

Die Alpen im „Treibhaus“:  
Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen  
der alpinen und nivalen Vegetation

von

Michael Gottfried, Harald Pauli und Georg Grabherr



Überreicht durch:

Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. München

vormals Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere e.V.

– Auszug aus dem Jahrbuch 1994 –



Sonderdruck aus dem Jahrbuch 1994/59. Jahrgang  
des Vereins zum Schutz der Bergwelt e.V.

vormals Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere e.V.

Praterinsel 5, 80538 München

---

# Die Alpen im „Treibhaus“: Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation

Von *Michael Gottfried, Harald Pauli* und *Georg Grabherr*

Die Erwärmung der Erdatmosphäre als Folge des Treibhauseffekts - im Alpenraum um etwa 1°C seit 1850 - könnte in den nächsten Jahrzehnten rasch zunehmen. Durch den prognostizierten Temperaturanstieg von 2-3°C bis zur nächsten Jahrhundertmitte wird nicht zuletzt die Vegetation des Alpenraumes massive Veränderungen erfahren. Die erwartete Höherverlagerung der Isolinien der Temperatur nach oben entspricht etwa einer Vegetationsstufe. Ein Nachdrängen von Flora und Vegetation muß die Folge sein.

Alpine und nivale Gipfelzonen stellen die ältesten Dauerbeobachtungsflächen im Alpenraum dar. Historische Florenkartierungen der obersten Höhenmeter sind hinsichtlich des Aufnahmebereichs noch heute genau lokalisierbar und können exakt nachvollzogen werden. Durch das vermutete Höherwandern der Vegetation müßten sich Zunahmen der Artenzahlen in den Gipfelbereichen feststellen lassen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 25 Gipfel der Nivalzone in drei Gebieten der österreichischen, schwei-

zerischen und italienischen Alpen kartiert. Unterschiedliche Autoren hatten sie teils um die Jahrhundertwende, teils um 1950 erstbeschrieben.

Meist konnten beträchtliche Zunahmen der Artenzahlen beobachtet werden. Manche Gipfelbereiche beherbergen heute doppelt soviel Arten wie zur Zeit der historischen Aufnahme. Hinsichtlich der Größenordnung des Artenzuzugs können wir drei Gruppen von Bergtypen unterscheiden. Feste Fels- und Flankenpartien bieten einem größeren Kreis von Arten schnellere Anstiegsmöglichkeiten als stark schuttbeeinflusste Bereiche. Artenreiche Gipfel mit hoher Vegetationsdeckung verfügen über weniger potentielle Zuwanderer und zeigen ein geringeres Aufnahmepotential für Neankömmlinge als offene, artenärmere Gipfelzonen, deren Artenpool noch nicht abgesättigt ist. Auch innerhalb der Arten selbst ist verschiedenes Wanderverhalten zu beobachten. Ein Szenario für die möglichen Abläufe des Höherwanderns wird dargestellt, das Gefährdungen für Arten- und Vegetationsvielfalt des Hochgebirges erwarten läßt.

## 1. Einleitung

Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts ist die Durchschnittstemperatur der Erdatmosphäre, von kürzeren Trendumkehrungen abgesehen, im Steigen begriffen (boden et al. 1990). Die meisten Klimatologen sehen diesen Anstieg - etwa 1°C seit 1850 nach Daten österreichischer Klimastationen (Auer et al. 1992) bzw. 0,6°C im weltweiten Durchschnitt - heute durchaus noch im Bereich der natürlichen geoklimatischen Schwankungsbreite. Diese Annahme stützen auch österreichische Zeitreihen, die bis zum Ende des 18. Jhdts. zurückreichen. Damals lag die Durchschnittstemperatur im Alpenraum etwa auf heutigem Niveau (Auer et al. 1992). Die bisher beobachtbare Erwärmung kann also noch nicht zwingend industriellen Emissionen zugeschrieben werden.

Modellrechnungen prognostizieren aber - unter der Annahme unveränderter Ausstoßraten ("business as usual") - die Verdoppelung des vorindustriellen CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre noch vor Mitte des 21. Jahrhunderts (MITCHELL 1989, IPCC 1990). Daraus berechnet sich eine globale Atmosphärenenerwärmung um etwa 3°C, die damit durchaus in der Größenordnung des Wechsels von Eis- zu Warmzeit liegt (HAIDEN & HANTEL 1992). Will man die zu erwartenden Auswirkungen auf ökosystemare Zusammenhänge prognostizieren, kann man also den seit 100 Jahren erfolgten Temperaturanstieg ungeachtet seiner künstlichen oder natürlichen Ursachen als erstes Arbeitsmodell zur Kenntnis nehmen.

Alpine Lebensgemeinschaften werden besonders stark durch Temperaturschwankungen beeinflusst (MARKHAM et al. 1993). KÖRNER (1992) hat versucht, funktionale Mechanismen in diesem Zusammenhang aufzuzeigen. Mit zunehmender Seehöhe werden Wärmeextreme und mehr noch Kälteextreme entscheidend für die Höhenverbreitung der Arten und damit für die Vegetationszusammensetzung. Auch andere Einflußgrößen haben sich in diesem Jahrhundert verändert, so etwa der Eintrag von Luftstickstoff als Folge erhöhter Industrieabgase. Die Nährstoffanreicherung bleibt aber in ihrer Wirksamkeit für alpine Lebensräume hinter dem Temperaturanstieg weit zurück. Stickstoff und andere lösliche Mineralstoffe

sind im Hochgebirge kaum ein Mangelfaktor (KÖRNER 1989).

Betrachtet man somit die Temperatur als entscheidende Variable im zu erwartenden Szenario, so kann man eine einfache Rechnung anstellen. Pro 100 Höhenmeter sinkt die Durchschnittstemperatur um 0,55°C. Bei drei Grad Erwärmung würden sich die Vegetationsgürtel im Gebirge damit um 400 - 600m nach oben verlagern. Alpine Rasen könnten dann weit in die heutige Nivalzone vordringen, ihrerseits bedrängt durch Zwergstrauchheiden und den subalpinen Wald (OZENDA & BOREL 1991, NILSSON & PITT 1991). Die offene Nivalvegetation als oberstes Stockwerk der Stufenabfolge beherbergt Pflanzenarten, die nachrückenden Vertretern tieferer Lagen im Wettbewerb unterliegen. Die Alpengipfel können für sie zu regelrechten Fallen werden, und massive Biodiversitätsverluste könnten die Folge sein (GRABHERR 1990, OZENDA & BOREL 1991).

Die Erfassung bereits heute erkennbarer Verschiebungen im Artengefüge der Alpin- und Nivalzone bildet einen Schwerpunkt der Untersuchungen, die unsere Arbeitsgruppe im Rahmen des „International Geosphere - Biosphere Programme“ (IGBP) durchführt. Die meisten Forschungsaktivitäten im Zusammenhang mit der Klimaveränderung leiden an einem Mangel hinsichtlich historischer Vergleichsdaten, beispielsweise an Beobachtungen von Vegetationsgrenzen, die scharf und hochauflösend genug sind, um bereits erfolgte Änderungen empirisch fassen zu können.

Hochalpengipfel gehören bei den erwarteten Umwälzungen zu den sensibelsten Zonen. Gerade sie bieten aber auch ein ausgezeichnetes Instrument, um Verschiebungen in Artenspektren und Vorkommensgrenzen heute schon zu beobachten. Verglichen mit tieferen Vegetationsstufen wird dieses Ökosystem von relativ wenigen, aber sehr selektiven Einflußgrößen bestimmt, mit der Temperatur als Schlüsselfaktor (KÖRNER 1992). Der direkte menschliche Einfluß ist abseits der touristischen Trampelpfade äußerst gering. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß historisch kartierte Gipfelbereiche durch die eindeutige Position des höchsten Gipfelpunktes auch nach hundert Jahren metergenau wieder aufzufinden sind. Damit stellen sie die

ältesten Dauerbeobachtungsflächen im Alpenraum dar. Existiert der vermutete Trend eines Höhersteigens der Vegetation wirklich, so müssten sich die Artenzahlen in den Gipfelbereichen sukzessive erhöht haben.

## 2. Methodik

### 2.1 Untersuchungsgebiete

Wir sichteten die Literatur nach historischen Florenlisten von Hochalpengipfeln. Aus über 300 solcher Erhebungen wählten wir 130 aus, welche vergleichswürdige Bestandsaufnahmen lieferten. Im Sommer 1992 konnten wir 30 dieser Gipfel besuchen, die sich über drei Gebiete in Österreich, der Schweiz und Italien verteilen. Zusammen verschaffen sie Überblick über einen recht großen Teil der Zentralalpen (Abb.1). Die historischen Grundlagen stammen von Klebelsberg (1913) (K), Reislgl & Pitschmann (1958) (RP), Braun-Blanquet (1913, 1957, 1958) (B), Rübél (1912) (R) und Gams (1936) (G) (Autorenkürzel in Klammer).

Die untersuchten Gipfel und ihre historischen Erstbeschreiber:

Graubünden und Lombardia (Schweiz, Italien):

Piz Kesch 3418m (B), Piz Linard 3411m (B), Piz Julier 3380m (B), Munt Pers 3207m (R), Piz Sesvenna 3204m (B), Piz Trovat 3146m (R) (Angaben aus Braun 1913), Flüela Schwarzhorn 3146m (B), Piz Nuna 3124m (B), Piz Stretta 3104m (B), Piz Plazer 3104m (B), Monte Vago 3059m (B), Piz Forum 3052m (B), Piz Laschadurella 3046m (B), Piz dals Lejs 3042m (B) (Angaben aus Braun 1913), Radüner Rothorn 3022m (B), Gorihorn 2986m (B), Weissfluh 2843m (B)

Ötztaler Alpen (Österreich, Italien):

Similaun 3599m (RP), Fineilspitze 3514m (RP), Hohe Wilde - Südgipfel 3480m (RP), Hinterer Seelenkogel 3470m (RP), Hohe Wilde - Nord 3458m (RP), Hinterer Spiegelkogel 3426m (RP), Liebener Spitze 3399m (RP), Stockkogel 3109m (RP), Festkogel 3038m (RP)

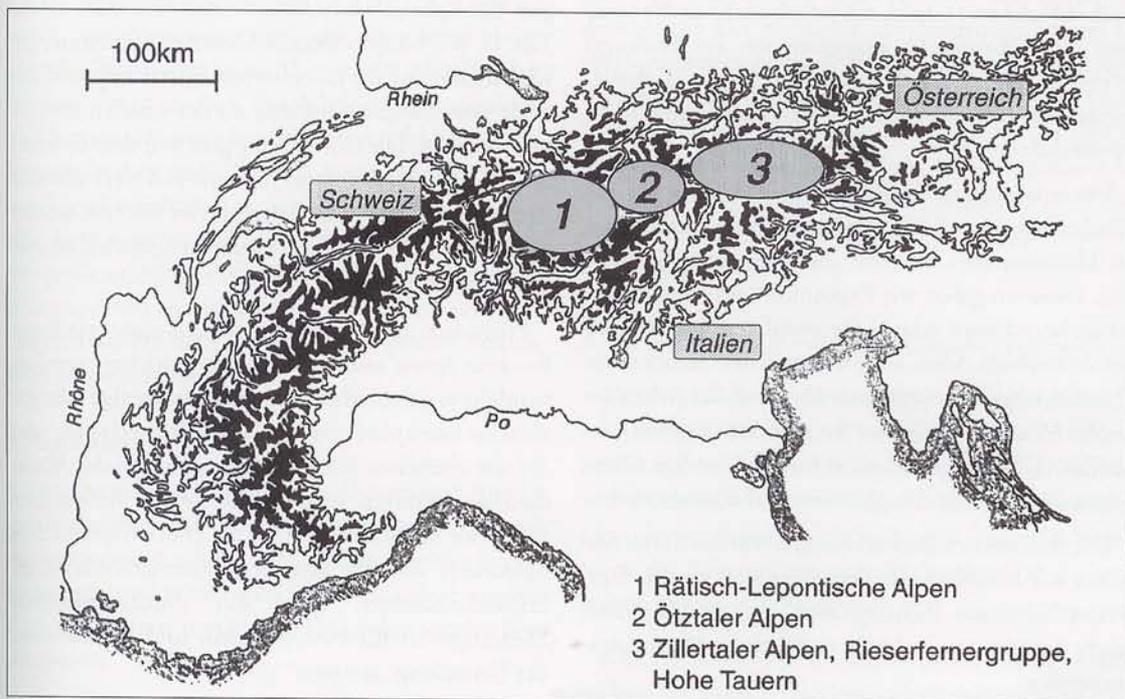


Abb. 1: Das Arbeitsgebiet erstreckt sich von der Ostschweiz und Norditalien über Nord- und Südtirol bis zu den Hohen Tauern in Österreich. Schwerpunkte bilden die Rätisch-Lepontischen Alpen Graubündens (1) und die Ötztaler Alpen (2) in Tirol (Österreich, Italien).

Zillertaler Alpen, Rieserfernergruppe und Hohe Tauern (Österreich, Italien):

Großglockner 3797m (G), Großer Lenkstein 3236m (K), Wilde Kreuzspitze 3135m (K), Napfspitze 2888m (K)

## 2.2 Aufnahme- und Auswertemethodik

Die historischen Florenaufnahmen zeigen unterschiedliche Genauigkeit. Meist umfassen sie Artenlisten der Gefäßpflanzen in den obersten 15-30 Höhenmetern unterhalb des Gipfels, manchmal ergänzt durch Angaben über Vitalität, Exposition und das jeweils höchststeigende Exemplar jeder Spezies.

Wir kartierten den vom Erstautor angegebenen Höhenbereich einschließlich auch durchaus ausgesetzter und schlecht zugänglicher Felszonen flächendeckend nach, soweit ohne Kletterseil erreichbar. Unbegehbare Bereiche wurden mit einem guten Fernglas eingesehen. Wenn in den alten Aufzeichnungen eine genaue Angabe über den Kartierungsbereich fehlte, betrachteten wir das Gebiet zwischen unterstem historischen Fund und Gipfel, nie jedoch mehr als die obersten 30 Höhenmeter, ausgenommen am Festkogel (35m) und am Flüela Schwarzhorn (50m). Tieferliegende Angaben wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Für jede erfaßte Gefäßpflanzenart hielten wir das Höchstvorkommen mindestens in einer Schärfe von 10 Höhenmetern, zumeist aber wesentlich genauer fest. Daneben gaben wir Exposition und Vitalitätszustand, bei schwach oder in der jeweiligen Situation selten vertretenen Arten auch den genauen Standort an. Darüber hinaus wurden nach Abschluß der Arbeit am Gipfel Häufigkeitsangaben für jede Art vergeben (siehe Tab.1). Diese gelten nicht für die jeweilige Obergrenze, sondern für den gesamten Aufnahmebereich.

Die floristischen Beobachtungen wurden durch Angaben zur Morphologie, Petrologie und zu den Substratverhältnissen (Schuttgrößen etc.) des Gipfelbereichs ergänzt, sowie durch ausführliche Photodokumentation.

Alle Gipfel wurden bei gutem Bergwetter erstiegen. Wir nahmen zu zweit (H.Pauli, M.Gottfried) auf, wobei jeder von uns möglichst den ganzen Bereich ab-

suchte. Den Piz Linard besuchten alle drei Autoren. Jeder Gipfel beanspruchte zwischen 2 und 7 Stunden, in der Regel aber 4 Stunden Aufnahmezeit.

In der Auswertung wurde jede Neuaufnahme mit der historischen Erhebung verglichen. Für die Gipfel mit mehreren alten Aufnahmen wurde der verlässlichste Bezug ausgewählt. Für einen identischen Vergleichsbereich wurden die Artenzahlwerte für damals und heute ermittelt.

Unser Bemühen um eine vollständige Erfassung des Artenbestandes läßt erwarten, daß im einen oder anderen Fall eine aktuell getätigte Artbeobachtung dem historischen Botaniker entgangen sein könnte. Dies gilt speziell für jene Arten, von denen nur wenige Exemplare gefunden werden konnten. Für die Summation der gegen den historischen Vergleich neu beobachteten Arten wurde daher ein von ihrer Abundanz abhängiger Gewichtungsfaktor eingeführt. Bestandesbildend, häufig oder zerstreut vorkommende Arten wurden mit 1 berechnet, zerstreut bis seltene und seltene mit 0,5, lokal zerstreut auftretende oder Arten, die nur in einigen Exemplaren vorhanden waren, mit 0,25 (siehe Tab. 1). Wir billigten dem historischen Aufnehmer gewissermaßen zu, die eine oder andere Art aufgrund anderer Forschungsintentionen als der unseren übersehen zu haben. Die Gewichtung geht von dem Extremfall aus, daß der Erstautor nur eine von zwei seltenen Arten verzeichnete oder eine von vier solchen, welche nur in einem oder wenigen Exemplaren im Aufnahmebereich vorkamen.

Historisch angegebene und aktuell nicht wiedergefundene Arten mußten ebenfalls gewichtet werden, handelte es sich hierbei wohl meist um wenige oder gar einzelne Exemplare einer Art, die verloren gingen, oder die wir übersehen haben. Aufgrund fehlender Abundanzbeurteilungen in den historischen Aufnahmen teilten wir ihnen den Wert 0,7 zu. Dies entspricht dem Mittelwert aller im aktuellen Datensatz erhobenen Einzelabundanzen, quasi ein durchschnittlicher Deckungswert für Nivalpflanzen, und kommt etwa der Einstufung „zerstreut“ gleich.

In beiden Aufnahmen vorgefundene Arten wurden nicht gewichtet, steht ihr Auftreten damals wie heute ja zweifelsfrei fest.

Die gewichtete aktuelle Artenzahl errechnet sich aus der historischen Artenzahl plus der gewichteten Anzahl an Neufunden minus der gewichteten Anzahl nicht wiedergefundener Arten.

Aus den ermittelten Artenzahlwerten wurde ein gewichteter Anstiegsindex gAI für jeden Gipfel berechnet, von uns definiert als prozentueller Artenzahlzuwachs pro 10 Jahre, bezogen auf die historische Artenzahl, gewichtet nach Abundanzen.

$$gAI = (gNA - gVA) / (GA + gVA) * 100 / ((ND - HD) * 10)$$

Mit: gAI..gewichteter Anstiegsindex, gNA..gewichtete Zahl neu gefundener Arten, gVA..gewichtete Zahl nicht wiedergefundener Arten, GA..Zahl der in beiden Aufnahmen gefundenen Arten, ND..Jahr der Neuaufnahme, HD..Jahr der historischen Aufnahme. Für ungewichtete Berechnungen ist gAI durch AI, gNA durch NA, gVA durch VA zu ersetzen: AI..ungewichteter Anstiegsindex, NA..ungewichtete Zahl neu gefundener Arten, VA..ungewichtete Zahl nicht wiedergefundener Arten.

Das 10-Jahres-Intervall  $((ND - HD) * 10)$  wurde gewählt, um Aufnahmenvergleiche über stark abweichende Zeitspannen, etwa 40 gegen 80 oder 90 Jahre, vergleichbar zu machen. Es soll keinesfalls implizieren, daß Artenzahlanstiege kontinuierlich erfolgt seien. Die historische Artenzahl  $(GA + VA$  bzw.  $GA + gVA)$  als Bezugsfaktor erzielt zwei weitere Normierungen. Einerseits liegt es nahe, daß auf einem niedrigeren Gipfel mit größerer Ausgangsgarnitur an Arten auch potentiell mehr Arten zuwandern können. Andererseits wird dadurch das Problem der verschieden großen Aufnahmebereiche bereinigt.

### 3. Ergebnisse

Die Darstellung des gesamten Datensatzes sprengt den hier verfügbaren Rahmen. Außerdem soll er durch Auswertungen des Sommers 1993 und weitere Untersuchungen in den nächsten Saisonen ergänzt werden. Generelle Trends und einige Teilaspekte werden hier vorgestellt.

#### 3.1 Artenzahlzuwächse im Vergleich

In die Auswertung gelangten 25 der untersuchten Gipfel. Fünf mußten ausgliedert werden. Die Weiss-

fluh bei Davos wurde durch Militär und Seilbahntourismus als Untersuchungsobjekt zerstört, für die Finneilspitze und den Nordgipfel der Hohen Wilde erschienen die historische Daten zu ungenau, den Großglockner konnten wir wetterbedingt nicht ausreichend absuchen. Der Similaun schließlich zeigte damals wie heute im Gipfelbereich keine Gefäßpflanzen.

Etwa 70% der untersuchten Gipfel ließen eindeutige Artenzahlzuwächse erkennen. In der Graphik der Abb.2 ist für jeden Gipfel der gAI (gewichteter Anstiegsindex) dargestellt. Die angefügte Tabelle listet alle anderen Kennwerte auf. Besonders zu beachten sind die kursiv gesetzten Kolonnen, welche in Absolutwerten die Artenzahlzuwächse zeigen. Hinzuweisen ist auch darauf, daß der gAI-Wert immer kleiner als AI (ungewichtet) ist. Das verdeutlicht, daß gAI ein Mindestmaß ist, welches die tatsächliche Artenanstiegsrate eher noch unterschätzt.

Aus geringfügigen Zahlendifferenzen beim gAI darf nicht ein signifikanter Unterschied zwischen zwei Bergen abgeleitet werden. Als Richtwert betrachtet, ist dieser Index aber im Stande, die untersuchten Berge in drei Gruppen zu teilen. A vereint Gipfel mit hohen Anstiegswerten. Die Artenzahlzunahme beträgt dort um 5% bis 10% pro 10 Jahre, und mehr. Berge der Gruppe B lassen mäßigen Zuwachs um die 4% erkennen. C umfaßt Berge, wo die Artenzahl stagnierte oder abnahm. Für jede dieser drei Gruppen soll ein repräsentatives Beispiel gegeben werden (Tab 1).

#### A Piz Nuna 3124m - mittleres Engadin (Schweiz)

Der Gipfelbereich dieses Berges in Ostgraubünden zeichnet sich durch hohe Standortvielfalt aus. Feste Felsgrate durchsetzen steilere und flachere Flankenbereiche unterschiedlichen Schutt- und Feinerdereichtums. In verschiedenen Expositionen findet die Vegetation der Polsterpflanzenregion Anschluß an die unterhalb beginnende Rasenzone.

BRAUN-BLANQUET kartierte den Gipfelbereich im Jahr 1919 sehr genau und lieferte meterscharfe Angaben für die Artobergrenzen (BRAUN-BLANQUET 1958). Er fand in den obersten 30 Höhenmetern 19 Arten, die wir sämtlich wieder antrafen. Zusätzlich

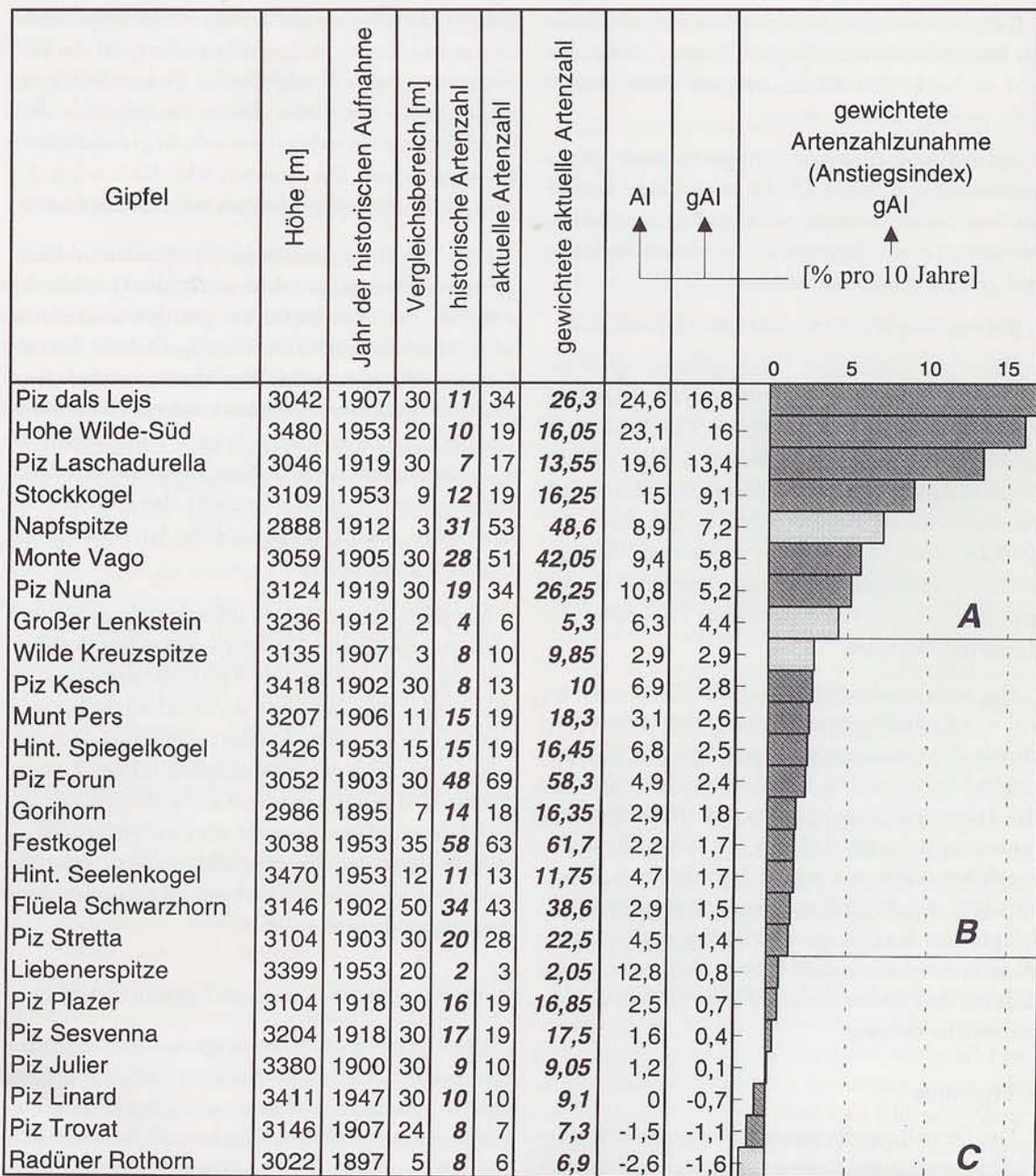


Abb. 2: 25 kartierte Gipfel im Vergleich. AI = Anstiegsindex (ungewichtet) = prozentuale Artenzahlzunahme im Vergleichsbereich pro 10 Jahre, gAI = gewichteter Anstiegsindex. A: Gipfel mit starker Artenzahlzunahme. B: Gipfel mit mäßiger Artenzuwanderung. C: Stagnation oder Artenverlust. Weiteres siehe Text.

Drei repräsentative Gipfel	A			B			C		
	Piz Nuna 3124m			Gorihorn 2986m			Piz Trovat 3146m		
	Vergleichsbereich: 30m			Vergleichsbereich: 7m			Vergleichsbereich: 24m		
	1)	2)	3)	1)	2)	3)	1)	2)	3)
<i>Agrostis rupestris</i>				o	z	1			
<i>Androsace alpina</i>	o	Lz	1						
<i>Artemisia genipi</i>	+	s	0,5						
<i>Avenochloa versicolor</i>	+	s!	0,25						
<i>Cardamine resedifolia</i>	+	z	1	+	z	1	o	Lz	1
<i>Carex curvula</i>	o	h-b	1	o	z	1			
<i>Cerastium uniflorum</i>	o	h	1						
<i>Doronicum clusii</i>	+	s	0,5						
<i>Draba fladnizensis</i>	o	z-h	1	+	s	0,5			
<i>Erigeron uniflorus</i>	o	z	1						
<i>Festuca halleri</i>	o	h-b	1						
<i>Gentiana bavarica var.subacaulis</i>	o	z	1	o	s	1			
<i>Gentiana brachyphylla</i>	+	s	0,5						
<i>Geum reptans</i>	+	s	0,5	+	s	0,5			
<i>Gnaphalium supinum</i>	+	s	0,5						
<i>Leontodon helveticus</i>	+	s	0,5	+) s!		0,25			
<i>Linaria alpina</i>				-		0,7			
<i>Lloydia serotina</i>	+	Lz	0,25						
<i>Luzula spicata</i>	o	z	1	-		0,7			
<i>Minuartia recurva</i>	+	s	0,5						
<i>Minuartia sedoides</i>	o	z,Lh	1	o	z	1	o	Lz	1
<i>Oreochloa disticha</i>	o	z-h	1	o	z	1			
<i>Phyteuma globulariifolium</i>									
<i>ssp.pedemontanum</i>	o	Lh	1	o	h	1			
<i>Poa alpina</i>	+	s	0,5						
<i>Poa laxa</i>	o	h	1	o	h	1	o	h	1
<i>Primula hirsuta</i>	+	s	0,5	+	s	0,5	-		0,7
<i>Ranunculus glacialis</i>	o	z-h	1	o	z	1	o	z	1
<i>Saxifraga bryoides</i>	o	h	1	o	h	1			
<i>Saxifraga exarata</i>	o	h	1	o	z	1	o	s	1
<i>Saxifraga oppositifolia</i>	o	z	1	+	z	1			
<i>Saxifraga seguieri</i>	o	s							
<i>Sedum alpestre</i>	+	s	0,5						
<i>Senecio incanus ssp.carniolicus</i>	+	s,Lz	0,5	o	z	1	o	Lz	1
<i>Silene exscapa</i>	o	s-z							
<i>Tanacetum alpinum</i>	o	z	1	o	z	1	o	Lz	1
<i>Taraxacum cf. alpinum agg.</i>	+	s!	0,25						
aktuelle Artenzahl	34			18			7		
historische Artenzahl	19			14			8		
Gemeinsam gefundene Arten	19			12			7		
Neu gefundene Arten, gewichtet(ungewichtet)	7,25(15)			3,75(6)			0(0)		
Nicht wiedergefundene Arten, gew.(ungew.)	0(0)			1,4(2)			0,7(1)		
Zunahme absolut, gew.(ungew.)	38(79)%			18(29)%			-9(-13)%		
gewichteter (ungew.) Anstiegsindex gAI (AI)	5,2(10,8)% / 10 J.			1,8(2,9)% / 10 J.			-1,1(-1,5)% / 10J.		

Tab.1: Drei Gipfel aus den Gruppen A (starke Artenzahlzunahme), B (mäßige Zunahme) und C (Stagnation oder Artenverlust). Spalte 1): o..historisch und aktuell gefunden, +..Neufund, -..historischer Fund, aktuell nicht wiedergefunden. Spalte 2): Deckungswerte: b..bestandesbildend, h-b..häufig bis bestandesbildend, h..häufig, z-h..zerstreut bis häufig, z..zerstreut (in etlichen bis vielen Exemplaren in weiten Teilen des Aufnahmebereiches anzutreffen), s-z..selten bis zerstreut, s..selten (einige Exemplare), s!..sehr selten (1 bis sehr wenige Exemplare). Vorangestelltes L: lokales Vorkommen an einer oder wenigen Stellen im Aufnahmebereich. Spalte 3): Gewichtungsfaktor (je nach Deckung) für die gewichtete Berechnung der Artenzahl.

konnten wir 15 neue Arten beobachten, die zumeist als "selten" eingestuft wurden.

Die gewichtete Berechnung (ungewichtete Werte in Klammer) ergibt eine absolute Artenzahlzunahme von 38 (79)%, der Anstiegsindex liegt bei 5,2 (10,8)% Artenzuwachs pro 10 Jahre.

Wiewohl fast alle Neufunde selten vertreten sind, könnte BRAUN-BLANQUET (1958) eine gewisse Anzahl dieser vielen Arten nicht übersehen haben, wären sie seinerzeit dort schon aufgetreten. Dazu zählen beispielsweise *Doronicum clusii* oder *Senecio incanus* ssp. *carniolicus* mit ihren auffälligen Blüten. Durch die Abundanzgewichtung für die neuen Arten wird der ungewichtete Anstiegsindex um die Hälfte reduziert und kann nach unserer Meinung somit als gut gesicherter Mindestwert gelten.

In diese Gruppe von Bergen gehört auch der Stockkogel (Ötztaler Alpen - Österreich) mit Neufunden für *Carex curvula* und *Oreochloa disticha*. Beide Arten sind im Begriff, etwa 4hm unter Gipfel Rasengirlanden aufzubauen, die REISIGL & PITSCHMANN (1958) keinesfalls entgangen sein könnten (Abb. 3). Die Hohe Wilde (3480m), wie der vorige Berg in den Ötztaler Alpen gelegen, brachte 10 Neufunde, was einer ungewichteten Zunahme von 90% seit 1953 entspricht (Abb. 2). Darunter sind die bisher höchstgelegenen Funde für *Carex curvula* und *Primula minima* in den Ostalpen zu finden (Abb. 4,5).

Alle Gipfel der Gruppe A zeigen mehr oder minder ähnliche Geländestrukturen. Feste Felsflanken- und Gratbereiche bieten zahlreichen Chasmophyten (Felspaltenpflanzen) Raum. Dazwischen bilden schwach erosionsbelastete, feinerdereiche Partien vielfältige Standorte für Polster- und Rasenpflanzen. Fast immer treten aber auch brüchige Rinnen hinzu, die der Schuttflora Aufstiegsmöglichkeiten geben.

Ein essentieller Faktor für rasches Höherdringen vieler Arten in die Nivalstufe scheint gute „Wegigkeit“ zu sein, das heißt, Verbindungen von der Rasenzone bis in die Gipfelregion, die treppenartig Höhengewinn in kleinen Schritten ermöglichen. Auch dieser Anforderung entsprechen die Gipfel dieser Gruppe. Eine Ausnahme macht der Gipfel des Piz Laschadurella, ein Do-

lomitberg, welcher vorwiegend brüchigen Fels und Regschutt aufweist und dennoch eine hohe Zuwachsrate nachweisen ließ. Daten aus 1993 von weiteren Dolomitgipfeln, die noch ausgewertet werden müssen, werden zur Klärung dieser Frage beitragen.

## B Gorihorn 2986m - Ostgraubünden (Schweiz)

Etwas entlegen nördlich des Flüelapasses, wird dieser Berg wohl nur mäßig besucht. Teilweise feste Felspartien bietend, zeigt er doch größtenteils schuttbelastete Flanken und brüchige Gratbereiche.

Der Gipfel wurde 1895 von SCHIBLER (1898) kartiert, die Daten sind in BRAUN (1913) detaillierter veröffentlicht. Von 14 angegebenen Arten der obersten 7 Höhenmeter konnten 2 nicht wieder, dafür 6 neu gefunden werden.

Die Artenzahlzunahme seit 97 Jahren beträgt 18(29)%, der Anstiegsindex 1,8(2,9)%. Vor allem *Saxifraga oppositifolia* und *Cardamine resedifolia*, die in den obersten Höhenmetern in vielen Exemplaren gefunden wurden, könnten SCHIBLER (1898) nicht entgangen sein.

Für den geringeren Artenzahlzuwachs auf den Gipfeln dieser Gruppe sind unterschiedliche Gründe anzunehmen, die teilweise auch zusammenspielen:

1. Feste Felspartien sind zugunsten von Schuttfeldern und brüchigen Graten weniger stark ausgeprägt, was eine starke Verringerung der besiedelbaren Fläche bedeutet und wesentliche funktionale Typen (alle Schuttmeider) ausgrenzt.

2. Es war bereits zur Zeit der historischen Aufnahme die nahezu vollständige Artengarnitur des *Androsacium alpinae* (alpin-nivale Silikatschuttgesellschaften) oder *Caricion curvulae* (alpine Sauerbodenrasen) vorhanden. Als gutes Beispiel kann hier auch der Festkogel (3038m, Ötztaler Alpen, Österreich) dienen, wo bereits vor 40 Jahren 58 Arten im Gipfelbereich gefunden wurden. 1992 kamen nur 9 hinzu, und 4 konnten wir nicht wiederfinden. Wiewohl die Standortssituation am Festkogel eher Gruppe A entspricht und auch unübersehbare Neufunde getätigt wurden, etwa *Juncus jacquinii* zerstreut und *Luzula alpino-pilosa* zer-

streut, war wohl der Artenpool schon damals mehr oder minder komplett. Der Berg lag bereits innerhalb der breiten Zone des Krummseggenrasens. Möglicherweise werden erst in einiger Zeit, wenn die Vertreter tieferliegender Rasenformationen vorgedrungen sind, in dieser Situation deutlichere Neufunde zu tätigen sein.

3. Die Zahl der Neuankömmlinge ist zwar hoch, jedoch in Relation zu der sehr großen ursprünglichen Artenzahl bleibt der prozentuelle Zuwachs gering. Hierfür stehen die Aufnahmen am Piz Foron (Abb. 6) mit 48 alten, 22 neuen und einer nicht wiedergefundenen Art. Der gewichtete absolute Artenzuwachs liegt hier nur bei 22 %.

### C Piz Trovat 3146m - Berninagebiet (Schweiz)

Landschaftlich unattraktiv, von labilem Schutt und Blockwerk übersät, mit gefährlich brüchigen Graten, steht der Berg im Schatten der ihn umrahmenden Berninariesen (Abb. 9).

In den obersten 24 Höhenmetern fand RÜBEL (1912) acht Arten, wovon wir nur sieben wiederfanden. Auch konnten keine Neufunde verzeichnet werden.

Der Gipfel konnte seinen Artenbestand nicht erweitern, er verlor sogar eine Art. Daraus ergibt sich ein negativer Anstiegsindex von -1,1% (-1,5%). *Primula hirsuta* konnte trotz intensiver Suche nicht gefunden werden, wahrscheinlich verlor sie durch ein Erosionsereignis ihren Standort.

Gruppe C vereint vorwiegend Berge mit extrem erosionsbelasteten, schuttreichen Flanken und Gipfelkuppen aus brüchigem Fels, Regschutt oder Blockwerk, die kaum dauerhaft besiedelbare Flächen aufweisen. Pflanzenvorkommen sind hier oft Zufallsprodukte, Artenzahlen und Deckungen gering, Standorte selten. Ein ausgebrochenes Felsstück kann einem derartigen Gipfelbereich das Gesamtvorkommen einer Art rauben, unbeeindruckt von Erwärmungserscheinungen. Auf manchem dieser wüsten, auch für den Alpinisten unattraktiven Gipfel schienen uns durch die oft radikale Einschränkung des Artenpools auf Regschuttspezialisten keine weiteren Arten vorstellbar.

Eine Sonderrolle innerhalb dieser Gruppe nimmt der Piz Linard (Nordost-Graubünden, Schweiz) ein (Abb. 10). Der mit 3411 m höchste Silvrettagipfel wird seit über 150 Jahren von Alpinbotanikern besucht und darf als der floristisch bestuntersuchte Nivalgipfel der Alpen gelten. Vergleichende Studien über seinen Florenbestand (BRAUN-BLANQUET 1957) lieferten erste Nachweise für ein Höhersteigen der Hochgebirgsvegetation. In etwa 100 Jahren hatte sich der Artenbestand der Gipfelregion sukzessive erhöht (1835: 1, 1864: 3, 1895: 4, 1911: 8 und 1937: 11 Arten; Angaben beziehen sich auf den Bereich 3350-3414m).

In der jüngsten historischen Aufnahme aus 1947 gibt BRAUN-BLANQUET (1957) 10 Arten in den obersten 30 Höhenmetern an. Acht davon konnten wir wiederfinden. *Tanacetum alpinum* gibt er als selten an, *Saxifraga exarata* als Rarität. Diese beiden Arten gingen verloren. Dafür konnten *Luzula spicata* und *Cardamine resedifolia*, jedoch in nur je einem Exemplar, neu verzeichnet werden. Die absolute Artenzahlzunahme beträgt demnach 0, der gAI -0,7 (auf die gemeinsam gefundene Artenzahl werden zwei Neufunde geringster Abundanz - gewichtet 0,25x2 - aufgeschlagen und zwei nicht wiedergefundene Arten - gewichtet 0,7x2 - abgezogen; der gewichtete Zuwachswert wird dadurch negativ). Hypothesen zu dieser Stagnation des Artenzuzugs in den letzten Jahrzehnten werden in einer eigenen Publikation vorgestellt werden.

### 3.2 Verschiebung der Obergrenzen einzelner Arten

Für zehn vor allem von BRAUN-BLANQUET (1913, 1957, 1958) kartierte Gipfel liegen genaue Höhenangaben für die Obergrenzen jeder Art vor. Mit den aktuellen Daten sind daraus Höhenverschiebungen für einzelne Arten zu berechnen. Als erste Richtwerte können Aufstiegsraten (moving rates) bis zu 4 Höhenmeter pro 10 Jahren im Extremfall, durchschnittlich aber unter einem Meter angegeben werden. Mobile Arten wie *Saxifraga oppositifolia* oder die etwas ruderalen *Draba fladnizensis* wandern deutlich schneller als etwa *Poa laxa* oder *Tanacetum alpinum*, welche zu mäßigem, aber durchaus regelmäßigem Anstieg befähigt scheinen. Manche Arten haben schon zur Zeit der historischen Aufnahme fast überall die obersten Höhenmeter der Gipfelzonen besiedelt, kön-

nen folglich nicht höher hinauf und zeigen Anstiegs-  
werte um Null. *Ranunculus glacialis* (Abb. 7) und *Saxifraga bryoides* sind typische Vertreter dieser Arten-  
gruppe. Die Messung und Bewertung der moving rates  
und die darauf aufbauende Abgrenzung von Arten-  
gruppen werden wir in den nächsten Jahren laufend  
ausweiten und erhärten.

#### 4. Diskussion

HOFER (1992) untersuchte 14 Berninagipfel mit  
ähnlicher Fragestellung und kam zu gleichen Trends,  
teilweise aber erheblich höheren Zahlenwerten als un-  
sere Untersuchung. Er verzichtet auf eine Abundanz-  
gewichtung. Auch solche neue Arten, die er in nur ei-  
nem Exemplar fand, gelten als vollwertiger Neufund,  
was uns bedenklich erscheint. Er gibt einen durch-  
schnittlichen Artenzahlanstieg auf den untersuchten  
Gipfeln von 16 auf 28 in den letzten 80 Jahren an. Die-  
se nach unserer Meinung zu vereinheitlichende Dar-  
stellung würde aus unserem Datensatz einen Anstieg  
von 17 auf 24 ergeben, mit ungewichteten Anstiegs-  
werten. Allerdings beschränkte sich HOFER z.l. auf  
ein vergleichsweise kleines Untersuchungsgebiet mit  
Befunden nur eines historischen Autors (RÜBEL  
1912). Seine Aufnahmebereiche decken sich zum Teil  
nur unklar mit den historischen Angaben, wohl notge-  
drungen, denn RÜBEL z.l. vermerkte seine Beobach-  
tungshöhen meist nicht sehr konkret. Mit 14 Kartie-  
rungsbereichen um 30 Höhenmeter (Abb.2), meist  
von BRAUN-BLANQUET (1913, 1957, 1958) zu-  
erst kartiert und in solchem Fall mit genauen Höhen-  
angaben für jede Art versehen, sind uns exaktere Ver-  
gleichswerte zugänglich.

Drei der von HOFER (1992) untersuchten Berge  
haben auch wir besucht. Am Piz dals Lejs fand er 20  
Arten in den obersten 10 Höhenmetern, wir hingegen  
26. Am Munt Pers kartierte er einen größeren Bereich  
als wir. Weil er keine Höhenangaben für Einzelarten  
macht, können wir die Aufnahmen nicht vergleichen.  
Am Piz Trovat, den HOFER z.l. als "ungünstigen  
Schuttgipfel" bezeichnet, fanden wir eine Art weniger  
als RÜBEL (1912), welche auch Hofer z.l. nicht an-  
gibt. Ausschließlich bei HOFER z.l. verzeichnet ist  
*Sibbaldia procumbens* in einem Exemplar sowie *Poa*

*alpina* in mehreren Exemplaren. RÜBEL z.l. nennt  
vom Piz Trovat das Vorkommen einer Varietät von *Poa*  
*laxa* mit hellhäutigen Spelzen (var. *palescens*). Auch  
wir sind der Meinung, daß es sich sowohl bei den hel-  
len als auch den dunklen Rispengras-Exemplaren am  
Piz Trovat ausschließlich um *Poa laxa* handelt.

Unsere Untersuchung bestreicht einen nennenswer-  
ten Teil der Zentralalpen und läßt keinen Zweifel mehr  
am generellen Trend des Höherdringens der Alpin-  
und Nivalflora. Im speziellen läuft dieser Vorgang aber  
sehr differenziert ab. Auf festen, wegigen Fels- und  
Flankenpartien finden wir völlig andere Verhältnisse  
als in schuttbelasteten Zonen (siehe 3.1). Besonders ar-  
tenreiche, dicht besiedelte Gipfel können ihr Arten-  
spektrum oft weniger erweitern, als solche, die mit är-  
merer und lockerer Vegetation noch über keinen gesät-  
tigten Artenpool verfügen. Einem dritten Faktor  
kommt unserer Meinung nach besondere Bedeutung  
zu: Unterschiedliches Propagationsverhalten der ein-  
zelnen Arten muß verschiedene potentielle moving ra-  
tes nach sich ziehen. Die geschätzte Verlagerung der  
Isolinien der Temperatur seit der Jahrhundertwende  
beträgt etwa 8-10m pro 10 Jahre. Nach den vorliegen-  
den Richtwerten (siehe 3.2) dürfte die Vegetation die-  
sem Trend beträchtlich nachhinken. Arten, die zu ra-  
schem Nachdrängen befähigt sind, könnten dadurch  
weniger reaktionsfreudige Sippen in Bedrängnis brin-  
gen. Die Standorte der nach unseren Beobachtungen  
relativ immobilen *Saxifraga exarata* beispielsweise  
könnten durchaus rasch durch die ausbreitungsfreudi-  
ge *Saxifraga oppositifolia* beansprucht werden. Wo  
oberhalb der Vegetationsgrenzen bis zum Gipfelbe-  
reich noch größere besiedelbare Flächen zur Verfügung  
stehen, könnte es durch unterschiedliche moving rates  
zu einer Entmischung des gesamten pflanzensoziologi-  
schen Gefüges kommen. Andererseits geht auf Bergen,  
wo mehrere Rasenarten schon zur gipfelnahen Zone  
drängen, die Nivalflora buchstäblich in die Falle. Etwa  
*Androsace alpina*, die oft windexponierte, aber durch-  
aus Feinmaterial bietende Positionen bevorzugt und  
nur ausnahmsweise in nackte Felsspalten ausweicht,  
könnte massiv betroffen werden (Abb 8).

Die zu erwartende Erwärmung läßt also eine Ge-  
fährdung für den Artenreichtum und das Vegetations-

gefüge der Hochalpenflora möglicherweise schon in naher Zukunft befürchten. Derzeit laufen im Rahmen unseres Projekts Untersuchungen an, um Verteilungsmuster und Ausbreitungsverhalten der Alpin- und Nivalpflanzen, deren Abhängigkeit von Klimafaktoren, Relief und Erosion für eine verbesserte Prognose zu erfassen.

### Schrifttum

- Auer, R., Böhm, I., Dirmhirn, H., Mohnl, E., Putz, E., Rudel, E. & Skoda, G. (1992): 3. Klimareihen: Analyse und Interpretation von Klimadaten. In: Bestandsaufnahme Anthropogene Klimaänderungen: Mögliche Auswirkungen für Österreich - mögliche Maßnahmen in Österreich. Österr. Akademie Wiss. et al. 1992.
- Boden, A.T., Kanciruk, P. & Farrel, M.P. (1990): TRENDS 90. A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analyses Center, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Braun, J. (1913): Die Vegetationsverhältnisse in der Schneestufe der Rätisch-Lepontischen Alpen. Neue Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges., Bd. 48: 156-307.
- Braun-Blanquet, J. (1957): Ein Jahrhundert Florenzwandel am Piz Linard (3414m). Bull. Jard. Bot., Bruxelles, Vol. Jubil. W. Robyns: 221-232.
- Braun-Blanquet, J. (1958): Über die obersten Grenzen pflanzlichen Lebens im Gipfelbereich des Schweizerischen Nationalparks. Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Ges. z. wissenschaft. Erforschung des Nationalparks. Bd. 6: 119-142.
- Gams, H. (1936): Die Vegetation des Großglocknergebietes. Beitr. Pflanzengeogr. Karte Österr. - Abh. d. Zool.-Bot. Ges., Wien, Bd. 16, Heft 2.
- Grabherr, G. (1990): Inhalte eines Arten- und Biotop-schutzkonzeptes im Alpenraum. In: Arten- und Biotop-schutz. Ber. über d. Symposium d. ARGE-ALP, Garmisch-Partenkirchen, März 1990.
- Haiden, T. & Hantel, M. (1992): 2. Klimamodelle: Mögliche Aussagen für Österreich. In: Bestandsaufnahme Anthropogene Klimaänderungen: Mögliche Auswirkungen für Österreich - mögliche Maßnahmen in Österreich. Österr. Akademie Wiss. et al. 1992.
- Hofer, H.R. (1992): Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Heft 58: 39-54.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (1990): Climate Change - The IPCC Scientific Assessment. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Klebelsberg, R.v. (1913): Das Vordringen der Hochgebirgsvegetation in den Tiroler Alpen. Österr. Bot. Zeitschr. Jg. 1913: 177-186, 241-254.
- Körner, Ch. (1989): The nutritional status of plants from high altitudes. *Oecologia* (1989) 81 (Springer): 379-391.
- Körner, Ch. (1992): Response of Alpine Vegetation to Global Climate Change. *Catena Supplement* 22, Cremlingen 1992: 85-96.
- Markham, S., Dudley, N. & Stolton, S. (1993): Some like it hot. WWF International, Gland. 144 S.
- Mitchell, J.F.B. (1989): The "greenhouse" effect and climate change. *Rev. Geophys.* 27: 115-139.
- Nilsson, S. & Pitt, D. (1991): Mountain World in Danger. Earthscan Publicat. Limited, London, et al., 1991. 196 S.
- Ozenda, P. & Borel, J.L. (1991): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen in den Alpen. CIPRA - Kleine Schriften 8/91. 71 S.
- Reisigl, H. & Pitschmann, H. (1958): Obere Grenzen von Flora und Vegetation in der Nivalstufe der zentralen Ötztaler Alpen (Tirol). *Vegetatio*, Vol. VIII, 1958: 93-129.
- Rübel, E. (1912): Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. *Bot. Jahrb.* Bd. 47/1-4.
- Schibler, W. (1898): Über die nivale Flora der Landschaft Davos, *Jahrb. des Schweiz. Alpenclubs*, Bern, Bd. 23: 262-291.

### Anschrift der Verfasser:

Mag. Michael GOTTFRIED

Mag. Harald PAULI

o.Univ.Prof. Mag. Dr. Georg GRABHERR

alle:

Universität WIEN, Institut f. Pflanzenphysiologie,  
Abt. f. Vegetationsökologie und Naturschutz-  
forschung

Althanstraße 14, 1091 Wien, Postfach 285



Abb. 3: Die Krummsegge (*Carex curvula*) bildet am Stockkogel (3109 m, Öztaler Alpen, Österreich) 4 bis 6 Höhenmeter unter dem Gipfel dichte Rasengirlanden. 1953 konnte diese Art hier noch nicht beobachtet werden. 23.7.1992, 3103-3105 m.



Abb. 4: Hohe Wilde (3480 m, Öztaler Alpen, Österreich, Italien). Südexpositionen in der SE-Flanke, 15 Höhenmeter unter dem Gipfel. Auf feinerdereichen, gut gestuften Felsbändern kann die Vegetation wie auf einer Leiter rasch höhersteigen. 27.8.1992, 3465 m.



Abb. 5: *Carex curvula*, 12 m unter dem Gipfel der Hohen Wilde (3480 m), 1953 hier noch nicht beobachtet, zugleich Höchsthfund für die Ostalpen. 27.8.1992, 3468 m.



Abb. 6: Vordergrund: Gipfelbereich des Piz Forun (3052 m, Graubünden, Schweiz). Schon 1903 beherbergte er 48 Gefäßpflanzenarten. Heute sind es 69. Hintergrund: Piz Kesch (3418 m), 22.8.1992.



Abb. 7: Gletscher-Hahnenfuß (*Ranunculus glacialis*) am Piz Stretta (3104 m, Poschiavo, Schweiz, Italien). Diese typische Nivalpflanze war auch vor 90 Jahren schon im Gipfelbereich anzutreffen. 2.8.1992.



Abb. 8: Der Alpen-Mannsschild (*Androsace alpina*) hat sein Verbreitungszentrum in nivalen Schutt- und Felsbereichen. Durch nachrückende Arten aus der Rasenzone könnte er gefährdet werden. Piz dals Lejs (3042 m, Poschiavo, Schweiz, Italien). 1.8.1992.