausgewirkt. Bei den Bewegungsmessungen mehrere Komponenten in es sich aber vielmehr als Bewegungen nur oberflächlich aus externe Störungen denkbar sind. Mit dem durch den Erdkuchen ist die Arbeit versucht worden, ihn als Bewegungsmechanismus zu Aufwulstung der zentralen Kernresultat jener empiri...

gende

generierstufe 2

generierstufe 1

ationür

gradationsstufe 1

gradationsstufe 2

onsbedeckung mit  
lesen, daß der Be-  
h.

decken ermögli-  
estätigen. Nicht  
B. Chavagl und  
nnlich aus, son-  
nen und Vegeta-  
zen sich die ein-  
g oft, weil ein  
Belege wettge-  
e wird für einen

e betrifft, zeigen  
er direkten Ein-  
ekten Spielraum  
Pollenspektren  
Umstände ihres  
e Sedimentation  
ibt sich je nach  
t und Intensität  
irer Produktion  
ze (z. B. Wind-  
Konservierbar-  
n, Intensität der  
a. vom Boden-  
exposition und  
toren. Damit re-  
erogene Erdpro-  
nologischen Da-  
en. Das Umfeld,

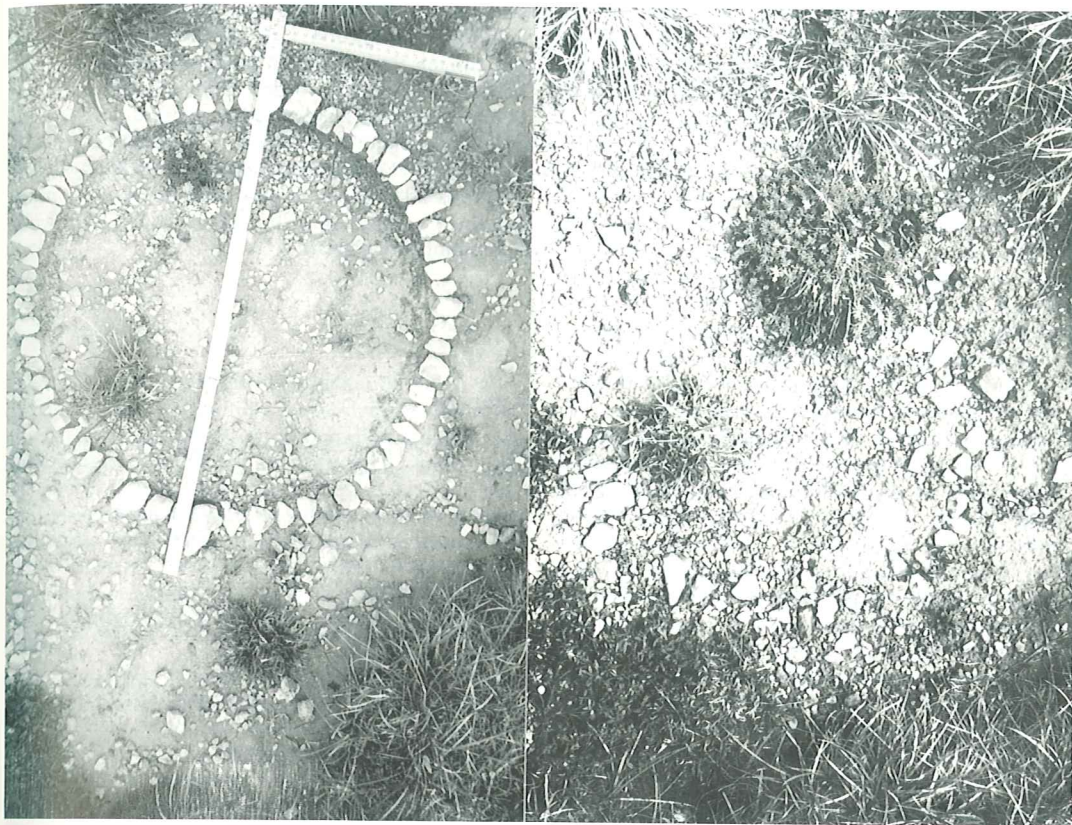


Fig. 2 Festgestellte Spannweiten und Mittelwerte im prozentualen Auftreten der wichtigsten Sporen und Pollenkörner. Laborpräparation: Regula Lacher, Zürich. Die Anordnung der Gattungen und Familien widerspiegelt die Vorstellung darüber, daß weiter oben abgebildete Taxa verstärkt von Fernflug herrühren, dagegen weiter unten eher die Lokalvegetation aufgeführt ist. Jeder Balken enthält außerdem die fünf Testgebiete in der Reihenfolge ihrer mittleren Höhe ü.M. aufgeschlüsselt. Zur Interpretation siehe Text in Kapitel 3.1.

in dem die Selektion schlussendlich stattfindet, muß deshalb möglichst vollumfänglich erfaßt werden. In unserem Fall hat sich zeigen lassen, daß lokalklimatische Aspekte in bezug auf das Feuchtigkeits- und Windregime, wohl kaum aber hinsichtlich Frost hergeleitet werden können. Solche übereinstimmenden Klimamerkmale haben sich z. B. bei Murtaröl und La Schera folgerichtig in pollenanalytischen Ähnlichkeiten ausgewirkt.

Bei den Bewegungsmessungen treten durchaus auch mehrere Komponenten in Erscheinung. Hier erweist es sich aber vielmehr als Problem, daß wir die Bewegungen nur oberflächennah erfassen und durchaus externe Störungen durch Menschen und Tiere denkbar sind. Mit dem Aufgraben von Profilschnitten durch Erdkuchen ist darum in einer früheren Arbeit versucht worden, ihren dreidimensionalen Bewegungsmechanismus zu erfassen. Die kryoturbate Aufwulstung der zentralen Feinerdefläche stellt ein Kernresultat jener empirischen Untersuchung dar

(GRAF 1971, S. 128). In typischen Erdkuchen zwingt sich also siltreiches Material aus tieferen Horizonten im Zentrum gegen oben und außen, fast einer konvektiven Bewegung gleich. Dies hat sich auch in den nun durchgeführten Bewegungsmessungen bestätigt.

Bei den Studien zur Vegetationsbedeckung hat es sich gezeigt, daß die Entwicklung wahrscheinlich jeweils gegen einen lokalen neuen Gleichgewichtszustand (Klimax) hinzielt. Dieser Wandel ist in Fig. 6 überblicksweise erfaßt worden mit den Regenerierstufen 1 (schwach zunehmende Vegetation) und 2 (starkes Aufkommen), umgekehrt mit den Degradationsstufen 1 (Auslichten) und 2 (Absterben) sowie einer Stabilitätsphase. Innerhalb dieser 5 Schritte vollzieht sich wohl eine immanente Anpassung der Pflanzen an die ökologischen Rahmenbedingungen. Sie sind, wie im Text bereits erwähnt, nicht an allen untersuchten Standorten gleich, was zu einem großen Teil auf ihre Besonderheiten in



geomorphologisch-topographischen Bereichen zurückgeführt werden kann. Eine generelle Tendenz scheint sich indessen bei *Carex firma* zu äußern, indem sich diese Polster in den 80er-Jahren deutlich gelichtet haben. Eine Erklärung dafür ergibt sich nach Konsultation von Klimadaten (SCHWEIZERISCHER NATIONALPARK, Jahresberichte 1966 – 1988); einigen feuchten Jahren zwischen 1966 und 1971 sind nämlich 1976 und v. a. 1982 – 1986 Jahre mit besonders trockenem Sommer oder Herbst gefolgt, was offenbar besonders *Carex* geschädigt hat. Anhand von Dauerbeobachtungsflächen hat STÜSSI (1970, S. 378) detailliert aufgezeigt, wie sich im Nationalpark aufgrund von veränderten Situationen der Beweidung oder der lokalklimatischen Gegebenheiten (Dürrephasen, Beschattung) Unterschiede in der Vegetationsdynamik eingestellt haben. Umgekehrt weist er aber auch besonders stabile Dauerzustände im Zeitintervall 1939–1965 nach, wo sich z.B. Rasen mit *Nardus*-Dominanz strukturell kaum verändert hat.

Insgesamt ist ersichtlich geworden, daß nur Langzeitbeobachtungen ein differenziertes Bild über Veränderungen der ökologischen Situation zu gewinnen erlauben oder zumindest die Absicherung kurzfristig erhobener Daten gewährleisten. In diesem Sinne ist die vorliegende Arbeit als ein Versuch zu werten, einige der komplexen Zusammenhänge im Ansatz zu erfassen. Gesamthaft gilt es dabei eigentlich, mit möglichst exakt festgelegten Versuchsanordnungen einen einigermaßen geschlossenen Teilbereich der naturnahen Landschaft, ein Ökotoptyp, zu erfassen. Da es sich bei dieser Methodik um ein exemplarisches Forschen handelt, zielt sie keineswegs darauf hin, daß jede hier vorgestellte Versuchsanordnung unverändert auf andere Höhenstufen übertragen werden könnte. Vielmehr ist sie als konzeptionelles Grundgerüst zu verstehen, und all diesen Meßmethoden liegt eigentlich die Idee zugrunde, daß eine ökologische Erfassung über Jahrzehnte an geeigneten Stellen interessante Hinweise auf allgemeine Umweltveränderungen geben kann.

Noch ein Gedanke zur Wahl der Untersuchungsregion. Für ökologische Langzeitbeobachtungen drängen sich wohl mit Vorteil Testfelder auf, die sich in einem Kampfbereich mehrerer Umweltelemente befinden. Sie reagieren hier sehr sensitiv, pendeln sich also besonders fein ein und machen somit dieses Spannungsfeld äußerlich eher sichtbar bzw. meßbar als anderswo. Als solche labile Kampfbereiche gelten z. B. Küsten, was sich etwa beim Aufbau von Deltas oder bei Wasserstandsänderungen besonders deutlich manifestiert, ebenso Vereisungsgrenzen oder im klimatologischen Bereich die Polarfront. Weitere Beispiele wären die Trockengrenze am Rand von Steppen und Dornsavannen, die polare Waldgrenze und alpin die obere Waldgrenze – oder im untersuchten Fall die alpine Mattenstufe. Dieser letztere ökologische Grenzsaum, die rund 500 m

umfassende Höhenstufe der von Vegetation gehemmten Solifluktion, ist in der vorliegenden Studie mit einigen Experimenten punktuell erfaßt worden. Es ist nachgewiesen worden, daß sich auf ostalpinen Dolomiten und Rauhwacke die quantitative Vegetations- und Schuttbedeckung in meßbaren Größenordnungen wandelt. In Verallgemeinerung dieser Ergebnisse kann man folgern, daß sich hier momentan eine gewisse Anpassung an veränderte Umweltbedingungen vollzieht.

## Literatur

- BRITT, H. (1987) Bioindikation am Beispiel der Flechtenkartierung in Winterthur. Vierteljahresschrift Naturf. Ges. Zürich 132/3:123–134.
- CAMPBELL, E. & TREPP, W. (1968) Vegetationskarte des Schweizerischen Nationalparks mit einer Beschreibung der Pflanzengesellschaften. Ergebn. wiss. Untersuchungen Schweiz. Nationalpark XI/58.
- ELLENBERG, H. (1973, Hrsg.) Ökosystemforschung. I. Einführung. Ziele und Stand der Ökosystemforschung. Springer-Verlag, Berlin: 1–31.
- FLURY, M. (1988) Mikroklimatische und standortkundliche Untersuchungen in der alpinen Stufe des Schweizerischen Nationalparks. Diplomarbeit Univ. Zürich: 117 S.
- FRIES, M. (1985) Bodenkundliche Studien unter einem *Caricetum firmæ* auf dem Munt La Schera im Schweizerischen Nationalpark. Diss. Univ. Zürich: 212 S.
- FURRER, G. (1954) Solifluktionenformen im Schweizerischen Nationalpark. Diss. Univ. Zürich: 74 S.
- FURRER, G. (1965) Die Höhenlage von subnivale Bodenformen. Habil. Univ. Zürich: 78 S.
- FURRER, G., LEUZINGER, H. & AMMANN, K. (1975) Klimaschwankungen während des alpinen Postglazials im Spiegel fossiler Böden. Vierteljahresschrift Naturf. Ges. Zürich 120/1:15–31.
- GAMPER, M. (1981) Heutige Solifluktionsträger von Erdströmen und klimamorphologische Interpretation fossiler Böden. Physische Geographie 4: 89 S.
- GRAF, K. (1971) Beiträge zur Solifluktion in den Bündner Alpen (Schweiz) und in den Anden Perus und Boliviens. Diss. Univ. Zürich: 152 S.
- GRAF, K. (1982) Bewegungsmessungen auf Solifluktionsschutt am Ofenpaß. Physische Geographie 1:139–146.
- GRONER, U. (1985) Palynologie der Karsthöhlensedimente im Hölloch, Zentralschweiz. Diss. Univ. Zürich: 172 S.
- SCHWEIZERISCHER NATIONALPARK: Jahresberichte (1966–1988), Hrsg. Stiftung Schweizerischer Nationalpark, Bern.
- STÜSSI, B. (1970) Vegetationsdynamik in Dauerbeobachtung. Naturbedingte Entwicklung subalpiner Weidewiesen auf Alp La Schera im Schweizerischen Nationalpark während der Reservatsperiode 1939–1965. Ergebn. wiss. Unters. Schweiz. Nationalpark XIII/61:3–385.
- TROLL, C. (1947) Die Formen der Solifluktion und die periglaziale Bodenabtragung. Erdkunde I, 4/6: 162–175.
- WELTEN, M. (1982) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schweizerischen Nationalparks. Ergebn. wiss. Unters. Schweiz. Nationalpark XVI/80:3–43.

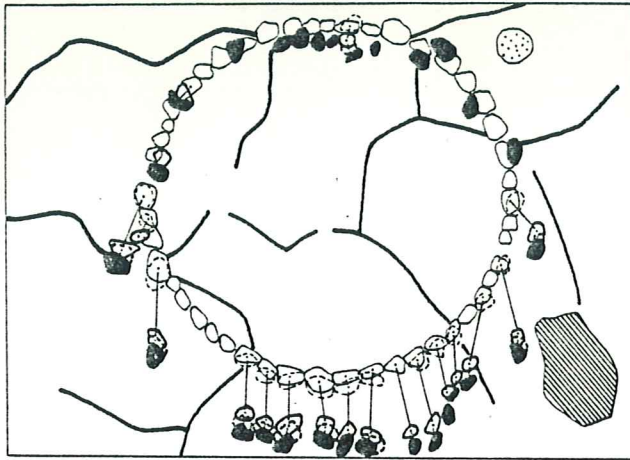
## Moderne Meth Prozesse – dar

### 1. Einleitung

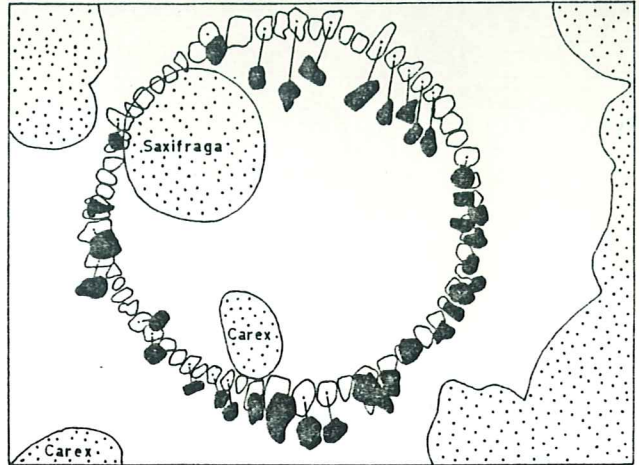
Die modernen Verfahren  
forschung und -verarbeitu  
ausgabe, die in den letzt  
Geographie nachhaltig  
Möglichkeiten der integ  
sualen Vorgängen an der  
lich verbessert. Raum-z  
unter völlig neuen Gesic  
tiven und quantitativen I  
wohl kartographisch als  
tieren.

Der Raum Davos darf  
bestuntersuchten Region  
den, sei es in natur- oder  
sicht. Eine knappe Übe  
landschaftsökologischer  
gegeben, anhand derer d  
dieser methodischen Ve  
legt werden kann. Aufgr  
genden Untersuchungen  
deshalb ganz besonders  
Entwicklung, auch wenn  
Gebiet der politischen C  
Davos», in die Untersuch  
Es soll daher versucht w  
Perspektive heraus, die r  
zur Bearbeitung von k  
Problemstellungen hoher  
Davos darzustellen.

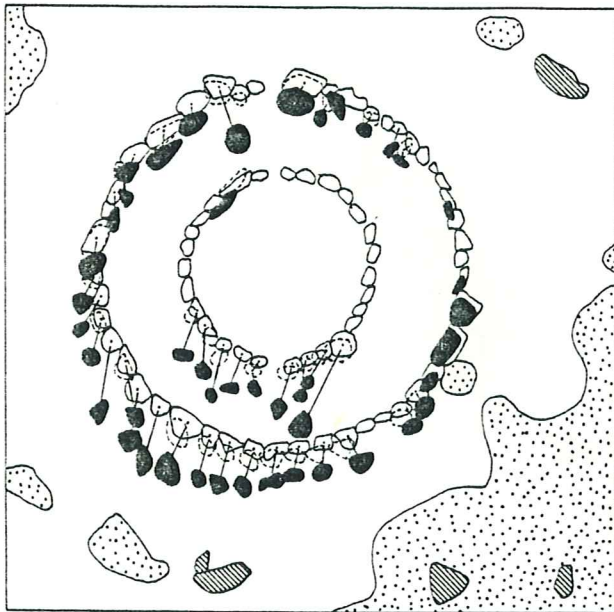
Die ökologischen, ökon  
sozialen Prozesse haben  
nicht nur den urbanen u  
voller Dynamik erfaßt, s  
bieten zu einem markant  
GER, FURRER, MESSERLI, M  
sung und Darstellung di  
einer auf die geographis  
Dynamik ausgerichteter  
räumlichen Kontext der  
rücksichtigt. Von metho  
dies, daß einerseits die V  
chen Veränderungen auf  
dererseits punktuelle M  
genen Informationen all  
müssen, um Aussagen ü



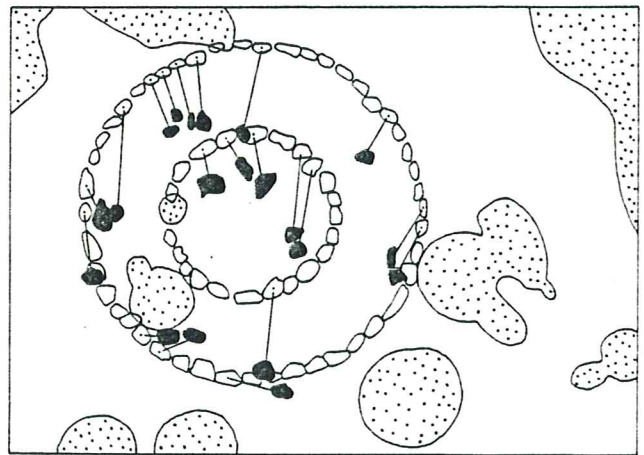
Experiment 1 am Munt Chavagl, 1-2° Gefälle



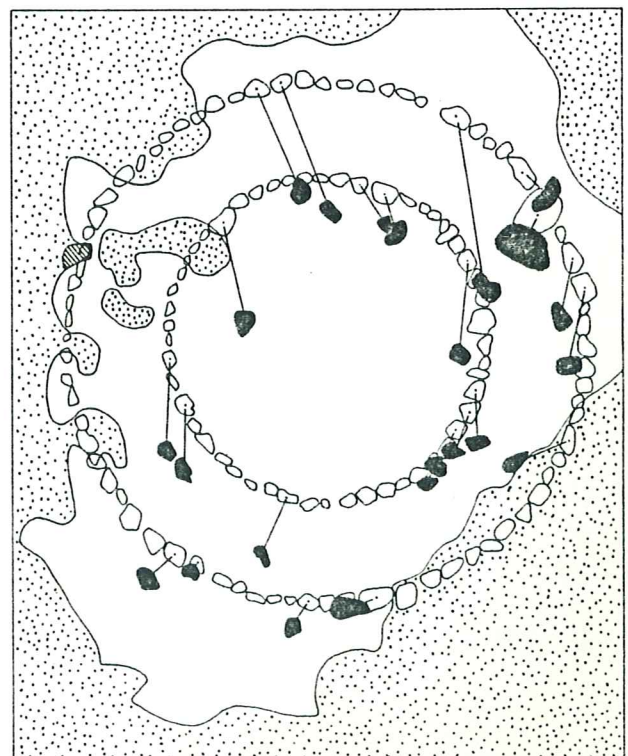
Experiment 3 in Murtaröl, 2°



Experiment 2 am Munt Chavagl, 1-2°



Experiment 4 in Murtaröl, 4°



Experiment 5 in Murtaröl, 4°

- Legende:
- Stein 1970
  - Stein 1971
  - Stein 1976
  - Stein 1977
  - Stein 1980
  - Wanderstrecke
  - Vegetation 1980
  - polygonale Risse 1980
  - ▨ einzelne grosse Steine 1980

Das Gefälle ist gerade gegen unten gerichtet und beträgt 1 - 4°.

0 10 20 30 40 cm