

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 22, 66-80. Hannover 2010

GLORIA – The Global Observation Research Initiative in Alpine Environments: Status – Ergebnisse – Ausblick

- Georg Grabherr, Harald Pauli, Michael Gottfried, Wien -

Abstract

Much evidence has been provided, meanwhile, that the climate change of the past 150 years has been ecologically relevant, particularly pronounced in high mountains, i.e. in the alpine/nival environments. Treeline ecotones have shown a filling and partly moving to higher elevations, shrinking glaciers gave way to successional processes in the forefields, at high mountain summits species richness has increased which indicates upward migration of mountain plants. Though these observations are certainly valid they are based on few local case studies where old records were available. The Global Observation Research Initiative in Alpine Environments (GLORIA) aims at establishing a worldwide network of permanent plots applying a standardised monitoring procedure. First sites have been set in 2001 and observations repeated in 2008. A comparative analysis of data from 18 European target regions has been already finalised and the results will be published soon. Meanwhile 77 so called target regions (mountain regions with homogenous climate and geology) are part of the network. The methodology has now been successfully applied to many different systems and, where necessary, adapted. Problems such as the statistical power of the observations or the reliability of cover estimations have been studied in detail. At master sites the observations are extended to other organism groups (e.g. butterflies) and/or sophisticated climate recording is applied. In addition, spatial explicit models are used for hypothesis generation and experimental studies are carried out for predictions on how the alpine/nival plant assemblages may react.

1. Einleitung

Die allgemeine Klimaerwärmung seit Ende der kleinen Eiszeit vor rund 150 Jahren hat deutliche Spuren in der Kryosphäre hinterlassen. In den Hochgebirgen der Erde verloren die meisten Gletscher an Masse und Fläche (HÄBERLI & BENISTON 1998, OERLERMANS 2005, LAMPRECHT & KUHN 2007), Auftauen von Permafrost findet statt und erhöht die Frequenz von Massenbewegungen (HÄBERLI et al. 2006), die Zone „guter Winter“, d.h. Winter mit 100 Tagen durchgehender Schneedecke, hat sich in höhere Lagen zurückgezogen (BREITLING & CHAMARZA 1999).

Wie aber reagiert die Lebewelt der Hochgebirge, vor allem jene an den Kältgrenzen des Lebens? Erste Hinweise erwärmungsbedingter Migration von Arten, speziell der Nivalstufe stammen bereits aus dem Beginn des 20. Jahrhunderts (KLEBELSBERG 1913). BRAUN-BLANQUET bestätigte in den 50-er Jahren die Zunahme der Artenzahl auf ausgewählten Dreitausendern der Rätischen Alpen (BRAUN-BLANQUET 1955, 1957, 1958) und GRABHERR et al. (1994) bewiesen (Abb. 1), dass es sich in dieser Region und darüber hinaus um einen allgemeinen Trend handelt (siehe auch HOFER 1992, BAHN & KÖRNER 2003, HOLZINGER et al. 2008, VITTOZ et al. 2008), wengleich auch einige der 25 untersuchten Gipfel, für welche alte und verlässliche Datensätze vorlagen, keine ausgeprägte Zunahme der Artenzahl zeigten

(Abb. 1). Schließlich berichten BURGA et al. (2004) und WALTHER et al. (2005), dass sich in den letzten sehr warmen Jahrzehnten das offensichtliche Höhersteigen von Pflanzenarten hier verstärkt hat. Inzwischen sind Klimaeffekte auf die Pflanzenwelt der Hochlagen und, basie-

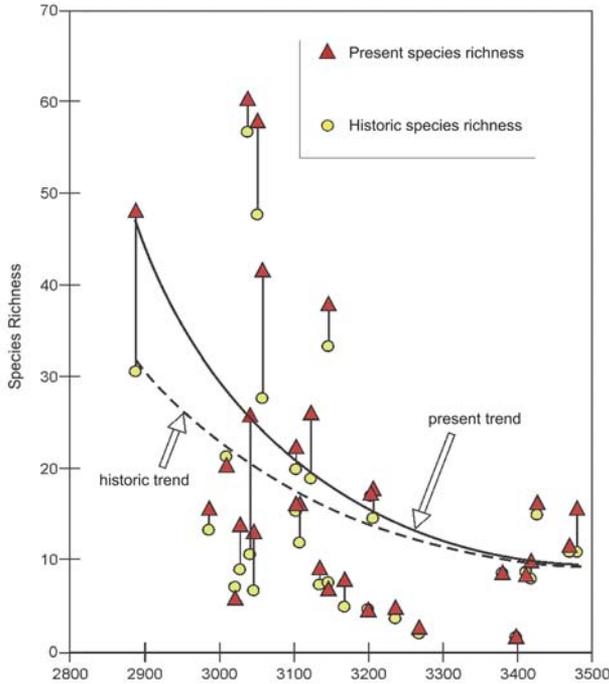


Abb. 1: Zunahme der Artenzahl auf nivalen Gipfeln der Zentralalpen. Rote Dreiecke: aktuelle Zahl (1991/1992); gelbe Kreise: historische Artenzahl (nach GRABHERR et al. 1994; ergänzt).

rend auf Vergleichsdaten, die älter als 30 Jahre sind, auch für andere Gebirgsregionen (Nordalpen: KUDERNATSCH et al. 2008; Skanden: KLANDERUD & BIRKS 2003; VIRTANEN et al. 2003) nachgewiesen, insbesondere im Bereich des Waldgrenzökotons (Ural: MOISEEV & SKYATOV 2003; Skanden: KULLMAN 2007, 2008; Rocky Mountains: KLASNER & FAGRE 2002, MALANSON et al. 2009). Damit häufen sich auch die Belege für Veränderungen in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten (WILSON & NILSSON 2009, BURGA et al. 2004, WALTHER et al. 2005). Im Bereich der Waldgrenze lassen sich allerdings in seit langem besiedelten Regionen nutzungshistorisch bedingte Effekte vom Klimasignal nicht trennen (GEHRIG-FASEL et al. 2007, BYRNE 2008, RÖSSLER et al. 2008).

Der aktuelle Status der auf Evidenz basierten Klimafolgenforschung an den kältebestimmten Vegetationsgrenzen der Hochgebirge stellt sich zusammenfassend wie folgt dar:

- Das Waldgrenzökoton hat sich verdichtet (z.B. Ural; MOISEEV & SHIYATOV 2003) und eine Ausweitung der Obergrenzen ist beobachtbar; der Trend hatte sich in den kühleren Phasen (1960er/70er Jahre) allerdings umgekehrt wie KULLMAN (2007) für die Birkenwaldgrenze der Skanden nachwies;
- die Artenzahlen auf Gipfeln, insbesondere in der Nivalzone haben zugenommen und deuten auf ein Höherwandern hin;
- insgesamt sind aber verlässliche alte Aufnahmen des Artenbestandes selten und fehlen im Großteil der Hochgebirge; dadurch kann der große Vorteil von Hochgebirgen, näm-

lich die globale Verbreitung als kältebetonte Lebensräume, nicht vergleichend dargestellt werden;

- die Lebewelt an den Kältегrenzen, insbesondere höhere Pflanzen, sind exzellente Indikatoren für die ökologische Abschätzung der Auswirkung des Klimawandels, wenngleich die Vegetation verzögert reagiert; dadurch zeigen sich Trends und nicht kurzfristige Schwankungen;
- historische Aufnahmen sind allerdings nur brauchbar, wenn eine genaue Verortung gegeben und eine verlässliche Identifikation der Arten gegeben sind bzw. geeignete quantitative Maße verwendet wurden bzw. werden;
- viele Hochgebirge sind kaum vom Menschen beeinflusst und dort, wo sie es sind, gibt es schwer zugängliche ungestörte Stellen und Gipfel; d.h. Hochgebirgsregionen zählen zu den wenigen Regionen der Erde, wo das Klimasignal ungestört erfasst werden kann.

Auf diesen Erkenntnissen baut das von den Autoren konzipierte und aufgebaute Monitoringnetzwerk und heute als naturwissenschaftliches lead project des Instituts für Gebirgsforschung: Mensch und Umwelt der Österreichischen Akademie der Wissenschaften etablierte und weltweit implementierte Programm GLORIA, die „Global Observation Research Initiative in Alpine Environments“ auf. Kernstück des Programms ist der bereits mehrfach dokumentierte indikatorische Wert der alpinen und nivalen Pflanzenwelt. Im Folgenden werden Konzept und Methodologie von GLORIA beschrieben, der Status dargestellt, die bis dato wichtigsten Ergebnisse präsentiert und die Zukunftsperspektive exploriert.

2. Konzept und Methodologie von GLORIA

Die generelle Hypothese, auf der GLORIA aufbaut, besteht darin, dass eine Erwärmung Migrationsprozesse auslöst, die letztlich zu einer Verschiebung der höhenzonalen Verbreitung von Arten führen muss (GOTTFRIED et al. 2002). Der Nachweis ist durch standardisiertes Monitoring von Dauerbeobachtungsflächen vom Waldgrenzökoton bis an die Kältегrenzen höherer Pflanzen zu erbringen, wobei das Auftreten neuer Arten in einer solchen Fläche bzw. das Verschwinden von Arten die entscheidende Messgröße für längerfristige Migrationsprozesse darstellt, während Veränderungen in der Menge einer Art (Deckung, Abundanz etc.) bereits kurzfristig erkennbare Signale einer Artenverschiebung anzeigen könnten. Es hat sich seit der Pilotphase (PAULI et al. 2004) herausgestellt, dass eine reine Präsenz-Absenz-Bewertung nicht genügt und die präzise Beachtung quantitativer Effekte für eine erste Einschätzung der Klimafolgen von der wissenschaftlichen Gemeinde erwartet wird. Inzwischen ist auch klar geworden, dass für Wiederholungsaufnahmen der Beobachterfehler zu beachten ist (VITTOZ & GUIBAN 2007), welcher die statistische Aussagekraft beeinflusst. Auch eigene Versuchsläufe mit unterschiedlichen Beobachter-Gruppen haben dies klar gezeigt. Grundsätzlich gelten für die Basiserhebung aber nach wie vor folgende Kriterien:

- Einfachheit des methodischen Ansatzes. Aber gleichzeitig wissenschaftlich so exakt wie möglich; Aufnahmen sollten auch unter Expeditionsbedingungen möglich sein.
- Vergleichbarkeit der Beobachtungen bei möglichst großer Zahl und repräsentativer Verteilung von Vergleichsregionen;
- geringe Kosten und damit für Forschergruppen ohne großes Budget umsetzbar;
- Bindung an wissenschaftliche Institutionen (Universitäten, Forschungsanstalten) mit einer gewissen Langlebigkeit;
- weitestgehende Natürlichkeit der Beobachtungsgebiete, so dass das Klimasignal möglichst eindeutig nachzuweisen ist.

Gemäß dieser Kriterien wurden in der Planungsphase von GLORIA mehrere Ansätze verfolgt: der Transect Approach entlang mehr oder weniger homogener Bergflanken (Single-Mountain Approach), der Multi Summit Approach mit Dauerflächen in den Gipfelzonen unterschiedlich hoher Berge einer Bergregion (Target Region, i.e. eine Beobachtungsregion in einer in sich homogenen Gebirgsgruppe), der Master Site Approach auf Forschungsstationen, wobei sich der Multi Summit Approach als auf breiter Basis umsetzbarer Basisansatz durchgesetzt hat: Gipfel haben den Vorteil, dass Expositionseffekte nahe beieinander liegen und die Gipfel eindeutige Orientierungspunkte darstellen. Ausgenommen touristisch belasteter Berge bzw. solcher, die vom Weidevieh begangen werden können, finden sich erfahrungsgemäß in jeder GLORIA-Target Region Gipfel, die zumindest weitgehend frei von direkten anthropogenen Störungen sind.

Das Probedesign des Multi Summit Approach besteht aus unterschiedlich großen Aufnahme­flächen (nested design: 0,1 x 0,1 m, 1 x 1 m, und 10 x 10 m) auf ausgewählten Gipfeln, orientiert an den vier Himmelsrichtungen. (Abb. 2). In jeder Haupt-Himmelsrichtung wird ein

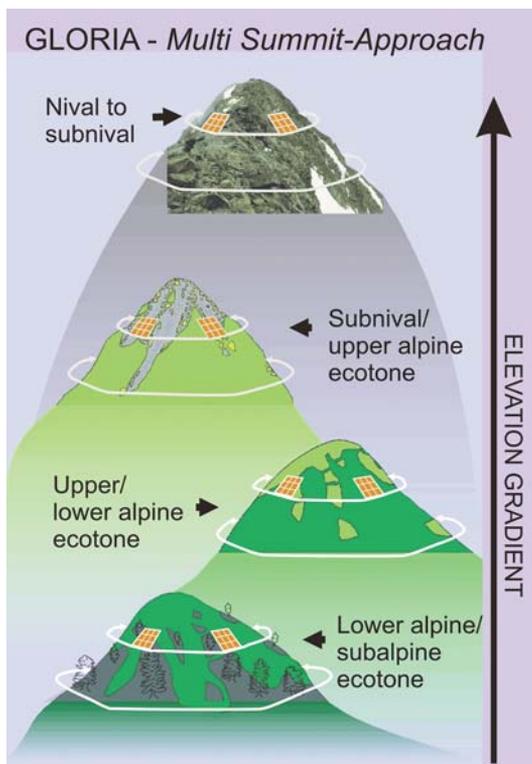


Abb. 2: Anordnung der Dauerbeobachtungsflächen nach dem Multi Summit-Approach zum Nachweis von klimainduzierten Veränderungen der Artenzusammensetzung und der Mengenverhältnisse der Arten. Die vier Gipfel eines Beobachtungsgebiets sollten idealerweise in die jeweiligen Übergangsbereiche hineinreichen, da in den Ökotonen die Veränderungen am deutlichsten hervortreten.

3 m x 3 m Aufnahme­raster mit vier 1 m² Dauerflächenquadraten in den Ecken eingerichtet. Die genaue Aufnahme der Arten (Artenliste, genaue Deckungsschätzung mit Schablonen)

innerhalb der Quadrate liefert die Grundlage, um später eventuelle Änderungen der Artensammensetzung herauszufinden. In den selben Quadraten wird mit Hilfe eines Gitterrahmens, der in 100 1 dm²-große Zellen unterteilt ist, die Frequenz erfasst, um Veränderungen der Vegetationsverteilung aufzuspüren. In jeder Haupt-Himmelsrichtung wird zusätzlich ein 10 m x 10 m Quadrat für eine Line Pointing-Aufnahme eingerichtet, das die Fläche des 3 m x 3 m Rasters einschließt. Diese erst kürzlich implementierte Methode soll zusätzliche Daten für die Messung von Veränderungen der Armächtigkeit der häufigeren Arten liefern. Acht Gipfel-sektoren decken den ganzen Gipfelstandort ab und ermöglichen die Überwachung des Artenbestands des gesamten Gipfelbereichs.

Fortlaufende Messungen der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe in der Mitte jedes 3 m x 3 m Rasters ermöglichen den Vergleich von Temperatur und Schneedeckendauer. Das GLORIA-Handbuch und seine Aktualisierungen (www.gloria.ac.at/?a=20) enthalten eine genaue Beschreibung des Aufnahmedesigns und der -methoden.

3. Status des Netzwerks

Ein Meilenstein bei der Einrichtung des GLORIA-Netzwerks wurde mit der Etablierung von 70 Gipfelstandorten in 18 target regions in ganz Europa durch ein FP-5-Projekt der Europäischen Gemeinschaft 2001 erreicht. Seitdem ist das europäische Netzwerk auf 36 aktive Zielregionen gewachsen. Möglich wurden diese zusätzlichen Standorte durch lokale oder nationale Zuwendungen. Der große Methodentest 2007 und die 2008 durchgeführte erste Wiederaufnahme der Standorte aus dem Jahr 2001 wurden vor allem durch die Schweizer Naturschutzstiftung MAVA und das österreichische Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung finanziert.

Weltweit ist GLORIA derzeit in 77 Gebirgsregionen in 5 Kontinenten vertreten (Abb. 3; Tab. 1). Für 12 weitere Gebiete gibt es konkrete Planungen. In Nordamerika wurden die ersten Standorte 2003 und 2004 in Montana (Glacier National Park) und Kalifornien eingerichtet. Beides sind nun GLORIA Master Sites. Gegenwärtig sind in Nordamerika (USA einschließlich Alaska und Kanada) 16 Target Regions aktiv, die alle mit nordamerikanischen Mitteln unterstützt werden.

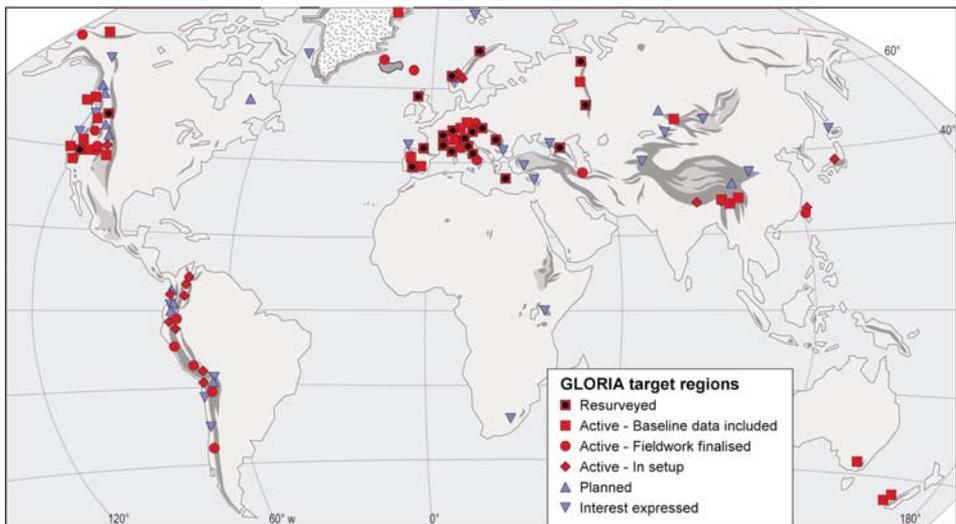


Abb. 3: Aktueller Stand (Mai 2010) des GLORIA-Netzwerks mit 77 Beobachtungsregionen

In Südamerika erlebte GLORIA einen rasanten Aufschwung in den Anden, wo 2005 mit Unterstützung von UNESCO-MAB die ersten Standorte in 2 Target Regions eingerichtet wurden. Mittlerweile sind schon 12 Beobachtungsregionen in sämtlichen Andenstaaten aktiv. Unterstützung kam aus zahlreichen Quellen wie etwa dem Proyecto Paramo Andino und dem Consortium for Sustainable Development of the Andean Eco-region (CONDESAN), Herbario Nacional de Bolivia, Conservation Internacional, und dem European Union (EU) FP-6 Project ALARM. In jüngerer Zeit gab es Unterstützung von der Comunidad Andina de Naciones (CAN), the Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) und von The Nature Conservancy. 2007 wurde in Bolivien, 2008 in Ecuador jeweils ein inter-andines GLORIA-Workshop abgehalten, das nächste ist für April 2011 in Argentinien geplant.

Tab. 1: Anzahl der Beobachtungsgebiete (Target Regions) des GLORIA-Netzwerks mit bereits etablierten Dauerflächen

	Europa	N-Amerika	S-Amerika	Asien	Australien	Afrika
2008 (Nov.)	30	14	8	6	3	0
2010 (April)	36	16	12	10	3	0

In Asien existieren aktive Standorte in 10 Regionen: Altai/Russland (Katunskiy Biosphere Reserve; unterstützt durch UNESCO-MAB), vier Gebiete in Yunnan/China (unter Leitung des Missouri Botanical Garden, The Nature Conservancy, und dem Zhongdian Botanical Garden); Langtang, Nepal (Missouri Botanical Garden und Tribhuvan University), Alborz, Iran (unterstützt durch die GLORIA co-ordination), Taiwan (finanziert durch das taiwanesisches Ministerium für Forstwirtschaft) und Japan (Shinshu University, Matsumoto). Größere Lücken gibt es noch in den Gebirgen Zentralasiens. Standorte in Neuseeland und den australischen Snowy Mountains bestehen schon seit 2004. In Afrika gibt es Pläne für den Hohen Atlas (Marokko) und einige Interessenten aus den Tropen und aus Südafrika.

4. Ergebnisse

Beiträge zur Kenntnis der Flora der target regions, Biodiversitätsgradienten und Vegetationsmuster

Bereits die Basiserhebungen in den GLORIA-Regionen liefern neue biogeographische und ökologische Erkenntnisse. Einige GLORIA-Teams haben ihre Aufnahmen publiziert (COLDEA & POP 2004, KANKA et al. 2005, KAZAKIS et al. 2006, STANISCI et al 2005; siehe <http://www.gloria.ac.at/?a=24&b=58>) bzw. diese finden sich in der zentralen GLORIA-Datenbank. Dadurch liegen einmal verlässliche Nachweise alpiner Arten für die ausgewählten Gipfelbereiche vor. In wenig bekannten Gebirgsregionen sind auch Erstnachweise für der Wissenschaft bislang unbekannt Arten zu erwarten, z.B. in den Anden Südperus (Halloy, pers. comm.) oder in den Hochgebirgen von Iran (Noroozi, pers. comm.).

Die Daten des Pilotprojektes GLORIA-Europe bestätigen die generelle Hypothese, dass die Phytodiversität (nur Blütenpflanzen) in hohen Breiten geringer ist als in niedrigeren Breiten (VIRTANEN et al. 2003). Die GLORIA-Gipfelfloren der mittleren Breiten (Alpen, Pyrenäen, Kaukasus) weichen insofern ab, als sie am artenreichsten sind. Die mediterranen Berge (Sierra Nevada, Appenin, Lefka Ori) beherbergen hingegen die meisten Endemiten. PAULI et al. (2003) fanden für die Regionen Sierra Nevada (Spanien) und Hochschwab (Österreich), dass der Anteil der Endemiten mit der Höhe zunimmt. Ein allgemein wärmeres und trockeneres Klima (Sierra Nevada) müsste letztlich zum Verlust dieses floristischen Sondergutes führen. Wie SALICK et al (2009) und GRABHERR (2009) abschätzten, gilt dies auch für medi-

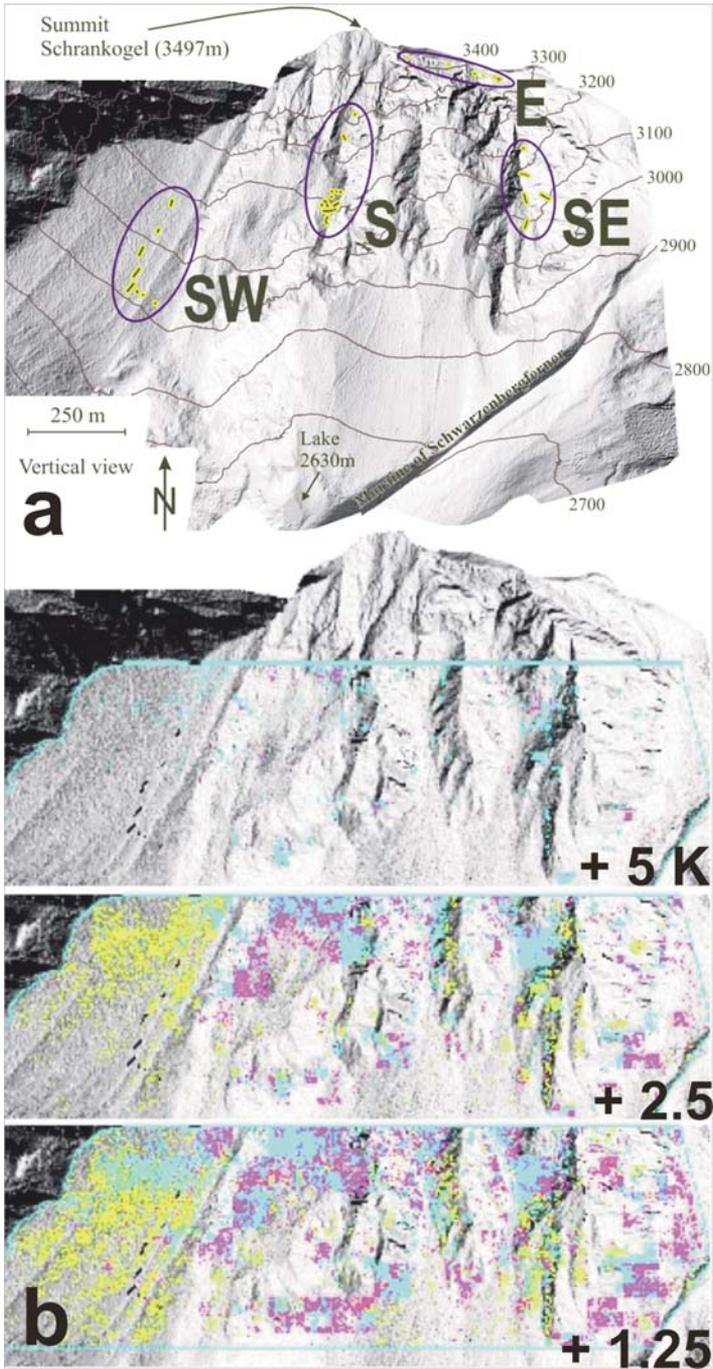


Abb. 4: Die Master Site Schrankogel, Tirol. Oben: Positionierung von Aufnahmeflächen im alpin/nivalen Ökoton; unten: räumlich explizites Modell der Habitatseignung für *Androsace alpina* unter unterschiedlichen Erwärmungsszenarien (rot – hohe Deckung, blau – geringe, gelb –intermediär). Auch bei einer starken Erwärmung (+ 5°C) könnten noch einzelne Mikrohabitate bestehen bleiben.

zinisch nutzbare Pflanzen. Im Himalaja verwenden tibetische Doktoren 76% der alpinen Arten für Heilzwecke.

Wie allerdings GOTTFRIED et al. (1999) durch räumlich expliziertes Modelling nachweisen, können Mikrorefugien ein längeres Überdauern sichern (Abb. 4). Unter Bedingungen wie in den subalpinen prostraten Latschenfelder der Kalkalpen würde bei einer mäßigen Erwärmung aufgrund der geringen Migrationsrate und dem Etablierungswiderstand der aktuellen Vegetation eine auch nur geringe Ausdehnung bis zu 200 Jahre dauern (DULLINGER et al. 2004). Sehr ungleiche Reaktionen sind möglich und Überraschungen wahrscheinlich. Auch dieser Aspekte verlangt nach Monitoringsystemen, die vergleichbare Daten liefern.

Die bereits von Humboldt vergleichend dargestellte Höhenzonierung der Hochgebirge wird heute als Abfolge zonaler Vegetationsgürtel und zwischenliegender mehr oder weniger schmaler Ökotope betrachtet (NAGY & GRABHERR 2009). Der mit Abstand auffälligste Ökoton ist jener, der zwischen geschlossenem Bergwald und der alpinen, per definitionem baumfreien, Zone vermittelt. Eine generalisierende Fassung und Beschreibung scheidet nach wie vor an der Individualität der Ausbildung je nach Gebirge (HOLTMEIER 2009, HOLTMEIER & BROLL 2005). Ebenso ist die Debatte über die Ursachen der Waldgrenze keineswegs abgeschlossen (KÖRNER 1998, 2008, KÖRNER & PAULSEN 2004, BUTLER et al. 2009). Von den GLORIA-Gipfeln in der Höhenlage des Waldgrenzökotons liegen noch keine vergleichenden Auswertungen vor. Entsprechend der geographischen und klimatischen Lage der inzwischen 77 Target Regions wird aber aufgrund der standardisierten GLORIA-Daten ein Vergleich der Bedeutung und Zusammensetzung von „plant functional types“ (vgl. HALLOY & MARK 1996) interessante ökologische Aspekte freilegen.

Optisch nicht in dieser Deutlichkeit wahrnehmbar wie der Waldgrenzökoton ist der Übergang von der alpinen Stufe in die nivale. Diese Auflösungszone der geschlossenen Vegetation wurde von manchen Autoren im Sinne einer Höhenstufe, der subnivalen, verstanden, von andern als alpin-nivaler Ökoton gefasst (GRABHERR et al. 2003, NAGY & GRABHERR 2009). Die Zahl der Arten in der nach oben folgenden nivalen Stufe nimmt zwar deutlich ab (GRABHERR et al. 1995, KÖRNER 2003), doch gibt es eine Reihe von Arten, die hier ihren Verbreitungsschwerpunkt haben. Diese nivalen Arten zeichnen sich vor allem durch eine hohe Toleranz gegenüber langer Schneebedeckung aus, wie GOTTFRIED et al. (2002) durch vergleichende Messungen im Gebiet der GLORIA-Masterstation Schrankogel nachweisen konnten. Andererseits verhindert Schneebedeckung Frostschäden bei Kaltlufteinbrüchen im Sommer (LARCHER et al. 2010).

Im Gegensatz zum Waldgrenzökoton wurde dem alpin-nivalen Ökoton von der Hochgebirgsforschung aber insgesamt wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Eine klare Fassung anhand abiotischer und biotischer Kriterien fehlt nach wie vor, geschweige denn, dass die Prozesse im Detail bekannt wären, die zur Auflösung der Vegetation führen und die große Zahl alpiner Arten in der nivalen Stufe ausschließen. Vor allem fehlt auch eine globale Sicht. Hier kann von den GLORIA-Gipfeln, welche in die nivale Stufe reichen, ein geeignetes Datenmaterial zur Dokumentation und darauf aufbauenden Hypothesengenerierung erwartet werden.

Erste Monitoring-Ergebnisse

Die erste Etablierung von Dauerbeobachtungsflächen, die im Zusammenhang mit GLORIA gesehen werden kann, erfolgte im Bereich der Master Site Schrankogel im Jahr 1994 (mehr als 1000 1x1m Quadrate entlang des alpin-nivalen Ökotons). 2004 wurde eine Wiederaufnahme durchgeführt (PAULI et al. 2007). Die ersten GLORIA-Dauerflächen nach dem Multi-Summit Approach wurden im Rahmen einer Testphase am Hochschwab (1998) und in der südspanischen Sierra Nevada (1999) eingerichtet. Im Rahmen des EU-Projekts GLORIA-

Europe erfolgte dann 2001/2002 der eigentliche Startpunkt in 18 Beobachtungsregionen Europas. In den Folgejahren kamen weltweit ständig neue Beobachtungsregionen dazu (e.g. PICKERING & GREEN 2009/Snowy Mts, Australia, SWERHUN et al. 2009/ British Columbia; MARK et al. 2006/ New Zealand). Publiizierte Wiederaufnahmen liegen bis dato allerdings nur in einem Fall vor (ERSCHBAMER et al. 2009), da der GLORIA-Approach keine engen Beob-



Abb. 5: Translokationsversuch eines alpinen Rasenziegels (Firmetum) vom natürlichen Standort in den Botanischen Garten der Universität Wien; nach drei Jahren hat sich außer mehr Biomasse nicht viel verändert (aus FRIEDMANN & GRABHERR 2009); vereinzelt Unkräuter wurden entfernt.

achtungintervalle vorsieht. Alpine und nivale Arten sind langlebige perennierende Arten (NAGY & GRABHERR 2009), von denen einige sogar „potentiell unsterbliche“ klonale Populationen bilden (GRABHERR 1997). Eine massive interannuelle Variabilität des Auftretens der Arten ist auszuschließen, wie Photoserien von Dauerflächen sowie ein Transplantationsexperiment im Botanischen Garten in Wien zeigten (FRIEDMANN & GRABHERR 2010; Abb. 5). Häufiger Besuch der Aufnahmeflächen würde auch Trittschäden verursachen. Im Jahre 2008 erfolgte schließlich die konzertierte Wiederaufnahme der GLORIA-Europe Dauerflächen. Die vergleichende Auswertung ist demnächst abgeschlossen. Aus den genannten Gründen und der nur allgemein mäßigen Erwärmung der letzten 7 Jahre sind generell keine dramatischen Effekte für ganz Europa zu erwarten. Auf den Südtiroler GLORIA-Gipfeln hat die Artenzahl auf den höchsten Gipfeln und im Zeitraum 2001 – 2006 allerdings um rund 10% zugenommen (ERSCHBAMER et al. 2009). An der Master Site Schrankogel wurden ebenfalls Veränderungen im Vergleich 1994 zu 2004 festgestellt. Eine ausführliche Darstellung findet sich bei PAULI et al. (2007).

5. 20 Jahre GLORIA – ein Rückblick

GLORIA ist nach wie vor eines der wenigen globalen „ground-based“ Monitoringnetzwerke, das operativ ist. Im Folgenden werden Erfahrungen mitgeteilt, die die Herausforderungen eines ökologischen Langzeitvorhabens dokumentieren.

Entwicklung von Forschungsansatz und Methodik

Der Multi Summit Approach (PAULI et al. 2004, <http://www.gloria.ac.at/?a=20>) besticht durch seine Einfachheit und kann unter den extremen Arbeitsbedingungen im Hochgebirge in vertretbarer Zeit durchgeführt werden. Dies haben die Feldarbeiten in den inzwischen implementierten 77 target regions gezeigt. Klar ist aber, dass eine Steigerung der Anzahl von Dauerflächen, wie dies u.a. aus Sicht der statistischen Absicherung immer wieder verlangt wird, in der kurzen Vegetationsperiode allein aus zeitlichen Gründen nicht möglich ist. Ebenso wären Störungen durch Betritt zu massiv. Es ist davon auszugehen, dass Änderungen in der Artenzusammensetzung und den quantitativen Parametern mit Sicherheit erst bei deutlichen

Veränderungen nachzuweisen sind. Einzelne Effekte wie z.B. die Abnahme in der Deckung nivaler Arten am Schrankogel, die auch anhand der Vergleichsphotos deutlich in Erscheinung trat (PAULI et al. 2007), oder das Auftreten von Baumkeimlingen in alpinen Flächen (ERSCHBAMER et al. 2009) können als Signal eines Klimaeffekts direkt gewertet werden. Die Ergebnisse vom Schrankogel (PAULI et al. 2007) sowie die laufende Analyse des GLORIA-Europe-Datensatzes zeigten, dass quantitative Daten zu den Arten, insbesondere ihr prozentueller Deckungswert, wesentlich sind für die Abschätzung eines beginnenden Art-Rückgangs. Das auch mit presence/absence-Daten feststellbare lokale oder regionale Verschwinden einer Art wird sich hingegen über längere Zeiträume erstrecken. GLORIA verfolgt einerseits die Veränderung der Artenzusammensetzung als Signal. Zudem erwies es sich als unvermeidlich, ergänzende Standards zur Mengenansprache der einzelnen Arten einzuführen, wie etwa „point sampling“ in den 10 m x 10m Quadraten.

GLORIA entwickelte sich aus der kontinentaleuropäischen Forschungstradition in der Vegetationsökologie, deren Basis eine gute Artenkenntnis ist. Es hat sich gezeigt, dass dies in vielen Gebirgsregionen nicht vorausgesetzt werden kann. So war das Setting der GLORIA sites in den kalifornischen Beobachtungsregionen nur durch Einbindung von Amateurexperten der California Native Plant Society möglich. Falschbestimmungen sind allgemein auch von den besten Feldökologen nicht auszuschließen. Deshalb empfiehlt GLORIA generell Herbarbelege mit Exemplaren von außerhalb der Dauerflächen anzufertigen. Die Identifikationsprobleme und Fehler nehmen stark zu, wenn Moose und Flechten inkludiert werden, welche etwa in borealen und tropischen Gebirgen eine wesentliche, auch funktionale Komponente darstellen. Zur Minimierung von Fehlbestimmungen und der Variabilität der Deckungsschätzung war ursprünglich vorgesehen, die Wiederholungsaufnahme einer Dauerfläche mit den Photographien der historischen Vegetationsaufnahme nachzuprüfen. Davon wurde allerdings, nach Durchführung von Testkartierungen, wieder abgesehen – insbesondere wegen der nur mäßigen Verringerung der Beobachtervariabilität im Vergleich zum beträchtlichen Zusatzaufwand bei der Freilanderhebung und der Schwierigkeit einer klaren Standardisierung eines Photo/Plot-Vergleichs. Für die Demonstration von Veränderungen, so auf den Photos deutlich erkennbar, sind Photographien allerdings überzeugend.

Ein Problem entstand auch hinsichtlich Größe der Aufnahmeflächen in Abhängigkeit mit der Raumstruktur der Vegetation. Dies wurde vor allem im Bereich der tropischen Paramo-Vegetation mit ihren Riesenschopfpflanzen evident, welche mit Einzelflächen von 1m² nicht erfasst werden können. Inzwischen wurde in Zusammenarbeit mit den südamerikanischen GLORIA-Teams ein erweitertes Konzept für die Tropen ausgearbeitet. Grundsätzlich wird die Multi Summit-Methodik inzwischen als weitgehend stabilisiert betrachtet. Zusätzliche Aktivitäten und vertiefende Studien sind jedem Team im Rahmen des Master Site Approach freigestellt (siehe z.B: Schrankogel; PAULI et al. 2007). Als Regel gilt, dass alle Aktivitäten erwünscht und willkommen sind, die ein kausale Erklärung der beobachteten Effekte erlauben.

Akzeptanz

Die Interpretation der beobachteten bzw. zu erwarteten Effekte ist keineswegs eindeutig. Temperaturänderungen können direkt wirken wie Frostereignisse im Sommer (BANNISTER et al. 2005, LARCHER et al. 2010) oder indirekt über Veränderungen des Schneeregimes (HANTTEL et al. 2000). Auf dieses haben wiederum Niederschlagsänderungen einen Einfluss. Temperaturanstieg bei gleichzeitiger Abnahme des Niederschlags erscheint die effizienteste Kombination zu sein (GOTTFRIED et al. 2002). Daneben sind mit luftbürtigen Stickstoffmissionen, Herbivorenfraß und touristischer Belastung weitere Einflussfaktoren zu beachten, die bei der Wahl der Beobachtungsregion und deren Gipfelstationen in dem Sinn Berücksichti-

gung finden, als ihre Wirkung ausgeschlossen oder gering ist bzw. aus nahe gelegenen Messstationen Wirkungen abgeleitet werden können.

Ebenso ist das Migrationsverhalten der Arten zu beachten. Dieses ist artspezifisch, außerdem können Hindernisse den Zugang zu geeigneten Habitaten verzögern oder überhaupt ausschließen. So sind beispielsweise die Blockfelder am Gipfel des Piz Linard (Swiss Alps), für den die längste Zeitreihe an Beobachtungen vorliegt, dafür verantwortlich, dass typische Arten der tieferen alpinen Stufe den Gipfel noch nicht erreicht haben. DULLINGER et al. (2010) wiesen durch experimentelle Auspflanzungen in Schneeböden nach, dass nicht alle für die Versuchsarten geeigneten Habitate besetzt waren, d.h., dass die Gleichgewichtsbedingung, dass zum Zeitpunkt der Betrachtung alle geeigneten Habitate von den passenden Arten besetzt sind, nicht zwangsläufig gegeben ist und explorative Modelle, die dies voraussetzen, daher zumindest im Detail mit Vorsicht zu interpretieren sind. In diesen Zusammenhang passt auch, dass die beobachtete Zunahme der Artenzahl seit Ende der kleinen Eiszeit auch schon als Rekolonisierung und nicht als erwärmungsbedingtes Höhersteigen betrachtet worden ist (KAMMER et al. 2007). Dem widerspricht, dass die Erwärmung nach dem Höhepunkt der Kleinen Eiszeit vor 150 Jahren nicht schlagartig erfolgte (vgl. das plötzliche Freiwerden von Substrat bei Gletscherrückzug), sondern gleitend und dass etwa in Kältephasen sogar eine Regression beobachtbar war (Beispiel: *Betula pubescens* in Skandinavien; KULLMAN 2007) bzw. die letzten warmen Jahrzehnte eine Akzeleration des Prozesses brachten (BURGA et al. 2004, WALTHER et al. 2005).

Management

GLORIA ist ein freies Netzwerk von interessierten Wissenschaftlern mit Kontakten zu weiteren internationalen Forschungsinitiativen (z.B. MRI, IGBP, GMBA, UNESCO-MAB). Es basiert auf der Übereinkunft, die GLORIA-Methodologie anzuwenden. Die Datensätze werden in standardisierter Form in der zentralen Datenbank am Standort Wien gespeichert. Sie stehen den GLORIA-Partnern zu Verfügung, falls die Dateninhaber zustimmen. Umfangreiche Synthesen werden vom koordinierenden Team erarbeitet und mit den betreffenden Partnern diskutiert. Das Koordinationsteam betreut die Teams bei der Auswahl der Gipfel und der Einrichtung der Dauerflächen auch vor Ort, so dass die Vergleichbarkeit der Daten gesichert ist (cf. PAULI et al. 2009).

Die GLORIA-Teams finanzieren und organisieren sich selbst. Das Pilotprojekt GLORIA-Europa wurde allerdings im Rahmen der europäischen RTD-Programme finanziert. Unterstützung wird nach Maßgabe vorhandener Mittel auch vom Koordinationsteam gewährt. Die Finanzierung und Bereitstellung von Infrastruktur für das Koordinationsteam basiert auf einem Kooperationsvertrag zwischen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der Universität Wien. Zusätzliche Mittel stammen vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung und Drittmitteln (z.B. Land Tirol, MAVA Stiftung Schweiz).

Öffentlichkeitsarbeit

GLORIA bedient den Bedarf an sicheren Aussagen für die Klimawandeldiskussion. Die Beobachtung der Organismenwelt an den Kältengrenzen des Lebens ist klar nachzuvollziehen und einleuchtend. Entsprechend groß ist die öffentliche Aufmerksamkeit (für eine Zusammenstellung siehe www.gloria.ac.at). Höhepunkte waren zweifellos die Berichte in internationalen Print-Medien (e.g. National Geographic, New York Times) und in zahlreichen Radio- und Fernsehsendungen mit dem Koordinationsteam oder mit Vertretern der GLORIA-Arbeitsgruppen. Öffentliche Institutionen wie z.B. die European Environmental Agency sehen in den GLORIA-Daten einen der besten Indikatoren für die ökologische Relevanz des Klimawandels; diese fanden daher auch Eingang in die offiziellen Expertenpapiere für die Klimakonferenz in Kopenhagen 2009.

Sicherung von Langzeitforschung

GLORIA hat zum Ziel – vergleichbar mit dem Netzwerk an Klimastationen, das weltweit seit 150 Jahren existiert – ein langfristiges Beobachtungssystem aufzubauen. Mit den 77 bereits etablierten Stationen ist das Netzwerk bereits auf fünf Kontinenten präsent. Die optimale Vorstellung für die Zukunft geht davon aus, dass etwa in 10-Jahresintervallen Wiederholungsaufnahmen stattfinden und konzertierte Auswertungen durchgeführt werden. Dies ist an eine gut etablierte Koordinationsstelle gebunden, wie sie derzeit in Wien existiert und mittelfristig gesichert ist. Darüber hinaus ist es aber jederzeit auch einzelnen Teams oder Gruppen freigestellt Wiederholungsstudien durchzuführen, wenn Zugang zu den Daten besteht. Dieser Zugang ist durch die zentrale Datenbank in Wien bzw. durch lokal basierte Datenträger gesichert. In diesem Sinne ist GLORIA bis dato als eines der wenigen operativen ökologischen und globalen Monitoringnetzwerke für die weitere Zukunft etabliert.

Zusammenfassung

Dass der Klimawandel der letzten 150 Jahre, die Erwärmung im Speziellen, ökologisch relevant war, ist inzwischen mehrfach bewiesen, unter anderem durch beobachtete Auswirkungen auf die Gebirgslebewelt. Waldgrenzökotone haben sich verdichtet bzw. zeigen eine Tendenz nach oben, die zurück weichenden Gletscher geben große Flächen für Sukzessionsprozesse frei. Auf nivalen Gipfeln hat die Artenzahl von Pflanzen zugenommen, ein Indikator für deren Höherwandern. Auch wenn diese Beobachtungen valid sind, basieren sie doch auf wenigen lokalen Fallstudien, für die solide historische Daten vorhanden waren. Die Global Observation Research Initiative in Alpine Environments (GLORIA) zielt daher darauf ab, ein weltweites Netzwerk von Dauerbeobachtungsflächen zu etablieren, wobei ein standardisiertes Monitoringkonzept angewendet wird. Erste Flächen wurden europaweit im Jahr 2001 eingerichtet und erste Wiederholungsaufnahmen erfolgten 2008. Eine vergleichende Analyse der Daten von 18 europäischen sogenannten Target Regions (i.e. Beobachtungsregionen in in sich homogenen Gebirgsgruppen) ist abgeschlossen und wird demnächst publiziert. Inzwischen zählt das Netzwerk 77 target regions in fast allen größeren Gebirgen der Erde. Die GLORIA-Methodik hat sich in unterschiedlichsten alpinen Lebensräumen bewährt bzw. wurde, wo notwendig, adaptiert. Probleme wie jene der „statistical power“ der Beobachtungen oder jene im Zusammenhang mit Deckungsschätzungen wurden im Detail untersucht, um die Sicherheit der Aussagen zu gewährleisten. In GLORIA Master Sites (z.B. Schrankogel, Tirol; White mountains, Kalifornien) werden die Beobachtungen auch auf andere Organismengruppen ausgedehnt (z.B. Schmetterlinge) oder umfangreiche Klimamessungen vorgenommen. Räumlich explizite Modelle verbessern die Hypothesengenerierung und experimentelle Studien sollen Vorstellungen darüber liefern, was erwartet werden kann.

Literatur

- BAHN, M. & KÖRNER, CH. (2003): Recent increases in summit flora caused by warming in the Alps. – In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH., THOMPSON, D. B. A. (eds.) *Alpine biodiversity in Europe. – Ecological Studies* **167**: 437-441, Berlin: Springer.
- BANNISTER, P., MAEGLI, T., DICKINSON, K. J. M., HALLOY, S. R. P., KNIGHT, A., LORD, J. M., MARK, A. F. & SPENCER, K. L. (2005): Will loss of snow cover during climatic warming expose New Zealand alpine plants to increased frost damage? – *Oecologia* **144** (2): 245-256.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1955): Die Vegetationsverhältnisse des Piz Languard, ein Maßstab für Klimaänderungen. – *Svensk Botanisk Tidskrift* **49**: 1-9.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1957): Ein Jahrhundert Florenwandel am Piz Linard (3414 m). – *Bulletin Jardin Botanique Bruxelles*, Vol Jubil. W. Robyns: 221-232.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1958): Über die obersten Grenzen pflanzlichen Lebens im Gipfelbereich des

- Schweizerischen Nationalparks. – *Komm. Schweiz. Naturforsch. Ges. Wiss. Erforsch. Nationalparks* **6**: 119-142.
- BREILING, M. & CHARAMZA, P. (1999): The impact of global warming on winter tourism and skiing: a regionalised model for Austrian snow conditions. – *Regional Environmental Change* **1** (1): 4-14.
- BURGA, C.A., WALTHER, G.R. & BEISSNER, S. (2004): Florenzwandel in der alpinen Stufe des Berninagebietes – ein Klimasignal? – *Ber. Reinhold-Tüxen-Ges.* **16**: 57-66.
- BUTLER, C. R., MALANSON, G. P., WALSH, S. J. & FAGRE, D. B. (eds.) (2009): The changing alpine treeline. - *Developments in earth surface processes* **12**, Amsterdam: Elsevier.
- BYRNE, A. (2008): Recent forest limit changes in south-east Norway: effects of climate change or regrowth after abandoned utilisation? – *Norsk Geografisk Tidsskrift* **62**: 251-270.
- COLDEA, G. & POP, G. (2004): Floristic diversity in relation to geomorphological and climatic factors in the subalpine-alpine belt of the Rodna Mountains (The Romanian Carpathians). – *Pirineos* **156-159**: 61-72.
- DULLINGER, S., DIRNBÖCK, T. & GRABHERR, G. (2004): Modelling climate change-driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility. – *J. of Ecology* **92**: 241-252.
- ERSCHBAMER, B., KIEBACHER, T., MALLAUN, M. & UNTERLUGGAUER, P. (2009): Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. – *Plant Ecology* **202** (1): 79-89.
- FRIEDMANN, B. & GRABHERR, G. (2009): What happens when alpine plants are exposed to lowland climate? – *Verhandl. Zool. Bot. Ges. Österreich* **146**: 139-150.
- GEHRIG-FASEL, J., GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N. E. (2007): Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment? – *J. of Vegetation Science* **19** (6): 571-582.
- GLORIA website: <http://www.gloria.ac.at>
- GOTTFRIED, M., PAULI, H., REITER, K. & GRABHERR, G. (1999): A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming. – *Diversity and Distributions* **5**: 241-251.
- GOTTFRIED, M., PAULI, H., REITER, K. & GRABHERR, G. (2002): Potential effects of climate change on alpine and nival plants in the Alps. - In: KÖRNER, CH. & SPEHN, E. (eds.) *Mountain biodiversity: a global assessment*. New York: Parthenon: 213-223.
- GRABHERR, G. (1997): The high-mountain ecosystems of the Alps. - In: WIELGOLASKI, F. E. (ed.) *Polar and alpine tundra. – Ecosystems of the world* **3**: 97-121, Amsterdam: Elsevier.
- GRABHERR, G. (2009): Biodiversity in the high ranges of the Alps: Ethnobotanical and climate change perspectives. – *Global Environmental Change* **19** (2): 167-172
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., GRUBER, A. & PAULI, H. (1995): Patterns and current changes in alpine plant diversity. - In: CHAPIN, F.S. & KÖRNER, CH. (eds.) *Arctic and alpine biodiversity. – Ecological Studies* **113**: 167-182, Berlin: Springer.
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (1994): Climate effects on mountain plants. – *Nature* **369**: 448.
- GRABHERR, G., NAGY, L. THOMPSON, D.B.A. (2003): An outline of Europe`s alpine areas. - In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH. & THOMPSON, D. B. A. (eds.) *Alpine biodiversity in Europe. – Ecological Studies* **167**: 3-12. Berlin: Springer.
- HAEBERLI, W. & BENISTON, M. (1998): Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. - *Ambio* **27** (4): 258-265.
- HAEBERLI, W., GUODONG, C., GORBUNOV, A.P. & HARRIS, S.A. (2006): Mountain permafrost and climatic change. – *Permafrost and periglacial processes* **4** (2): 165-174.
- HALLOY, S. R. P. & MARK, A. F. (1996): Comparative leaf morphology spectra of plant communities in New Zealand, the Andes and the European Alps. – *J. of The Royal Society of New Zealand* **26** (1): 41-78.
- HANTEL, M., EHRENDORFER, M. & HASLINGER, A. (2000): Climate sensitivity of snow cover duration in Austria. – *International Journal Climatology* **2**: 615-640.
- HOFER, H. R. (1992): Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. – *Ber. Geobot. Inst. Eidgen. Technischen Hochschule Stiftung Rübel* **58**: 39-54.
- HOLTMEIER, F.-K. (2009): *Mountain timberlines. – Berlin: Springer.*
- HOLTMEIER, F.-K. & BROLL, G. (2005): Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. – *Global Ecology and Biogeography* **14**: 395-410.

- HOLZINGER, B., HÜLBER, K., CAMENISCH, M. & GRABHERR, G. (2008): Changes in plant species richness over the last century in the eastern Swiss Alps: elevational gradient, bedrock effects and migration rates. – *Plant Ecology* **195** (2): 179-196.
- KAMMER, P.M., SCHÖB, C. & CHOLER, P. (2007): Increasing species richness on mountain summits: Upward migration due to anthropogenic climate change or re-colonisation? – *J. of Vegetation Science* **18** (2): 301-306.
- KANKA, R., KOLLAR, J. & BARANČOK, P. (2005): Monitoring of climatic change impacts on alpine vegetation in the Tatry mountains – first approach. – *Ekológia* **24** (4): 411-418.
- KAZAKIS, G., GHOSN, D., VOGIATZAKIS, I. N. & PAPANASTASIS, V. P. (2006): Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Lefka Ori, Crete. – *Biodiversity and Conservation* **16** (6): 1603-1615.
- KLANDERUD, K. & BIRKS, H. J. B. (2003): Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. – *The Holocene* **13**: 1-6.
- KLASNER, F. L. & FAGRE, D. B. (2002): A half century of change in alpine treeline patterns at Glacier National Park, Montana, USA. – *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* **34** (1): 49-56.
- KLEBELSBERG, R. (1913): Das Vordringen der Hochgebirgsvegetation in den Tiroler Alpen. – *Österreichische Botanische Zeitschrift*: **177-187**, 241-254.
- KÖRNER, CH. (1998): A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. – *Oecologia* **115** (4): 445-459.
- KÖRNER, CH. (2003): *Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems.* - 2nd ed. Berlin: Springer.
- KÖRNER, CH. (2008): Winter crop growth at low temperature may hold the answer for alpine treeline formation. – *Plant Ecology & Diversity* **1** (1): 3-11.
- KÖRNER, CH. & PAULSEN, J. (2004): A world-wide study of high altitude treeline temperatures. – *J. of Biogeography* **31** (5): 713-732.
- KUDERNATSCH, T., FISCHER, A., BERNHARD-RÖMERMANN, M. & ABS, C. (2008): Shortterm effects of temperature enhancement on growth and reproduction of alpine grassland species. – *Basic and Applied Ecology* **5** (3): 263-274.
- KULLMAN, L. (2007): Modern climate change and shifting ecological states of the subalpine/alpine landscape in the Swedish Scandes. – *Geoöko* **28**: 187-221.
- KULLMAN L. (2008): Thermophilic tree species invade subalpine Sweden – early responses to anomalous late Holocene climate warming. – *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* **40** (1): 104-110.
- LAMBRECHT, A. & KUHN, M. (2007): Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory. – *Annals of Glaciology* **46** (1): 177-184.
- LARCHER, W., KAINMÜLLER, CH., & WAGNER, J. (2010): Survival types of high mountain plants under extreme temperatures. – *Flora* **205**: 3-18.
- MALANSON, G.P., BROWN, D.G., BUTLER, D.R., CAIRNS, D.M., FAGRE, D.B. & WALSH, S.J. (2009): Ecotone dynamics: Invasibility of alpine tundra by tree species from the subalpine forest. – In: BUTLER, D.R., MALANSON, G.P., WALSH, S.J. & FAGRE, D.B. (eds.): *The changing alpine treeline: The example of Glacier National Park, MT, USA.* – *Developments in earth surface processes* **12**: 35-61.
- MARK, A. F., DICKINSON, K. J. M., MAEGLI, T. & HALLOY, S. R. P. (2006): Two GLORIA long-term alpine monitoring sites established in New Zealand as part of a global network. – *J. of the Royal Society of New Zealand* **36** (3): 111-128.
- MOISEEV, P. A. & SHIYATOV, S. G. (2003): Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural highlands, Russia. - In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH. & THOMPSON, D. B. A. (eds.) *Alpine biodiversity in Europe.* – *Ecological Studies* **167**: 423-435. Berlin: Springer.
- NAGY, L. & GRABHERR, G. (2009): *The biology of alpine habitats.* – Oxford: Oxford University Press.
- OERLEMANS, J. (2005): Extracting a climate signal from 169 glacier records. – *Science* **308** (5722): 675-677.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., DIRNBÖCK, T., DULLINGER, S. & GRABHERR, G. (2003): Assessing the long-term dynamics of endemic plants at summit habitats. - In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH. & THOMPSON, D. B. A. (eds.) *Alpine biodiversity in Europe.* – *Ecological Studies* **167**: 195-207. Berlin: Springer.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., HOHENWALLNER, D., REITER, K., CASALE, R. & GRABHERR, G. (eds.) (2004): *The GLORIA field manual – multi summit approach.* European Commission DG Research. Luxembourg: Office for Publications of the European Community.

- PAULI, H., GOTTFRIED, M., REITER, K., KLETTNER, CH. & GRABHERR, G. (2007): Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. – *Global Change Biology* **13**: 147-156.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., KLETTNER, CH., LAIMER, S. & GRABHERR, G. (2009): A global long-term observation system for mountain biodiversity: Lessons learned and upcoming challenges. - In: SHARMA, E. (ed.) *Proceedings of the International Mountain Biodiversity Conference*, Kathmandu: ICIMOD: 120-128.
- PICKERING, C. & GREEN, K. (2009): Vascular plant distribution in relation to topography, soils and micro-climate at five GLORIA sites in the Snowy Mountains, Australia. – *Australian Journal of Botany* **57**:189-199.
- RÖSSLER, O., BRÄUNING, A. & LÖFFLER, J. (2008): Dynamics and driving forces of treeline fluctuation and regeneration in central Norway during the past decades. – *Erdkunde* **62** (2): 117-128.
- SALICK, J., FANG, Z. & BYG, A. (2009): Eastern Himalayan alpine plant ecology, Tibetan ethnobotany, and climate change. – *Global Environmental Change* **19** (2): 147-155.
- STANISCI, A., PELINO, G. & BLASI, C. (2005): Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy). – *Biodiversity and Conservation* **14**: 1301-1318.
- SWERHUN, K., JAMIESON, G., SMITH, D.J. & TURNER, N.J. (2009): Establishing GLORIA long-term alpine monitoring in southwestern British Columbia, Canada. – *Northwest Science* **83**: 101-116.
- VIRTANEN, R., ESKELINEN, A. & GAARE, E. (2003): Long-term changes in alpine plant communities in Norway and Finland. - In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH. & THOMPSON, D. B. A. (eds.). *Alpine biodiversity in Europe*. – *Ecological Studies* **167**: 411-422, Berlin: Springer.
- VITTOZ, P. & GUISAN, A. (2007): How reliable is the monitoring of permanent vegetation plots? A test with multiple observers. – *J. of Vegetation Science* **19**: 413-422.
- VITTOZ, P., BODIN, J., UNGRICH, S., BURGA, C. A. & WALTHER, G.-R. (2008): One century of vegetation change on Isla Persa, a nunatak in the Bernina massif in the Swiss Alps. – *J. of Vegetation Science* **19**: 671-589.
- WALTHER, G.-R., BEIBNER, S. & BURGA, C. A. (2005). Trends in the upward shift of alpine plants. – *J. of Vegetation Science* **16** (5): 541-548.
- WILSON, S. & NILSSON, CH. (2009): Arctic alpine vegetation change over 20 years. – *Global Change Biology* **15** (7): 1676-1684.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Georg Grabherr, Dr. Harald Pauli, Dr. Michael Gottfried, Universität Wien, Fakultätszentrum für Biodiversität, Department für Naturschutzbiologie, Vegetations- und Landschaftsökologie, Rennweg 14, A-1030 Wien, Österreich

E-mail: georg.grabherr@univie.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Grabherr Georg, Pauli Harald, Gottfried Michael

Artikel/Article: [GLORIA – The Global Observation Research Initiative in Alpine Environments: Status – Ergebnisse – Ausblick 66-80](#)