

Harald Pauli

[Deutsch]

Ökologische Verbreitungsmuster von Gefäßpflanzen und ihre klimainduzierten Veränderungen im alpin-nivalen Ökoton in den Ostalpen

Wien, 1998

Teil 1: Gipfelstudie

In den Sommern 1992 und 1993 wurden, gemeinsam mit M. Gottfried unter Projektleitung von G. Grabherr, an 30 ausgewählten subnivalen bis nivalen Ostalpengipfeln (Rätisch-Lepontische Alpen, Ötztaler Alpen, Zillertaler Alpen und Rieserfernergruppe), für die historische Vergleichsdaten existieren, vollständige Gefäßpflanzenflorulae der obersten Gipfelkuppen erstellt. Für den Vergleich der neu erhobenen mit den alten Artenlisten (aus dem Zeitraum zwischen 1895 bis 1953) führten wir für die neu gefundenen Arten eine Gewichtung nach ihrer Häufigkeit ein. Zerstreut-selten oder selten gefundene Arten wurde der Wert 0,5 und sehr selten gefundenen Arten der Wert von nur 0,25 beigemessen. Mit dieser Gewichtung wurde einem möglichen Übersehen von seltenen Arten durch den Erstaufnehmer Rechnung getragen. Der Vergleich der gewichteten Artenzahlen zeigte einen deutlichen Anstieg auf 21 Gipfel – 11 davon um über 35% mit einem Maximum von 143%. Die übrigen 9 Berge zeigten eine Stagnation der Artenzahl oder einen leichten Rückgang. Mit diesem Ergebnis gelang ein empirischer Nachweis für das Höhersteigen der Gefäßpflanzen für ein großes Gebiet der Ostalpen.

Der deutliche Trend des Höherrückens der Hochgebirgspflanzen kann nicht alleine durch eine natürliche postglaziale Sukzession erklärt werden. Dafür muss der Zeitraum von nur 39 bis 97 Jahren als zu kurz angenommen werden. Ebenso unwahrscheinlich liegt die primäre Ursache in einer Änderung der Wilddichte. Ein Diasporetransport durch *Capra ibex*, der erst etwa um die Mitte 20. Jahrhunderts in vielen Alpenteilen wieder eingebürgert war (GIACOMETTI 1991), erscheint zu wenig effektiv für den massiven Artenzuwachs aus einem relativ breiten Artenspektrum. Zudem konnten am Silvrettagipfel Piz Linard, der bereits seit 1835 beobachtet wird, schon vor der Wiedereinbürgerung des Steinbocks deutliche Artenzahlzuwächse beobachtet werden. Nahezu völlig auszuschließen ist der zunehmende Hochalpentourismus – es zeigte sich keine positive Abhängigkeit zwischen Artenanzahlanstieg und Besucherhäufigkeit. In Einzelfällen, wie z.B. am stark frequentierten Gipfel des Piz Julier, könnte jedoch die Stagnation der Artenzahl auf den häufigen Betritt zurückzuführen sein.

Der wesentliche Faktor für die Neubesiedlung der an den Kältgrenzen höheren pflanzlichen Lebens liegenden Gipfelbereiche ist möglicherweise bereits der rapide Temperaturanstieg seit dem 19. Jahrhundert. Im österreichischen Alpenraum liegt die mittlere jährliche Lufttemperatur heute um 1-2° höher als um die Mitte des 19. Jahrhunderts (AUER et al. 1996).

In der vorliegenden Dissertation sind fünf Publikation zur Gipfelstudie eingebunden (Teil 1a-e), die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

1a) GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (1994): *Climate effects on mountain plants*. – *Nature*, 369, p. 448.

Diese knappe aber an prominenter Stelle veröffentlichte Darstellung enthält die wesentlichen Ergebnisse der Gipfelstudie, gezeigt anhand der 25 Gipfeluntersuchungen des ersten Erhebungsjahres (1992). Neben dem Anstieg der gewichteten Artenzahl sind Richtwerte für die Anstiegsgeschwindigkeit von häufigen Arten dargestellt. Diese "moving rates" stammen von jenen 12 Gipfeln, für die sowohl in der historischen als auch in der aktuellen Aufnahme metergenaue Angaben der Höchsthöhe jeder Art vorlagen. Abschließend wird auf mögliche Artenverluste bei anhaltendem Trend des Höhersteigens hingewiesen.

1b) GOTTFRIED, M., PAULI, H. & GRABHERR, G. (1994): *Die Alpen im "Treibhaus": Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation*. – *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*, 59, pp. 13-27.

Neben einer eingehenden Darstellung der Erhebungs- und Auswertemethodik (Gewichtung der Arten, gewichteter Anstiegsindex zum Vergleich der Gipfel mit unterschiedlichen Intervallen zwischen alter und neuer Aufnahme) sind die Ergebnisse für die 25 Gipfel aus dem Erhebungsjahr 1992 ausführlich dargestellt. Drei Gipfelgruppen mit unterschiedlichen Anstiegswerten werden anhand ausgewählter Beispiele und bezüglich der Standortssituation diskutiert. Weiters wird die Sonderrolle des Piz Linard aufgezeigt, der seit 1835 bereits sieben mal untersucht wurde. Auf diesem Berg stieg die Artenzahl sukzessive von einer auf 11 Arten an. Die neue Aufnahme im Jahr 1992 zeigte jedoch eine Stagnation der Artenzahl. Ferner werden mögliche Szenarien über Veränderungen von Vegetationsmustern und über Artenverluste bei anhaltender Erwärmung diskutiert.

1c) GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., GRUBER, A. & PAULI, H. (1995): *Patterns and current changes in alpine plant diversity*. – In: F. S. CHAPIN III & CH. KÖRNER (eds.), *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences*. *Ecological Studies*, 113, pp. 167-181. – Springer-Verlag, Berlin.

In dieser Publikation sind die Ergebnisse zu den 25 Gipfeluntersuchungen von 1992 in einem breiten Kontext über Biodiversitätsmuster entlang des altitudinalen Gradienten in Hochgebirgen eingebettet. Die Obergrenzen pflanzlichen Lebens in den wichtigsten Gebirgen der Erde sind angeführt. Die Abnahme der Artenzahl mit zunehmender Höhe, mit Diskontinuitäten bei bestimmten Höhenlagen, wird diskutiert. Die Diversität innerhalb ausgewählter Pflanzengesellschaften in Gebirgssystemen verschiedener Großklimate ist vergleichend dargestellt. Richtwerte für Anstiegswerte werden für die häufigsten Arten angegeben und in Bezug auf potentiell mögliche Anstiegswerte diskutiert. Weiters wird eingehend auf mögliche Effekte des Klimawandels auf die Biodiversität in Hochgebirgen eingegangen.

1d) PAULI, H., GOTTFRIED, M. & GRABHERR, G. (1996): *Effects of climate change on mountain ecosystems - upward shifting of alpine plants.* – *World Resource Review (Woodridge, Illinois)*, 8/3, pp. 382-390.

Hier sind die Ergebnisse aller 30 untersuchten Gipfel enthalten. Die Erhebungs- und Auswertemethodik wird beschrieben. Die Gipfel sind in drei Anstiegsgruppen differenziert, wobei besonders die Geomorphologie und die Struktur von Mikrohabitaten für die Neubesiedlung maßgeblich zu sein scheint. So zeigen die Berge der Gruppe mit hohen Anstiegswerten überwiegend feste Grate mit zahlreichen dauerhaften Kleinstandorten in Felsspalten. Weiters finden sich oft Korridore vom Gipfel hinab zur mehr oder weniger geschlossenen alpinen Rasenvegetation. Die Gipfel mit stagnierender oder leicht rückgängiger Artenzahl sind hingegen reich an Schuttfächen mit instabilen Standorten. Die dritte Gruppe mit mittlerem Artenzahlenanstieg nimmt auch bezüglich der Standortssituation eine Mittelstellung ein. Das Ausgangsgestein scheint jedoch von geringer Bedeutung für die Neubesiedlung zu sein (Vergleich von Karbonat- und Silikatgipfeln). Weiters werden die Stagnation der Artenzahl auf einzelnen Gipfeln (z.B. am Piz Linard) und die Anstiegsraten der Arten diskutiert.

1e) PAULI, H., GOTTFRIED, M., & GRABHERR, G. (1997): *Auswirkungen der globalen Klimaerwärmung auf die Nivalvegetation der Alpen.* – *Bericht über die 2. Pflanzensoziologische Tagung "Pflanzengesellschaften im Alpenraum und ihre Bedeutung für die Bewirtschaftung"*, BAL Gumpenstein, pp. 35-39.

Nach einer einleitenden Ausführung über die Bedeutung der Vegetation der Hochalpen als Indikator des Klimawandels sind Methodik und Ergebnisse der Gipfelstudie mit allen 30 Gipfeln dargestellt. Insbesondere werden die Arten mit den häufigsten Neufunden diskutiert.

Teil 2: Transektstudie am Schrankogel (Stubai Alpen/Tirol)

Die aufsehenerregenden Ergebnisse der Gipfelstudie zeigten, daß bereits von einer Reaktion der Hochgebirgsflora auf den Temperaturanstieg seit dem 19. Jahrhundert auszugehen ist. Diese Ergebnisse gaben Anlaß für eine umfangreiche Transektstudie an einem ausgewählten "Modellberg", dem Schrankogel in den Stubai Alpen. Etwa 1000 Flächen von 1 x 1 m Größe, angeordnet entlang von maximal 30 x 3 m großen Transekten, wurden im alpin-nivalen Ökoton, zwischen 2900 und 3450 m Seehöhe, als Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Diese Flächen dienen einem Langzeit-Monitoring von klimabedingten Veränderungen der Vegetation.

Teil 2 der vorliegenden Dissertation umfaßt die vegetationsökologische Analyse der Daten aus der Ersterhebung dieser Monitoringflächen. Diese Arbeit ist hier in Form des folgenden Manuskripts eingebunden, das im Juli 1998 bei Phytocoenologia eingereicht wurde:

PAULI, H., GOTTFRIED, M. & GRABHERR, G.: *Vascular plant-distribution patterns at the low-temperature limits of plant life – the alpine-nival ecotone of Mount Schrankogel (Tyrol, Austria)*, pp. 1-28.

In Anbetracht des im Vergleich zur subalpinen und alpinen Vegetation der Alpen geringen Kenntnisstandes über ökologische Verbreitungsmuster an den Obergrenzen pflanzlichen Lebens erschien die detaillierte Erfassung der Vegetation über der alpinen Rasenzone als essentielle Grundlage für das Studium von Effekten des Klimawandels im kältelimitierten Lebensraum der Alpen.

Die Arbeit zeigt die Bandbreite subnivaler und nivaler Gefäßpflanzen-Assemblierungen eines typischen nivalen Zentralalpenbergs, der überwiegend von einer charakteristisch silikatischen Vegetation besiedelt wird. Anhand von 965 standardisierten 1 x 1 m-Quadraten konnte ein Großteil der typischen Gefäßpflanzenhabitats erfasst werden, wobei die häufigsten Situationen am besten repräsentiert sind. Der Datensatz ergibt damit – im Gegensatz zu früheren Arbeiten aus dieser Zone – eine quantitative Abschätzung über die relative Häufigkeit der unterschiedenen Pflanzen-Assemblierungen und der einzelnen Arten.

Weiters werden erstmals – auf Basis der kleinflächigen Erhebungs-Quadrate mit standardisierter Flächengröße – die typischen Standortssituationen der Arten vergleichend dargestellt.

Es zeigten sich gut differenzierte ökologische Verbreitungsmuster. Die dominierenden Standortscharakteristika "anstehender Fels" und besonders "Schutt" erwiesen sich als gute Indikatoren für die Differenzierung von Standortpräferenzen diagnostischer Arten. Die Arten der alpinen Rasen und der offenen subnivalen Pionierrasen (*Caricion curvulae*) tendieren zu stabilen, felsigen Standorten und vermeiden schuttige Bereiche (besonders die bestandesbildenden horstwüchsigen Graminoiden). Die Charakterarten des *Androsacion alpinae* zeigen eine stärkere Präferenz für schuttige Standorte und die im *Oxyrietum digynae* zentrierten Arten erwiesen sich als ausgesprochene Schuttarten.

Die Präsenz von anstehendem Fels oder von Schutt kann allgemein auf zwei wichtige Ökofaktoren dieser Zone bezogen werden: auf Disturbance durch Steinschlag und Substratbewegungen und auf die Dauer der Schneebedeckung. Schutt ist in Senken und Rinnen häufiger, wo sich der Schnee länger hält und wo der Druck durch Steinschlag etc. stärker ist. Gegensätzliches gilt generell für Standorte mit anstehendem Fels.

Mögliche klimainduzierte Vegetationsveränderungen werden in hohem Maße von kleinskalierten, topographisch determinierten Mustern abhängig sein. Nach oben vorrückende alpine Rasen könnten zunächst nur die stabilen, felsigen Standorte der offenen Pionierrasen als "Trittsteine" in Anspruch nehmen. Infolge eines weiteren Temperaturanstiegs ist von einem Rückgang der Schneebedeckungsdauer auszugehen. Habitate des *Androsacetum alpinae* kämen im Zuge dessen jedoch nur dann als potentieller Besiedlungsraum für Rasenarten in Betracht, wenn auch der Disturbance-Druck rückgängig wäre. Die chionophilen Arten des *Oxyrietum* würden durch den Verlust des Schnees am ehesten Arealverluste erleiden. Die wenigen ubiquitären Arten der subnivalen und nivalen Zone wären hingegen imstande, ihre Areale auszudehnen, da sie sowohl schwere Fröste wie auch Disturbance-Druck in hohem Maße ertragen können.

Harald Pauli

[English]

Ecological distribution patterns of vascular plants and their climate-induced changes within the alpine-nival ecotone of the Eastern Alps

Vienna, 1998

Temperature-limited environments like the subnival and nival zone of the Alps are generally considered to be particularly sensitive to greenhouse warming. Therefore, high mountain ecosystems attracted increasing scientific interest as ecological indicators of climate change effects.

The present PhD-thesis is concerned with ecological distribution patterns of vascular plants and their climate-induced changes at the alpine-nival ecotone (equal to the subnival zone) within the Eastern Alps.

Part 1 of the thesis contains 5 papers according to a comparison of recent investigations on the flora of 30 high mountain summits with historical records from the same peaks. A distinct increase of species richness was detected at 70% of the summits. Stagnation or a slight decrease of species richness was recorded at 9 peaks. This upward shifting of mountain plants is likely to be a result of the ongoing climate warming since the 19th century.

Part 2 contains one manuscript on vascular plant assemblages and species distributions with reference to the habitat structure. The analysis is based on almost 1000 vegetation samples from 1x1m permanent plots within the subnival and nival zone of Schrankogel, a typical siliceous nival peak of the central Eastern Alps.

Despite the low number of well-differentiated plant assemblages – compared with the alpine belt – distinct ecological distribution patterns are indicated. These patterns – being correlated with the topographically determined presence of scree or of solid rock – are highly dependant on two important ecological factors of the zone: the disturbance pressure from rock-falls and substrate movements and the period of snow cover.

Therefore, the migration dynamic of distinct species and plant assemblages due to climate warming, for example of potential immigrants from the alpine grassland into the subnival belt, will be substantially influenced by both: the stability of future microhabitats and the changes of snow distribution patterns.