©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 27, 187-200. Hannover 2015

Alpine Pflanzengesellschaften unter dem Einfluss von Sukzession und Klimawandel

– Brigitta Erschbamer, Roland Mayer, Martin Mallaun & Peter Unterluggauer, Innsbruck –

Abstract

Effects of climate change are major research topics in the Central Alps. Particularly, the actual processes of succession and migration in high altitudes are a matter of debate. With this paper we aimed to contribute to the question if species richness increases with climate warming and whether these processes are caused by species migrations from lower to higher altitudes. The following questions should be answered: How does high altitude vegetation change with time? How does grazing exclusion affect species diversity in high altitudes? Can we disentangle grazing and climate change effects? We compare results of two long term monitoring projects in the Ötztal Alps, one carried out in the Nature Park Texelgruppe (Italy) and one in Obergurgl (Austria). During a period of 8 and 14 years, respectively, an overall increase of species numbers and frequencies were detected in 1 m² permanent plots. In contrast, diversity decreased in the grazing exclusion plots, especially at the subalpine belt. Here, also the floristic turnover was highest. Considering the altitudinal ranks of the species, we observed a significant thermophilization trend at the study areas in the Nature Park Texelgruppe. This was found also at the subnival site in Obergurgl. We concluded that at poorly grazed summits and high-altitude pioneer sites of the Central Alps, species with higher temperature demands or with indifferent altitudinal distribution enhance their frequencies to a higher extent than do cold-adapted species. Within closed grassland communities this process could not be observed.

Key words: Artenturnover, Dauerflächen, Frequenz, GLORIA, Langzeitforschung, LTER, Obergurgl

1. Einleitung

Zahlreiche Forschungsprojekte gehen von der Hypothese aus, dass die Vegetation an und oberhalb der Waldgrenze sehr sensibel auf den Klimawandel reagiert und die Publikationen häufen sich, die ein Höherwandern der Arten aufzeigen (LENOIR et al. 2008, CHEN et al. 2011, ERSCHBAMER et al. 2011, GOTTFRIED et al. 2012, PAULI et al. 2012, STANISCI et al. 2014). Regionale Klimamodelle, beispielsweise jene für die Schweizer Alpen, prognostizieren einen massiven Temperaturanstieg von +3-5°C im Winter und +6-7°C im Sommer bis zum Jahr 2100 (BENISTON 2014). Durch das zunehmend wärmer werdende Klima verbessern sich die Wachstumsbedingungen in höheren Lagen, sodass Arten der tieferen Lagen in Bereiche vordringen können, die für sie bisher zu rau waren bzw. bereits hochgelegene einzelne Vorposten von Tieflagenarten können sich entsprechend ausdehnen (GRABHERR et al. 1994, 1995; PAULI et al. 2003). Änderungen der Artenzusammensetzung bis hin zu Aussterbeprozessen der alpin-nivalen Arten sind die Folge. Hochrechnungen gehen davon aus, dass bis zu 50 % der Hochlagenarten in den Alpen bis zum Jahr 2100 aussterben und durch kon-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

kurrenzkräftige Tieflagenarten ersetzt werden (ROSSI & PAROLO 2005, THUILLER et al. 2005, ENGLER et al. 2011, DULLINGER et al. 2012). Diese Modelle verdeutlichen ein besorgniserregendes Szenario für Hochgebirgsarten, wobei es gerade die seltenen Arten mit von Natur aus eingeschränkter Verbreitung (Endemiten) sind, die es in besonderem Maße treffen würde (DIRNBÖCK et al. 2011). Modelle sprechen zwar auch von einem gewissen Verzögerungseffekt („extinction debt", DULLINGER et al. 2012; „time-lags", ESSL et al. 2015), der bewirkt, dass Arten in ihrem Verbreitungsgebiet noch weiterhin bestehen bleiben, obwohl dieses bereits nicht mehr geeignet für sie ist. Ob diese Persistenzfähigkeit der konkurrenzschwachen alpin-nivalen Arten tatsächlich gegeben sein wird, sei dahin gestellt.

Wie die klimawandelinduzierten Veränderungen im Hochgebirge wirklich ablaufen werden, ist noch weitgehend unklar. KAMMER et al. (2007) äußern sich dahin gehend, dass die in vielen Studien beobachtete Zunahme der Artenzahlen nicht unbedingt auf Migration der Arten von tieferen Standorten her bedingt ist, sondern dass es sich um eine Wiederbesiedelung der Gipfelbereiche handelt, die vor der kleinen Eiszeit (d.h. vor 1600) vermutlich schon einmal besiedelt waren. Folgt man dieser Aussage, dann müssten wir von Sukzessionsvorgängen und nicht vom Höherwandern sprechen. Unbestritten von dieser Debatte laufen Sukzessionsvorgänge auf neu vom Gletschereis befreiten Flächen ab. Junge Gletschervorfelder sind ein Musterbeispiel für Besiedelungsvorgänge im Hochgebirge (ERSCHBAMER et al. 2008, 2012). Sie zeigen uns sehr gut, dass neben den abiotischen Widrigkeiten vor allem die Diasporenlimitierung (ERSCHBAMER 2014) ein entscheidender Faktor ist, der für mangelhafte Ausbreitung und Etablierung verantwortlich gemacht werden kann.

Neben den Effekten des Klimawandels sind im Hochgebirge auch Nutzungsänderungen relevant. Derzeit werden beispielsweise die Bereiche der österreichischen Zentralalpen noch immer zum großen Teil extensiv beweidet. Bei einer Auflassung der Beweidung sind jedoch massive Veränderungen der Artenzusammensetzung und Artenvielfalt vorprogrammiert (MAYER & ERSCHBAMER 2014).

Zur Erforschung all dieser Veränderungen im Lauf der Zeit sind Wiederholungen von alten Vegetationsaufnahmen (HOFER 1992, GOTTFRIED et al. 1994, GRABHERR et al. 1995, BURGA et al. 2004, WALTHER et al. 2005, HOLZINGER et al. 2008) bzw. Langzeit-Monitoring-Programme wie das Projekt GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Envrionments, GOTTFRIED et al. 2012, PAULI et al. 2007, 2012) oder das LTER-Programm (Long-Term Ecosystem Research, MAYER & ERSCHBAMER 2014, MIRTL et al. 2015) unabdingbar. Die vorliegende Studie berichtet über die Monitoring-Programme im Bereich des Alpenhauptkammes in Nord- und Südtirol, wo Dauerflächen von der subalpinen bis zur nivalen Stufe eingerichtet wurden (ERSCHBAMER et al. 2006, 2008, 2010; MAYER & ERSCHBAMER 2014), um die Dynamik der Pflanzengesellschaften entlang von Höhen- und Sukzessionsgradienten zu untersuchen. Ein Vergleich der verschiedenen Monitoring-Programme sollte dabei folgende Fragen beantworten:

- Wie verändert sich die Hochgebirgsvegetation am Alpenhauptkamm im Lauf der Zeit?
- Laufen hier Wiederbesiedelungsvorgänge ab oder migrieren Arten aus tieferen Lagen immer weiter nach oben?
- Wie wirkt sich der Weideausschluss auf die Artenvielfalt aus?
- Lassen sich Effekte des Klimawandels und der Beweidung trennen?

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

2. Material und Methoden

Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungsgebiete liegen in den Ötztaler Alpen, auf der Nord- (Obergurgl, Ötztal, Tirol, Österreich) und Südabdachung des Alpenhauptkammes (Naturpark Texelgruppe, Südtirol, Italien). Beide Gebiete werden vom Ötztal-Stubai-Komplex bestimmt, der vor allem aus Paragneisen (Biotitplagioklasgneis) und Glimmerschiefern zusammengesetzt wird (KRAINER 2010). Im inneren Ötztal bis hinab zur Südabdachung des Alpenhauptkammes (Pfossental, Naturpark Texelgruppe) wirkt sich zudem der Schneeberg Komplex aus, der aus Granatglimmer- und Hornblendegarben-Schiefern, Amphiboliten und Marmoren zusammengesetzt ist (KRAINER 2010). Beide Komplexe sind Teil des ostalpinen Deckensystems.

Das Gebiet in Obergurgl zählt zu den LTER (Long-Term Ecosystem Research)-Standorten der Plattform Tyrolean Alps (LTER Austria, http://www.lter-europe.net/networks/austria, MIRTL et al. 2015). Entlang eines Höhengradienten von 1950 bis 2830 m Meereshöhe wurden Dauerflächen von 1 m² Größe markiert (Tab. 1, Abb. 1), wobei an vier Standorten auch Weideausschlüsse errichtet wurden. Ein Großteil der Flächen wurde bereits im Jahr 2000 eingerichtet. Im Gletschervorfeld des Rotmoosferners begann die Untersuchung im Jahre 2001 mit Weideausschlussflächen und Kontrollen auf der Moräne des Gletscherstandes 1858.

Tab.1: Untersuchungsstandorte in Obergurgl, Meereshöhe, Gesellschaft, die zwei häufigsten Arten, Untersuchungsbeginn und Anzahl der Dauerflächen à 1 m². * = eine Weideausschlussfläche von 12 x 12 m, ** = eine Weideausschlussfläche von 12 x 12 m und zwei von 6 x 6 m pro Standort. Nomenklatur der Arten: FISCHER et al. (2008).

Standort	Meereshöhe	Gesellschaft	Häufigste Arten	Start	Anzahl der Dauerflächen
S1*	1960 m	subalpine Weide	*Agrostis capillaris, Festuca rubra*	2000	3 beweidet, 3 unbeweidet
S2	2080 m	*Vaccinium*-Heide	*Vaccinium myrtillus, V. vitis-idaea*	2000	6 beweidet
S3	2250 m	*Loiseleuria*-Heide	*Loiseleuria procumbens, Cetraria islandica*	2000	6 beweidet
S4a	2300 m	Rasen	*Nardus stricta, Carex semper-virens*	2003	6 beweidet
S4b*	2300 m	Inititalrasen-1858er Moräne	*Kobresia myosuroides, Poa alpina*	2001	3 beweidet, 3 unbeweidet
S5**	2300 m	Rasen	*Nardus stricta, Scorzoneroides helvetica*	2000	6 beweidet, 6 unbeweidet
S6a	2350 m	Schipiste	*Festuca rubra, Poa alpina*	2000	3 beweidet
S6b	2350 m	Zwergstrauchheide/ Schipiste	*Loiseleuria procumbens, Avenula versicolor*	2000	3 beweidet
S7**	2600 m	Rasen	*Carex curvula, Avenula versicolor*	2000	6 beweidet, 6 unbeweidet
S8	2790 m	Rasen	*Festuca pumila, Kobresia myosuroides*	2000	6 beweidet

Beim Untersuchungsgebiet im Naturpark Texelgruppe handelt es sich um die GLORIA-Station IT_TEX (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments; www.gloria.ac.at). Die Station wurde 2003 gemäß dem GLORIA Manual (PAULI et al. 2001) errichtet. Dazu wurden vier Gipfel vom Waldgrenzökoton bis zum subnivalen Ökoton ausgewählt, FAG: 2180 m, SBG: 2619 m, DWO: 3074 m, KAS: 3287 m (Abb. 2); FAG und SBG liegen im Kalmtal (Passeiertal), DWO und KAS im Pfossental (Schnalstal). Im Bereich der 5 m-Höhenlinie unterhalb des höchsten Gipfelpunktes wurden in jeder der Haupthimmelsrichtungen je 4 x 1 m²-Flächen eingemessen und dauerhaft markiert. Auf Grund der Topographie konnten allerdings nur zwischen 10 und 15 Flächen pro Gipfel aufgenommen werden..

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Abb. 1: Untersuchungsstandorte in Obergurgl. Jeweils von links nach rechts: S1, S2, S3, S5 = beweidet, S5 Weideausschluss, S7 beweidet, S6a (beweidete Schipiste, inklusive S6b), S8 beweidet, S4b Weideausschluss im Gletschervorfeld des Rotmoosferners. Für alle übrigen Beschreibungen s. Tab. 1.

Abb. 2: Die vier GLORIA-Gipfel im Naturpark Texelgruppe (IT_TEX): oben links FAG 2180 m, oben rechts SBG 2619 m, unten links DWO 3074 m, unten rechts KAS 3287 m.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Methodik

In bestimmten zeitlichen Intervallen wurden alle Dauerflächen einer Frequenzanalyse unterzogen, wobei ein Frequenzrahmen, unterteilt in 100 Teilflächen à 10 x 10 cm verwendet wurde. Das Vorhandensein der Arten wurde in den jeweiligen Teilflächen erhoben und in % der Gesamtfläche angegeben.

Die Veränderungen der Artenzahlen in den Flächen werden in der vorliegenden Arbeit von der ersten Aufnahme bis zur jeweils letzten Wiederholung berechnet und als mittlere Änderung pro Jahr dargestellt. Um den floristischen Turnover in den verschiedenen Untersuchungsgebieten vergleichen zu können, wurde eine Zeitspanne von 8 Jahren ausgewählt und die Aufnahmen von 2003 und 2011 verglichen. Der floristische Turnover wurde mit Hilfe einer detrended correspondence analysis (DCA) im Programm CANOCO 5.0 berechnet. Diese Methode eignet sich deshalb gut, weil Werte für die β-Diversität ermittelt und in floristischen Einheiten ausgedrückt werden (ROBBINS & MATTHEWS 2009, FREEMAN & KOBZIAR 2011). Die Scores der ersten beiden DCA-Achsen wurden zusätzlich einer Hauptkomponentenanalyse (PCA principal components analysis) unterzogen, um zufällige Muster zu glätten. Die Differenz auf der PCA-Achse 1 zwischen dem ersten (2003) und dem letzten Jahr (2011) der Aufnahmen ist ein Schätzmaß für den floristischen Turnover. Um die einzelnen Standorte miteinander vergleichen zu können, wurden diese Werte durch die Eigenvalues der jeweiligen 1. PCA-Achse gewichtet (DEL MORAL & CHANG 2015).

Die Höhenverbreitung der einzelnen Arten wurde aus den für das Gebiet relevanten Floren entnommen (FISCHER et al. 2005, AESCHIMANN et al. 2004) und als Höhenzahl definiert (Tab. 2). Für einige Arten des GLORIA-Gebietes Texelgruppe lagen bereits die Höhenzahlen aus der Publikation von GOTTFRIED et al. (2012) vor. Die Frequenzen der Arten wurden mit der jeweiligen Höhenzahl multipliziert und pro Fläche aufsummiert. Um eine Gewichtung der Werte durchzuführen, wurde dieses Ergebnis durch die Gesamtfrequenzsumme aller Arten dividiert. Für Vergleiche der Frequenzsummen zwischen den Untersuchungsjahren 2003 und

Tab. 2: Höhenzahlen der Arten (H) von 1-6 und Beschreibung des jeweiligen Verbreitungsschwerpunktes.

H	Beschreibung des Verbreitungsschwerpunktes
1	nival
2	alpin-nival, nicht bis zur Waldgrenze herab vorkommend
3	alpin, nicht bis in die montane Stufe herab vorkommend
4	alpin, aber auch bis in die montane Stufe oder subalpin-alpin
5	Waldgrenzökoton oder montan bis alpin
6	montan oder montan bis zur Waldgrenze hinauf vorkommend

2008 wurden gepaarte sowie unverbundene t-Tests verwendet und diese in SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., 2008) berechnet. Für den Vergleich von mehreren Gruppen wurden One-Way ANOVAs bzw. wenn die Normalverteilung und/oder Homogenität der Varianzen nicht gegeben war, eine ANOVA auf Ränge durchgeführt und zusätzlich die Signifikanz der Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen durch Post-hoc Tests (Tukey bzw. Duncan) ermittelt. Für Mittelwertsvergleiche wurde auch das Programm IBM SPSS Statistics 21 verwendet.

Für die Standorte in Obergurgl wurden die Veränderungen der Frequenzsummen über die Jahre hinweg mit Hilfe von „species response curves“ (Generalized Additive Model, df = 2) in CANOCO 5.0 dargestellt.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Effekte des Weideausschlusses und der Mikroklimafaktoren wurden im Programm CANOCO 5.0 mit Hilfe einer „variance partitioning“ untersucht. Dadurch wurde ermittelt, welche Erklärungskraft die jeweiligen Effekte (conditional effects) haben und welchen Anteil sie miteinander teilen (ŠMILAUER & LEPŠ 2014). Der Weideeffekt wurde für die aufeinanderfolgenden Jahre berechnet (J_{lin}*EX). Als Mikroklimawerte wurden die Bodentemperaturen herangezogen, welche im Untersuchungszeitraum mittels Datenlogger in 10 cm Tiefe gemessen wurden. Die mittleren täglichen Minima (J_{min}) bzw. die Vegetationsperiode (VegPer, Tagesminima > 0°C) erwiesen sich als aussagekräftigste Parameter.

3. Ergebnisse

Änderungen der Artenzahlen

Alle beweideten Vegetationstypen in Obergurgl ebenso wie die GLORIA-Flächen im Naturpark Texelgruppe wiesen im Lauf der Zeit eine Zunahme der Artenvielfalt auf (Abb. 3), wobei die GLORIA-Flächen die geringsten Änderungen pro m² und Jahr zeigten. Die höchsten Zunahmen an Arten wurden mit + 0,67 Arten pro Jahr auf der Schipiste in Obergurgl festgestellt. Diese Dauerflächen unterschieden sich allerdings nur schwach signifikant von der angrenzenden Zwergstrauchheide und den beiden übrigen -heiden in der subalpinen Stufe (p = 0,065). Vergleicht man Weideausschluss- und Kontrollflächen von der subalpinen zur oberen alpinen Stufe, so fallen Verluste in den Weideausschlussflächen auf, mit starken Rückgängen der Artenvielfalt in der subalpinen (S1EX, Abb. 3) und in der unteren alpinen Stufe (S5EX, Abb. 3). Die Rückgänge in der oberen alpinen Stufe waren im Vergleich dazu sehr gering (S7EX, Abb. 3). Generell konnte eine hohe Variabilität festgestellt werden. Dies gilt auch für die Kontrollflächen, deren Zuwachs pro Jahr zwischen + 0,06 Arten (S5CO, Abb. 3)

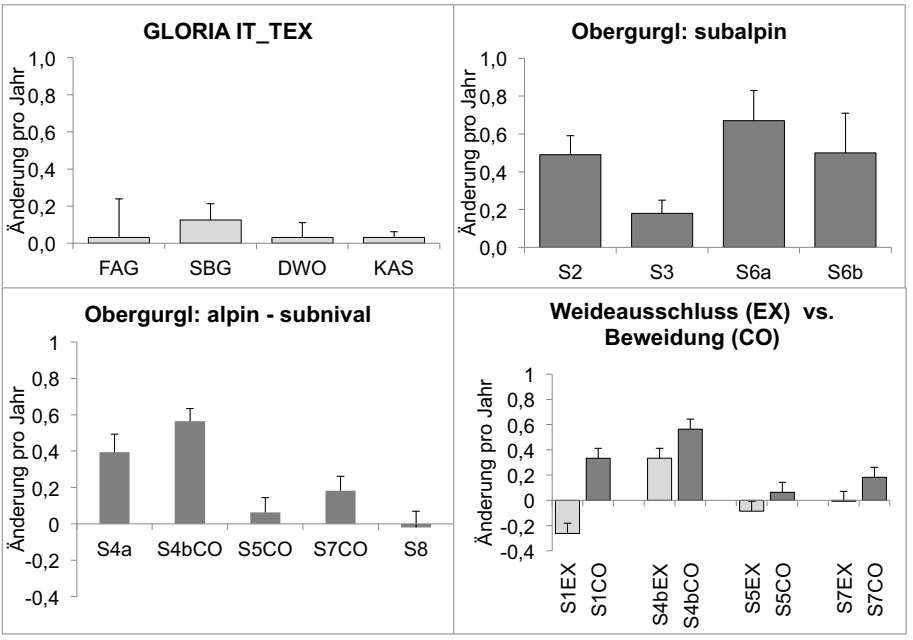

Abb. 3: Änderung der Artenzahlen pro Jahr in den GLORIA-Flächen des Naturparks Texelgruppe (links oben), in den subalpinen Flächen in Obergurgl (rechts oben), in den alpinen und subnivalen Flächen (links unten) und in den Weideausschluss- (EX) bzw. Kontrollflächen (CO, rechts unten). Mittelwerte und Standardfehler sind dargestellt. Abkürzungen der Standorte in Tab. 1.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

und + 0,33 Arten (S1CO, Abb. 3) lag. Im Gletschervorfeld wiesen sowohl Ausschluss- als auch Kontrollflächen eine Zunahme der Artenzahlen auf (Abb. 3).

Floristischer Turnover

Im Zeitraum 2003-2011 wurde für die GLORIA-Flächen der signifikant höchste Turnover auf dem höchsten Gipfel verzeichnet (Abb. 4). Er liegt im Schwankungsbereich der meisten subalpinen Flächen von Obergurgl, so z.B. der *Vaccinium*-Heide (S2, Abb. 4), der Schipiste (S6a) und der dort angrenzenden Zwergstrauchheide (6b) bzw. des subnivalen Standortes (S8). Abb. 4 zeigt auch sehr deutlich den höheren Turnover in den Weideausschlussflächen im Vergleich zu den Kontrollflächen. Betrachtet man die Artenzusammensetzung der neu dazugekommenen Arten im Untersuchungsgebiet Obergurgl, so fällt mit *Pinus cembra* in der *Loi-*

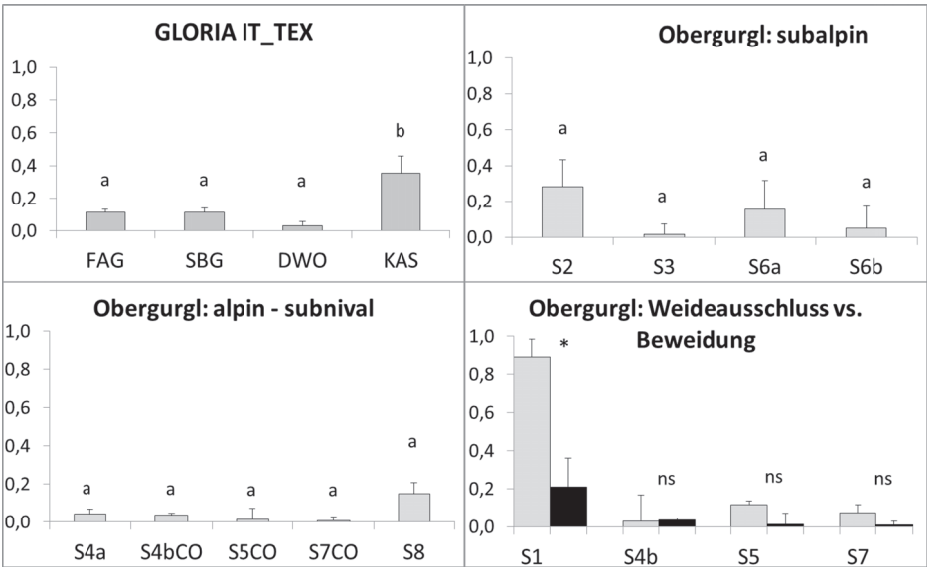

Abb. 4: Floristischer Turnover im Bereich der GLORIA-Gipfel (links oben), der alpinen und subnivalen Standorte (rechts oben), der Weideausschluss- (graue Balken) und beweideten Flächen (schwarze Balken, links unten) und der subalpinen Standorte in Obergurgl (rechts unten). Gewichtete Mittelwerte und Standardfehler sind dargestellt. * $p<0.05$, ns = nicht signifikant; ungleiche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede.

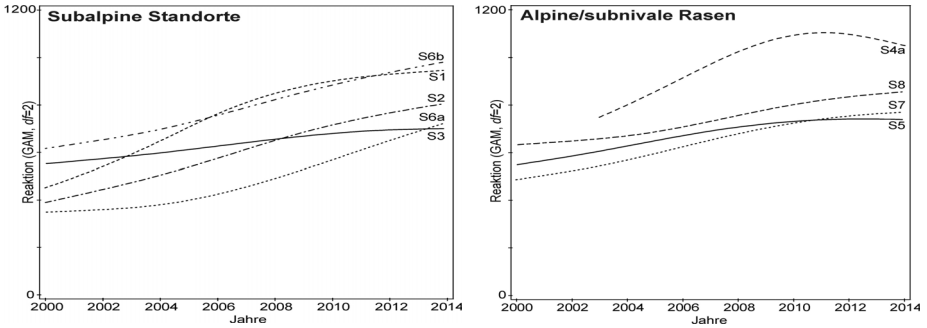

Abb. 5: Regressionen der Frequenzänderungen in den beweideten Rasen der subalpinen Standorte in Obergurgl (links) und der alpinen und subnivalen Rasen (rechts). Beschreibung der Standorte s. Tab. 1

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

seleuria-Heide eine Art auf, die in der Umgebung des Standortes fehlt. Alle übrigen Neuankömmlinge waren in der Nähe der jeweiligen Dauerflächen zu finden. Ähnliches gilt für die GLORIA-Flächen. Am niedrigsten Gipfel fiel dort als Neuankömmling *Picea abies* auf.

Änderung der Frequenzen

Die Frequenzen der Arten nahmen in allen beweideten Dauerflächen in Obergurgl zu (Abb. 5). Dies gilt auch für die Weideausschlussflächen (Ergebnisse nicht dargestellt). Auch in den GLORIA-Flächen nahmen die Frequenzen von 2003 bis 2011 zu (Abb. 6). Bemerkenswert war die signifikante Zunahme auf dem höchsten Gipfel, wo 8 von 10 Flächen, die bei der Erst-

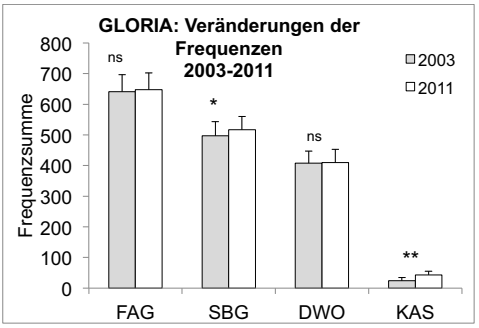

Abb. 6: Veränderungen der Frequenzsummen 2003-2011 an den GLORIA-Standorten. ** p<0.01, * p<0.05, ns = nicht signifikant

aufnahme noch ohne Bewuchs waren, im Jahr 2011 mit *Stereocaulon alpinum* bewachsen waren. Massive Frequenzzunahmen zeigten hier auch *Cerastium uniflorum, Poa laxa* und teilweise auch *Saxifraga bryoides*.

Änderung der Höhenzahlen

Die GLORIA-Gipfel des Naturparks Texelgruppe wiesen, mit Ausnahme des zweithöchsten Gipfels, einen signifikanten Thermophilisierungstrend auf (Tab. 3), d.h. Arten mit Höhenzahlen 4 - 6 (Tab. 2) nahmen stärker zu als Arten mit Höhenzahlen 1-3. An den meis-

Tab. 3: Thermophilisierungstrend (+ = wärmeliebende Arten nehmen stärker als kälteadaptierte) auf der Gipfeln im Naturpark Texelgruppe (IT_TEX) und an den Standorten in Obergurgl (s. Tab. 1). ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, ns = nicht signifikant.

Untersuchungsgebiet	Standorte	Meereshöhe	Trend	Signifikanz
Gloria IT_TEX	FAG	2180 m	+	***
	SBG	2619 m	+	**
	DWO	3074 m		ns
	KAS	3287 m	+	*
Obergurgl	S1 - S7	1960-2600 m		ns
	S8	2790 m	+	**

ten Standorten in Obergurgl war kein eindeutiger Trend auszumachen. Nur der Standort S8 (subnivale Stufe) folgte einem signifikanten Trend, wobei auch hier „wärmeliebende" Arten stärker zunahmen als kälteadaptierte.

Weideeffekte vs. Mikroklimaeffekte

In Obergurgl überwogen die Weideeffekte gegenüber den Mikroklimaeffekten, allerdings war die erklärte Varianz je nach Standort sehr verschieden (Tab. 4). Interaktionseffekte zwi-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Tab. 4: Effekte des Weideausschlusses und des Mikroklimas auf die Vegetation von drei beweideten Standorten in Obergurgl (S1 subalpin, S5 unteralpin, S7 oberalpin). Es wird nur jener Mikroklimaeffekt dargestellt, der am Standort die höchste Wirkung ausübt. Angegeben sind die erklärte Varianz in %, df = Anzahl der Freiheitsgrade und die Signifikanz (p-Werte, fett gedruckte Zahllen sind signifikant). J_{lin}*EX = Weideausschlusseffekt, J_{min} = mittlere tägliche Minima pro Jahr, VegPer = Vegetationsperiode in Tagen pro Jahr.

Standort	Jahre	Effekt	Erklärte Varianz (%)	df	p-Wert
S1	4	J_{lin}*EX	40,3	2	**0,050**
S1	4	J_{min}	4,8	1	0,089
S1	4	J_{lin}*EX+J_{min}	2,0	-	
S5	7	J_{lin}*EX	9,3	2	**0,020**
S5	7	VegPer	0,8	1	0,758
S5	7	J_{lin}*EX+VegPer	8,5	-	
S7	8	J_{lin}*EX	31,9	2	**0,002**
S7	8	VegPer	1,3	1	0,950
S7	8	J_{lin}*EX+VegPer	1,3	-	

schen Weideausschluss und Mikroklima spielten vor allem in der unteralpinen Stufe (S5, Tab. 4) eine größere Rolle.

4. Diskussion

Die Hochgebirgsvegetation der Zentralalpen veränderte sich zwar langsam, aber kontinuierlich mit der Zeit. In allen beweideten Dauerflächen wurden Artenzunahmen verzeichnet. Dies stimmt mit zahlreichen Studien in den Alpen und in Skandinavien überein (WALTHER et al. 2005, PAULI et al. 2007, LENOIR et al. 2008, KULLMAN 2010, ERSCHBAMER et al. 2011) ebenso wie mit den Ergebnissen aus den temperaten Gebirgen des Europa-weiten GLORIA-Projektes (PAULI et al. 2012, GOTTFRIED et al. 2012). Gletschervorfeld- (S4bCO) und Schipistenflächen (S6a) hatten die höchsten Änderungsraten der Artenzahlen. CANNONE & PIGNATTI (2014) interpretierten eine ähnlich hohe Dynamik in Pionierflächen des Stilfserjoch Nationalparks als Auffüllungsprozess, wobei Arten aus der Umgebung die existierenden Lücken neu besiedelten. Dies gilt in besonderem Maße auch für die in der vorliegenden Studie untersuchten Dauerflächen, sowohl für jene im Rotmoos-Gletschervorfeld in Obergurgl als auch für jene der subnivalen/nivalen GLORIA-Flächen im Naturpark Texelgruppe. Am höchsten GLORIA-Gipfel in 3287 m Meereshöhe waren deutliche Auffüllungsvorgänge zu verzeichnen: die Frequenzen der meisten Arten stiegen an und neue Flächen wurden besiedelt. Diese Vorgänge entsprechen eher der von KAMMER et al. (2007) postulierten Re-Kolonisierung und weniger den Migrationsprozessen wie sie für Gipfellagen beschrieben wurden (GRABHERR et al. 1994, WALTHER et al. 2005, LENOIR et al. 2008).

Ein Höherwandern ist anhand der Artengarnitur nicht so eindeutig festzustellen. Jungbäume bzw. Baumkeimlinge wurden nur sehr spärlich beobachtet, so z.B. auf dem niedrigsten GLORIA-Gipfel der Texelgruppe (*Picea abies*) und in der *Loiseleuria*-Zwergstrauchheide in Obergurgl (*Pinus cembra*). In beiden Fällen liegt die aktuelle Waldgrenze deutlich niedriger (2000-2100 m). Keimung und juveniles Wachstum von Bäumen oberhalb der Waldgrenze ist unter den herrschenden Klimabedingungen durchaus möglich (ERSCHBAMER et al. 2011, ZURBRIGGEN et al. 2014). Die Frage bleibt natürlich, ob sie dauerhaft überleben können. Mittlerweile wird jedoch aus unterschiedlichen Gebieten des eurasiatischen Raumes ein Vorrücken der Wald- und Baumgrenze bestätigt (KULLMAN 2002, 2007; MOISEEV & SHIYA-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

TOV 2003, KAPRALOV et al. 2006, GEHRIG-FASEL et al. 2007, VITTOZ et al. 2008, KHARUK et al. 2009). Außer den wenigen Jungbäumen wiesen die Dauerflächen keine Neuankömmlinge aus tieferen Lagen auf. VITTOZ et al. (2009) betonten, dass in subalpinen Rasen neue krautige Arten kaum eine Chance hätten, da die geschlossene Rasendecke ein Einwandern verhindert. Daher konnten die Autoren nur geringe Änderungen der Artenzusammensetzung in den Schweizer Untersuchungsflächen (Schynige Platte und Vallon de Nant) feststellen. Ähnliches scheint zunächst auch für die Bestände in Obergurgl und für die GLORIA-Flächen in der Texelgruppe zu gelten. Berücksichtigt man für die Änderung der Frequenzen allerdings die Höhenzahlen der Arten, so ergibt sich in den GLORIA-Flächen ein signifikanter Thermophilisierungstrend in Form einer Zunahme von Arten mit höheren Wärmeansprüchen oder indifferentem Verhalten im Vergleich zu einer Abnahme an Arten der kühleren Standorte. Dies entspricht genau den Vorgängen, wie sie im GLORIA-Projekt der Dolomiten (ERSCHBAMER et al. 2011) und auf europäischer Ebene (GOTTFRIED et al. 2012) festgestellt wurden. Interessant ist, dass in Obergurgl nur in den höchst gelegenen Dauerflächen ein signifikanter Thermophilisierungstrend zu verzeichnen war, während alle übrigen Flächen zwar eine Frequenzzunahme der Arten aus tieferen Lagen aufwiesen, die jedoch nicht signifikant höher war als die Zunahme an Arten, die ihren Schwerpunkt in den Hochlagen haben. Thermophilisierung findet offensichtlich nur in den relativ offenen, pionierhaften Beständen der Gipfelregionen und der Pionierstandorte statt.

Die hohen jährlichen Änderungen der Artenzahlen und der Frequenzen auf der Schipiste in Obergurgl sind vor allem auf einwandernde Gräser (*Agrostis capillaris, A. rupestris, Anthoxanthum alpinum, Avenella flexuosa, Festuca halleri*), aber auch auf die bereits von GRABHERR (1987) identifizierten „Zunehmer" der Scherstellen im Bereich der Schipisten (*Euphrasia minima, Phyteuma hemisphaericum, Vaccinium gaultherioides*) und auf Arten mit hoher Samenproduktion bzw. Kurzlebigkeit (*Sagina saginoides*) zurückzuführen. Jährliche Düngung (MAYER & ERSCHBAMER 2010) fördert hier wohl im Besonderen das Wachstum der Gräser, der kurzlebigen Arten und der Arten mit klonalem Wachstum.

Eine Auflassung der Beweidung führt mit der Zeit zu massiven Diversitätsverlusten, insbesondere in den Weideausschlussflächen der subalpinen Stufe und mit abnehmender Tendenz auch in der unteren und oberen alpinen Stufe. Damit konnten die Szenarien von DIRNBÖCK et al. (2003) bzw. DULLINGER et al. (2004) bestätigt werden. Funktionelle Gruppen waren unterschiedlich stark betroffen (MAYER & ERSCHBAMER 2014). Offensichtlich können die insgesamt langsam und niedrig wachsenden alpinen Arten ihre Frequenz nicht so massiv steigern wie beispielsweise die Hochstauden in der subalpinen Stufe (MAYER & ERSCHBAMER 2014), die nach einem 14jährigen Weideausschluss die Flächen bereits optisch prägen. Diversitätsänderungen bedeuten hier vor allem eine Änderung der Bestandesstruktur, der Ökosystemleistungen und des ästhetischen Aspekts. Die Weideausschlussflächen des Gletschervorfeldes verhalten sich im Gegensatz zu jenen der subalpinen und alpinen Standorte völlig verschieden: die Artenzahl erhöhte sich nämlich genauso wie in den beweideten Flächen. Hier bieten die noch unvollständig geschlossenen Initialrasen (RAFFL et al. 2006) immer noch ausreichend Bestandeslücken für Neubesiedelung und Frequenzzunahme unabhängig von den Effekten der Beweidung.

Effekte der Beweidung und des Klimawandels lassen sich meist nur sehr schwer abtrennen. Erste Berechnungen zeigten jedoch, dass dies sehr wohl möglich ist. Eine detaillierte statistische Analyse steht zwar noch aus, aber für die Flächen in Obergurgl ergab sich bereits jetzt, dass die Weideeffekte bei weitem jene des Mikroklimas übersteigen.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Zusammenfassung

Effekte des Klimawandels sind wichtige Forschungsthemen in den Zentralalpen. Die vorliegende Untersuchung möchte einen Beitrag leisten zur Debatte ob im Hochgebirge Wiederbesiedelungsprozesse ablaufen oder ob Arten aus tieferen Lagen immer weiter nach oben wandern. Insgesamt sollten folgende Fragen geklärt werden: Wie verändert sich die Hochgebirgsvegetation am Alpenhauptkamm im Lauf der Zeit? Wie wirkt sich ein Weideausschluss auf die Artenvielfalt aus? Lassen sich Effekte des Klimawandels und der Beweidung trennen? Verglichen wurden die Ergebnisse von zwei Langzeitprojekten in den Ötztaler Alpen, u.z. jene der GLORIA-Region IT_TEX im Naturpark Texelgruppe (Italien), und jene der LTER-Station Obergurgl (Österreich). In einem Zeitraum von 8 bzw. 14 Jahren zeigte sich generell eine Zunahme der Artenvielfalt und der Frequenzen in 1 m² großen Dauerflächen. Im Gegensatz dazu verringerte sich die Diversität in Weideausschlussflächen vor allem in der subalpinen Stufe drastisch. Hier war auch der floristische Turnover am höchsten. Berechnet man die Veränderungen anhand der Höhenzahlen, fällt in der GLORIA-Region ein signifikanter Thermophilisierungstrend auf. Dieser gilt auch für den subnivalen Standort in Obergurgl. In hochgelegenen, schwach beweideten und pionierhaften Gesellschaften, wie es die meisten Gipfelregionen sind, dehnen sich Arten mit höheren Wärmeansprüchen oder indifferentem Verbreitungsareal stärker aus als die kälteadaptierten Arten. In geschlossenen subalpinen und alpinen Gesellschaften in Obergurgl war keine Thermophilisierung nachzuweisen.

Danksagung

Das Projekt GLORIA im Naturpark Texelgruppe wurde vom Amt für Naturparke und vom Südtiroler Wissenschaftsfonds, Autonome Provinz Bozen Südtirol gefördert. Das Monitoringprojekt in Obergurgl wurde von folgenden Institutionen gefördert: Abteilung Umweltschutz, Land Tirol; Forschungszentrum Berglandwirtschaft, Universität Innsbruck; Österreichische Akademie der Wissenschaften (MAB-Programm), Alpine Forschungsstelle, Universität Innsbruck. Wir bedanken uns bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Georg Grabherr und der GLORIA-Koordinationsgruppe. Ein großer Dank gebührt dem Initiator des Monitoring-Projektes in Obergurgl, Herrn Ao. Univ.-Prof. Dr. Rüdiger Kaufmann.

Literatur

ALTESOR, A., OESTERHELD, M., LEONI, E., LEZAMA, F. & RODRIGUEZ, C. (2005): Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. – Plant Ecol. **179**: 83-91.

AESCHIMANN, D., LAUBER, K., MOSER, D.M. & THEURILLAT, J.-P. (2004): Flora Alpina. – Haupt Verlag, Bern.

BENISTON, M. (2014): Climate change and impacts in mountains. In: Wuillermoz, E., Toffolou, R. & Cortinovis, A. (eds.) Proceedings International Conference on Mountains and Climate Change "High Summit". – CRI, Roma: 37-50.

BOHNER, A., STARLINGER, F. & KOUTECKY, P. (2012): Vegetation changes in an abandoned montane grassland, compared to changes in a habitat with low-intensity sheep grazing – a case study in Styria, Austria. – eco.mont **4**: 5-12.

BURGA, C.A., WALTHER, G.R. & BEISSNER, S. (2004): Florenwandel in der alpinen Stufe des Berninagebiets - ein Klimasignal. – Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. **16**: 57-66.

CANNONE, N. & PIGNATTI, S. (2014): Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes? – Climatic Change **123**: 201-214.

CHEN, I.C., HILL, J.K., OHLEMULLER, R., ROY, D.B. & THOMAS, C.D. (2011): Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. – Science **333**: 1024-1026.

DEL MORAL, R. & CHANG, C. (2015): Multiple assessments of succession rates on Mount St. Helens. – Plant Ecology **216**(1): 165-176.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

DIRNBÖCK, T., DULLINGER, S. & GRABHERR, G. (2003): A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. – J. Biogeogr. **30**: 401-417.

DIRNBÖCK, T., ESSL, F. & RABITSCH, W. (2011): Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. – Glob. Change Biol. **17**: 990-996.

DULLINGER, S., DIRNBÖCK, T., GREIMLER, J. & GRABHERR, G. (2004): A resampling approach for evaluating effects of pasture abandonment on subalpine plant species diversity. – J. Veg. Sci. **14**: 243-252.

DULLINGER, S., GATTRINGER, A., THUILLER, W., MOSER, D., ZIMMERMANN, N.E., GUISAN, A., WILLNER, W., PLUTZAR, C., LEITNER, M., MANG, T., CACCIANIGA, M., DIRNBÖCK, T., ERTL, S., FISCHER, A., LENOIR, J., SVENNING, J.-C., PSOMAS, A., SCHMATZ, D.R., SILC, U., VITTOZ, P. & HÜLBER, K. (2012): Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first century climate change. – Nature Climate Change **2**: 619-622.

ENGLER, R., RANDIN, C.F., THUILLER, W., DULLINGER, S., ZIMMERMANN, N.E., ARAUJO, M.B., PEARMAN, P.B., LE LA, G., PIEDALLU, C., ALBERT, C.H., CHOLER, P., COLDEA, G., DE LAMO, X., DIRNBÖCK, T., GEGOUT, J.C., GOMEZ-GARCIA, D., GRYTNES, J.A., HEEGAARD, E., HOISTAD, F., NOGUES-BRAVO, D., NORMAND, S., PUSCAS, M., SEBASTIA, M.T., STANISCI, A., THEURILLAT, J.P., TRIVEDI, M.R., VITTOZ, P. & GUISAN, A. (2011): 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. – Glob. Change Biol. **17**: 2330-2341.

ERSCHBAMER, B., MALLAUN, M. & UNTERLUGGAUER, P. (2006): Plant diversity along altitudinal gradients in the Southern and Central Alps of South Tyrol and Trentino (Italy). – Gredleriana **6**: 1-22.

ERSCHBAMER, B., NIEDERFRINIGER SCHLAG, R. & WINKLER, E. (2008): Colonization processes on a central Alpine glacier foreland. – J. Veg. Sci. **19**: 855-862.

ERSCHBAMER, B., MALLAUN, M., UNTERLUGGAUER, P. ABDALADZE, O., AKHALTKATSI, M. & NAKHUTSRISHVILI, G. (2010): Plant diversity along altitudinal gradients in the Central Alps (South Tyrol, Italy) and in the Central Greater Caucasus (Kazbegi region, Georgia). – Tuexenia **30**: 11-29.

ERSCHBAMER, B., UNTERLUGGAUER, P., WINKLER, E. & MALLAUN, M. (2011): Changes in plant species diversity revealed by long-term monitoring on mountain summits in the Dolomites (Northern Italy). – Preslia **83**: 387-401.

ERSCHBAMER, B., BÖSCH, D., FLEISCH, M., PEINTNER, U. & SCHWIENBACHER, E. (2012): Keimung und Etablierung im Gletschervorfeld in Abhängigkeit von abiotischen und biotischen Faktoren. – Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. **24**: 89-102.

ERSCHBAMER, B. (2014): How fast does glacier foreland colonisation proceed? In: Erschbamer, B., Gobbi, M., Kaufmann, R., Lencioni, V. & Schallhart, N. (eds.) Workshop: Ecology of Glacier Forelands. Sept. 17-21, 2014; Obergurgl (Austria), 16-17.

ESSL, F., DULLINGER, S., RABITSCH, W., HULME, P.E., PYŠEK, P., WILSON, J.R.U. & RICHARDSON, D.M. (2015): Historical legacies accumulate to shape future biodiversity in an era of rapid global change. – Diversity Distrib. **2015**: 1-14.

FISCHER, M. A., ADLER, W. & OSWALD, K. (2005): Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. – 2. verb. u. erw. Aufl., Land Oberösterreich, OÖ Landesmuseen, Linz.

FISCHER, M.A., OSWALD, K. & ADLER, W. (2008): Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. – 3. Aufl., Land Oberösterreich, OÖ Landesmuseen, Linz.

FREEMAN, J.E. & KOBZIAR, L.N. (2011). Tracking postfire successional trajectories in a plant community adapted to high-severity fire. – Ecological Applications **21(1)**: 61-74.

GEHRIG FASEL, J., GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N.E. (2007): Tree line shifts in the Swiss Alps: climate change or land abandonment? – J. Veg. Sci. **18**: 571-582.

GOTTFRIED, M., PAULI, H. & GRABHERR, G. (1994): Die Alpen im „Treibhaus“: Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation. – Jahrb. Ver. Schutz Bergw. **59**: 13-27.

GOTTFRIED, M., PAULI, H., FUTSCHIK, A., AKHALTKATSI, M., BARANCOK, P., BENITO ALONSO, J.L., COLDEA, G., DICK, J., ERSCHBAMER, B., FERNÁNDEZ CALZADO, M.R., KAZAKIS, G., KRAJCI, J., LARSSON, P., MALLAUN, M., MICHELSEN, O., MOISEEV, D., MOISEEV, P., MOLAU, U., MERZOUKI, A., NAGY, L., NAKHUTSRISHVILI, G., PEDERSEN, B., PELINO, G., PUSCAS, M., ROSSI, G., STANISCI, A., THEURILLAT, J.-P., TOMASELLI, M., VILLAR, L., VITTOZ, P., VOGIATZAKIS, I. & GRABHERR, G. (2012): Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. – Nature Climate Change **2**: 111-115.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

GRABHERR, G. (1987): Tourismusinduzierte Störungen, Belastbarkeit und Regenerationsfähigkeit der Vegetation in der alpinen Stufe. In: PATZELT, G. (Hrsg.) MaB-Projekt Obergurgl. – Veröff. Österr. MaB-Progr. Bd. 10, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 243-256

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

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., GRUBER, A. & PAULI, H. (1995): Patterns and current changes in alpine plant diversity. In: Chapin III, F.S. & Körner, C. (eds) Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences. – Ecol. Stud. **113**, Springer, Berlin, 167-181.

HOFER, H.R. (1992): Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. – Ber. Geobot. Inst. ETH, Stift. Rübel. **58**: 39-54.

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 Ecol. **195**: 179-196.

ISSELSTEIN, J., GRIFFITH, B.A., PRADEL, P. & VENERUS, S. (2007): Effects of livestock breed and grazing intensity on biodiversity and production in grazing systems. 1. Nutritive value of herbage and livestock performance. – Grass and Forage Science **62**: 145-158.

KAMMER, P.M., SCHOB, C. & CHOLER, P. (2007): Increasing species richness on mountain summits: upward migration due to anthropogenic climate change or re-colonisation? – J. Veg. Sci. **18**: 301-306.

KAPRALOV, D.S., SHIYATOV, S.G., MOISEEV, P.A. & FOMIN, V.V. (2006): Changes in the composition, structure, and altitudinal distribution of low forests at the upper limit of their growth in the northern Ural Mountains. – Russ. J. Ecol. **6**: 367-372.

KHARUK, V.I., RANSON, K.J., IM, S.T. & DVINSKAYA, M.L. (2009): Response of *Pinus sibirica* and *Larix sibirica* to climate change in southern Siberian alpine forest-tundra ecotone. – Scand. J. Forest Res. **24**: 130-139.

KRAINER, K. (2010): Geologie und Geomorphologie von Obergurgl und Umgebung. In: Koch, E.-M. & Erschbamer, B. (eds) Glaziale und Periglaziale Lebensräume im Raum Obergurgl. – Alpine Forschungsstelle 1. innsbruck university press, Innsbruck, 31-52.

KULLMAN, L. (2002): Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. – J. Ecol. **90**: 68-77.

KULLMAN, L. (2007): Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology. – J. Ecol. **95**: 41-52.

KULLMAN, L. (2010): Alpine flora dynamcis: a critical review of responses to climate change in the Swedish Scandes since the early 1950s. – Nord. J. Bot. **28**: 398-408.

LENOIR, J., GÉGOUT, J.C., MARQUET, P.A., DE RUFFRAY, P. & BRISSE, H. (2008): A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. – Science **320**: 1768-1771.

MAYER, R. & ERSCHBAMER, B. (2010): Die Vegetation von Schipisten im Vergleich zur angrenzenden Vegetation im inneren Ötztal (Zentralalpen, Nordtirol). – Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich **146**: 139-157.

MAYER, R. & ERSCHBAMER, B. (2014): Ongoing changes at the long-term monitoring sites of Gurgler Kamm Biosphere Reserve, Tyrol, Austria. – eco.mont **6**: 5-14.

MIRTL, M., BAHN, M., BATTIN, T., BORSDORF, A., DIRNBÖCK, T., ENGLISCH, M., ERSCHBAMER, B., FUCHSBERGER, J., GAUBE, V., GRABHERR, G., GRATZER, G., HABERL, H., KLUG, H., KREINER, D., MAYER, R., PETERSEIL, J., RICHTER, A., SCHINDLER, S., STOCKER-KISS, A., TAPPEINER, U., WEISSE, T., WINIWARTER, V., WOHLFAHRT, G. & ZINK, R. (2015) LTER-Austria White Paper 2015. Forschung für die Zukunft. – LTER-Austria Schriftenreihe, Vol 2, 978-3-9503986-0-1 Wien, 74 S.

MOISEEV, P.A. & SHIYATOV, S.G. (2003): Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural highlands, Russia. – In: Nagy L., Grabherr G., Körner C. & Thompson D.B.A. (eds) Alpine biodiversity in Europe. – Ecological Studies **167**, Springer, Berlin, 423-435.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., HOHENWALLNER, D., HÜLBER, K., REITER, K. & GRABHERR, G. (2001): Gloria – The multi-summit approach. – Field Manual, 2nd draft version, Institute of Ecology and Conservation Biology, Univ. Vienna.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., DIRNBÖCK, T., DULLINGER, S. & GRABHERR, G. (2003): Assessing the long-term dynamcis of endemic plant at summit habitats. In: Nagy, L., Grabherr, G., Körner, Ch. & Thompson, D.B.A. (eds.) Alpine Biodiversity in Europe. – Springer, Berlin, 195- 207.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., REITER, K., KLETTNER, C. & GRABHERR, G. (2007): Signals of range

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. – Glob. Change Biol. **13**: 147-156.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., DULLINGER, S., ABDALADZE, O., AKHALTKATSI, M., BENITO ALONSO, J.L., COLDEA, G., DICK, J., ERSCHBAMER, B., FERNÁNDEZ, CALZADO, GHOSN, D., HOLTEN, J., KANKA, R., KAZAKIS, G., KOLLÁR, J., LARSSON, P., MOISEEV, D., MOISEEV, P., MOLAU, U., MOLERO MESA, J., NAGY, L., PELINO, G., PUSCAS, M., ROSSI, G., STANISCI, A., SYVERHUSET, A. O., THEURILLAT, J.-P., TOMASELLI, M., UNTERLUGGAUER, P., VILLAR, L., VITTOZ, P. & GRABHERR, G. (2012): Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. – Science **336**: 353-355.

RAFFL, C., MALLAUN, M., MAYER, R. & ERSCHBAMER, B. (2006): Vegetation succession pattern and diversity changes in a glacier valley, Central Alps, Austria. – Arctic, Antarctic, and Alp. Res. **38**: 421-428.

ROBBINS, J. A. & MATTHEWS, J.A. (2009): Pioneer vegetation on glacier forelands in southern Norway: emerging communities? – J. Veg. Sci. **20**: 889-902.

ROSSI, G. & PAROLO, G. (2005): Gli effetti dei cambiamenti climatici sulle specie vascolari degli ambienti di alta quota: i casi-studio di Alpi Retiche e dell'Appennino settentrionale. – Inform. Bot. Ital. **37**: 238-239.

ŠMILAUER, P. & LEPŠ, J. (2014): Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO 5. – Cambridge University Press: 364 p.

STANISCI, A., FRATE, L., MORRA DI CELLA, U., PELINO, G., PETEY, M., SINISCALCO, C. & CARRANZA, M.L. (2014): Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. – Plant Biosystems: dx.doi.org/10.1080/11263504.2014.968232.

THUILLER, W., LAVOREL, S., ARAUJO; M.B., SYKES, M.T. & PRENTICE, I.C. (2005): Climate change threats to plant diversity in Europe. – Proc. Natl. Acad. Sci. USA **102**: 8245-8250.

VITTOZ, P., BODIN, J., UNGRICHT, 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. Veg. Sci. **19**: 671-680.

VITTOZ, P., RANDIN, C., DUTOIT, A., BONNET, F. & HEGG, O. (2009): Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps. – Glob. Change Biol. **15**: 209-220.

WALTHER, G.-R., BEIßNER, S. & BURGA, C.A. (2005): Trends in the upward shift of alpine plants. – J. Veg. Sci. **16**: 542-548.

ZURBRIGGEN, N., HÄTTENSCHWILER, S., FREI, E.S., HAGEDORN, F. & BEBI, P. (2014): Performance of germinating tree seedlings below and above treeline in the Swiss Alps. – Plant Ecol. **214**: 385-396.

Anschriften der AutorInnen:

Brigitta Erschbamer (Brigitta.Erschbamer@uibk.ac.at)
Roland Mayer
Martin Mallaun
Peter Unterluggauer

Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Sternwartestr. 15, A-6020 Innsbruck, Austria

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft

Jahr/Year: 2015

Band/Volume: 27

Autor(en)/Author(s): Erschbamer Brigitta, Mayer Roland, Mallaun Martin, Unterluggauer Peter

Artikel/Article: Alpine Pflanzengesellschaften unter dem Einfluss von Sukzession und Klimawandel 187-200