

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 29, 53-64. Hannover 2017

Hochgebirge als hotspots der Diversität - durch den Klimawandel in Gefahr?

– Brigitta Erschbamer, Martin Mallaun, Peter Unterluggauer, Innsbruck –

Abstract

With increasing altitude, species numbers decrease. Nevertheless, in comparison to lowlands, high altitude ecosystems often harbour more species and exhibit a higher number of endemics. Alpine species are considered to be particularly vulnerable to climate change. Due to global warming, cold-adapted species might disappear and lowland species with a broad ecological range invade the summits; competitive species may increase and, as consequence, new communities will develop. In order to observe the changes, long term projects are needed. In this paper, the results of two GLORIA sites, one in the Central Alps (Texelgruppe, South Tyrol, Italy) and one in the Dolomites (South Tyrol, Italy) are presented. The sites were monitored after 8 and 14 years, respectively. The following questions should be answered: (1) How does diversity change in the alpine belt of siliceous and calcareous mountains? (2) Do cold-adapted species decrease and warm-adapted ones increase? (3) Which species are particularly spreading and which are shrinking? The monitoring was carried out at two scales: the summit area scale and the 1 m² plot scale. In both study areas, the number of species increased with exception of the highest summit in the Central Alps. Diversity increase was highest at the uppermost summit in the Dolomites with 64 % increase after 14 years, the lowest changes occurred in the Central Alps with 3 % increase after 8 years. In the Dolomites, the newly arriving species had significantly higher altitudinal ranks in contrast to the resident species, i.e. a thermophilization occurred. This was true also for the alpine belt in the Central Alps.

Within the 1 m² plots, the highest turnover was found at the treeline ecotone. Here, some tendencies of decreasing cold-adapted species were recognized.

In conclusion, the lower summits will experience a reforestation in the near future. According to the signs of thermophilization, the communities at the summits will change. However, due to the steepness and the scree sites at some expositions, changes will certainly be decelerated at the higher summits.

1. Einleitung

Für BotanikerInnen und ÖkologInnen ist es vor allem die Artenvielfalt, die Hochgebirge besonders attraktiv macht. Es ist hinlänglich bekannt, dass mit der Höhe die Artenzahl sinkt (GRABHERR et al. 1995), wobei als „Faustzahl“ eine Abnahme von ca. 40 Arten pro 100 Höhenmeter angenommen wird (KÖRNER 2002). Vergleicht man jedoch Pflanzengesellschaften, so ist die Diversität teilweise sogar höher als im Tiefland (GRABHERR et al. 1995, KÖRNER 2002). Dies gilt auch für den Endemitenreichtum (NAGY & GRABHERR 2009). Abiotische Faktoren, die im Gebirge auf kleinstem Raum wechseln, führen nämlich zu einer hohen Mikrohabitatdiversität (β -Diversität) und bedingen damit einen immer noch erstaunlichen Artenreichtum pro Fläche (α -Diversität). Um globale und regionale Vergleiche anzustellen, erscheint es angebracht, sich auf die obersten Höhenstufen zu beschränken, d.h. auf Bereiche oberhalb der Baumgrenze. Laut KÖRNER (2012) wird als Baumgrenze die Verbindungslinie

von 3 m hohen Baumgruppen definiert. Im vorliegenden Artikel wird daher als „alpin“ jene Höhenstufe bezeichnet, die oberhalb der Baumgrenze ausgebildet ist (KÖRNER 2003, GRABHERR et al. 2003, NAGY & GRABHERR 2009), wobei auch die nivale Stufe inkludiert wird. Bei der alpinen Höhenstufe handelt es sich um eine biogeographische Einheit, die in allen Klima- und Vegetationszonen der Erde zu finden ist und die daher als einziges Biom weltweit verglichen werden kann (KÖRNER 2003, PAULI et al. 2015). Nahezu 3 % der terrestrischen Erdoberfläche ist mit alpiner Vegetation bedeckt (inklusive der hoch-andinen und afro-alpinen Vegetation; KÖRNER 2003), wobei man von 8.000 bis 10.000 Arten weltweit ausgehen kann. Laut BARTHLOTT et al. (1996) gelten in Europa vor allem die mediterranen Gebirge als hot spots der Diversität (Sierra Nevada, Pyrenäen, Seealpen, Gebirge am Balkan und in Griechenland, Kaukasus). Insgesamt variiert die Artenvielfalt der alpinen Stufe in Europa sehr stark in Abhängigkeit von der Ausdehnung des Gebirges, der geografischen Lage und der vegetationsgeschichtlichen Entwicklung. Sie reicht von 130 Gefäßpflanzen in den SO-Karpaten bzw. 131 in Korsika, über 246 in den griechischen Gebirgen, 250 in den skandinavischen Gebirgen, 350 im Ural, 447 in Kazbegi/Kaukasus, 495 im Appennin, 506 in den Pyrenäen bis zu 782 Arten in den italienischen Alpen (NAGY et al. 2003). Für den gesamten Alpenraum schätzen die Autoren, dass bis zu 800 Gefäßpflanzen in der alpinen Stufe vorkommen.

Angesichts dieser Zahlen wird klar, dass den Hochgebirgen eine herausragende Bedeutung als Artenpool zukommt. Außerdem sind sie nahezu die einzigen Ökosysteme, die noch mit dem Prädikat „wilderness“ versehen werden können. Gerade diese Gebiete unterliegen jedoch massiven Veränderungen, sei es durch den Landnutzungswandel, die touristischen Erschließungen oder den laufenden Klimawandel. Bis zum Ende des 21. Jahrh. wird prognostiziert, dass in den Alpen als Folge des Klimawandels bis zu 50 % der Hochgebirgsarten durch konkurrenzkräftige Arten der tieferen Lagen verdrängt werden könnten (ROSSI & PAROLO 2005, THUILLER et al. 2005, ENGLER et al. 2011, DULLINGER et al. 2012). Eine Ausdehnung der Areale von Tieflagenarten bzw. von Arten mit einer breiten ökologischen Amplitude auf Grund der Erwärmung wurde bereits in vielfacher Weise festgestellt (GOTTFRIED et al. 2012, PAULI et al. 2012, ERSCHBAMER et al. 2009, 2011, RIXEN et al. 2014, ROSBAKH et al. 2014, UNTERLUGGAUER et al. 2016). In temperaten Gebirgen Europas steigt derzeit noch die Artenvielfalt an, während in mediterranen Gebirgen bereits Verluste zu beobachten sind (PAULI et al. 2012). Die Migration von Arten aus tieferen Lagen kann zu neuen Pflanzengesellschaften führen und sensible Hochgebirgspflanzen mit engen ökologischen Amplituden könnten aussterben. Aussagen dazu können nur mit Hilfe von Langzeitprojekten gemacht werden. Als Beispiel werden hier zwei Hochgebirgsregionen aus den Ostalpen vorgestellt. Beide Gebiete zählen zum Netzwerk GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments, www.gloria.ac.at), einem Projekt, das weltweit im Rahmen von Langzeitstudien die alpine Diversität erhebt, um Veränderungen durch den Klimawandel zu erfassen und die Risiken abzuschätzen. 7 Jahre nach der ersten Untersuchung zeichnete sich in den europäischen Gebirgen eine Zunahme von wärme-adaptierten Arten ab. Es kann angenommen werden, dass mit fortschreitender Erwärmung im Gegenzug die kälte-adaptierten Arten abnehmen bzw. völlig verschwinden. In der vorliegenden Arbeit soll vor allem der Arten-Turnover auf Silikatbergen im Vergleich zu den Kalkalpen dargestellt und folgende Fragen geklärt werden:

- Wie verändert sich die Artenvielfalt der alpinen Stufe am Alpenhauptkamm (Silikat) im Vergleich zu den Dolomiten (Kalk-Dolomit)?
- Nehmen in beiden Gebieten kälte-adaptierte Arten ab und wärme-adaptierte zu?
- Welche Arten dehnen sich besonders stark aus, welche Arten nehmen besonders stark ab?

2. Untersuchungsgebiete

Ein Untersuchungsgebiet liegt im Naturpark Texelgruppe, Südtirol, Italien (GLORIA target region IT_TEX, www.gloria.ac.at, ERSCHBAMER et al. 2006) an der Südabdachung des Alpenhauptkammes; das andere Gebiet befindet sich in den westlichen Dolomiten, Südtirol, Italien (target region IT_ADO, ERSCHBAMER et al. 2011, UNTERLUGGAUER et al. 2016). In beiden Gebieten wurden je vier Gipfel vom Waldgrenzökoton bis zu den höchsten Erhebungen ausgewählt (Tab. 1). Für die Gipfel wurden größtenteils Fantasienamen vergeben, daher werden hier nur die Abkürzungen verwendet. Die Auswahl der Gipfel erfolgte nach dem GLORIA-Manual (PAULI et al. 2001), in den Dolomiten im Jahre 2001, in der Texelgruppe 2003.

Tab. 1: Beschreibung der ausgewählten Gipfel in den beiden Untersuchungsgebieten Texelgruppe und Dolomiten mit Angabe der Meereshöhe in m, der jeweiligen Höhenstufe der Gipfelflächen und der vorherrschenden Vegetation.

Gebiet	Gipfel	Meereshöhe m	Höhenstufe	Vegetation
Texelgruppe	FAG	2180	Waldgrenzökoton	Subalpine-alpine Rasengesellschaft mit Zwergsträuchern
	SBG	2619	alpine Stufe	Caricetum curvulae
	DWO	3074	subnivale Stufe	Felsspalten- und Schuttgesellschaft
	KAS	3287	nivale Stufe	Felsspalten- und Schuttgesellschaft
Dolomiten	GRM	2199	Waldgrenzökoton	O: Zwergstrauchheide, S: <i>Festuca varia</i> -Rasen, W: Seslerio-Caricetum sempervirensis, N: Pionierrasen
	PNL	2463	untere alpine Stufe	Pionierrasen, Felsspalten- und Schuttgesellschaft
	RNK	2757	obere alpine Stufe	Pionierrasen, Felsspalten- und Schuttgesellschaft
	MTS	2893	subnivale Stufe	Felsspalten- und Schuttgesellschaft

3. Methodik

Die Vegetationsaufnahmen wurden gemäß GLORIA-Manual (PAULI et al. 2001, 2004, 2015) in den Dolomiten in den Jahren 2001, 2006, 2008 und 2015 durchgeführt; in der Texelgruppe 2003 und 2011. Gearbeitet wurde auf zwei Skalenebenen: 1.) in den 1 m² - Dauerflächen, die sich in jeder Haupthimmelsrichtung 5 Höhenmeter unterhalb des höchsten Gipfelpunktes befinden (im Idealfall 16 x 1 m² pro Gipfel); 2.) in den Gipfelsektoren, d.h. in den Flächen bis 5 bzw. 10 Höhenmeter unterhalb des höchsten Gipfelpunktes (Abb. 1). In den 1 m² - Dauerflächen erfolgten Frequenzanalysen mit Hilfe eines Rahmens, unterteilt in 100 x 1 dm² Kleinflächen (je nach Gelände wurden damit 1000 – 1600 Kleinflächen pro Gipfel aufgenommen). In den acht Gipfelsektoren (Abb. 1) wurden alle Arten mit Hilfe einer semi-quantitativen Schätzskala aufgenommen (PAULI et al. 2001, 2004). In dieser Arbeit werden die Artenzahlen der Gipfelsektoren zusammengefasst; die Ergebnisse beziehen sich somit auf die gesamte Gipfelfläche bis 10 Höhenmeter unterhalb des höchsten Gipfelpunktes. Die Baumindividuen in den Gipfelflächen wurden zu Beginn der Untersuchung und 2008 (Dolomiten) bzw. 2011 (Texelgruppe) zahlenmäßig erhoben.

Für jede Art wurde der Verbreitungsschwerpunkt nach AESCHIMANN et al. (2004) bestimmt und insgesamt 6 Höhenzahlen definiert (Tab. 2). Mittlere Höhenzahlen wurden berechnet für residente Arten, d.h. für jene, die in der ersten und letzten Aufnahme vorhanden waren, bzw. für neu dazu gekommene Arten, die nur in der letzten Aufnahme registriert wurden. Statistische Vergleiche der Mittelwerte erfolgten im Programm IBM SPSS 21.0.

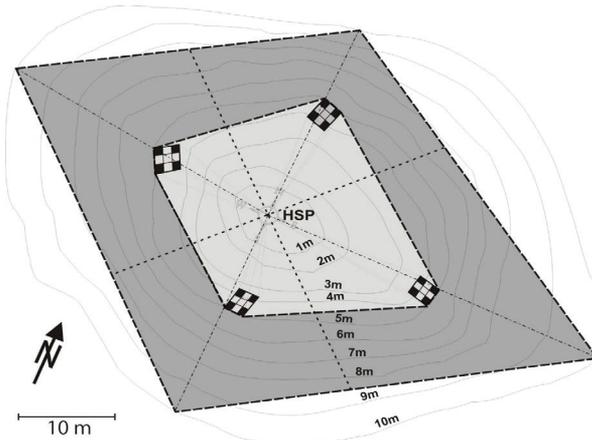


Abb. 1: Schematische Darstellung des Gipfels und der Aufnahmeflächen in den obersten 10 Höhenmetern HSP = höchster Gipfelpunkt. 3 x 3 m Aufnahmecluster pro Himmelsrichtung, 5 m unterhalb des Gipfels; die Eckflächen (schwarz) = 1 m² - Dauerflächen. Hellgrau = Gipfelsektoren bis 5 m unterhalb des Gipfelpunktes, dunkelgrau = Gipfelsektoren bis 10 Höhenmeter

Tab. 2: Höhenzahlen der Arten, definiert nach den Verbreitungszentren

Höhenzahl	Verbreitungszentrum der Arten
1	nival
2	alpin und nival, nicht bis zur Baumgrenze reichend
3	alpin, nicht in die montane Stufe reichend
4	alpin, bis in die montane Stufe reichend oder vom Waldgrenzökoton bis in die alpine Stufe verbreitet
5	Waldgrenzökoton oder von der montanen bis zur alpinen Stufe
6	montan oder von der montanen Stufe bis zum Waldgrenzökoton

Die Nomenklatur der Arten richtet sich nach Flora Europaea (<http://rbg-web2.rbge.org.uk/FE/fe.html>).

4. Ergebnisse

Betrachtet man die Gipfflächen, so nahmen die Artenzahlen sowohl in den Dolomiten als auch in der Texelgruppe zu (Abb. 2). Eine Ausnahme bildete der höchste Gipfel (3287 m) in der Texelgruppe, bei dem die Artenzahl im Verlauf von 8 Jahren gleich blieb, während in den Dolomiten im Verlauf von 14 Jahren gerade auf den beiden höchsten Gipfeln ein linearer Anstieg der Diversität zu verzeichnen war. Im Vergleich zum Jahr 2001 erhöhte sich die jeweilige Artenzahl nach 14 Jahren am GRM (2199 m) um 9 %, am PNL (2463 m) um 13 %, am RNK (2757 m) um 25 % und am MTS (2893 m) um 64 %. In der Texelgruppe waren die Erhöhungen nach 8 Jahren natürlich bescheidener: 3 % am FAG (2180 m), 6,5 % am SBG (2619 m) und 7 % am DWO (3074 m). Die jährliche Zunahme blieb in der Texelgruppe von der alpinen zur subnivalen Stufe knapp unter einer Art. Dies gilt auch für die zwei niederen Gipfel der Dolomiten, während am höchsten Gipfel 1,5 Arten neu ankamen; auch der zweithöchste Gipfel hatte hier einen Neuzugang von mehr als einer Art pro Jahr.

Im Vergleich zu den residenten Arten wiesen die neu dazu gekommenen Arten in den Dolomiten durchwegs signifikant gestiegene Höhenzahlen auf (Abb. 3). Für die Texelgruppe gilt dies nur für den Gipfel der alpinen Stufe SBG (Abb. 3). Interessant ist das Auftreten von Baumarten im Bereich der Gipfflächen (Abb. 4). Auf den beiden Gipfeln des Waldgrenz-

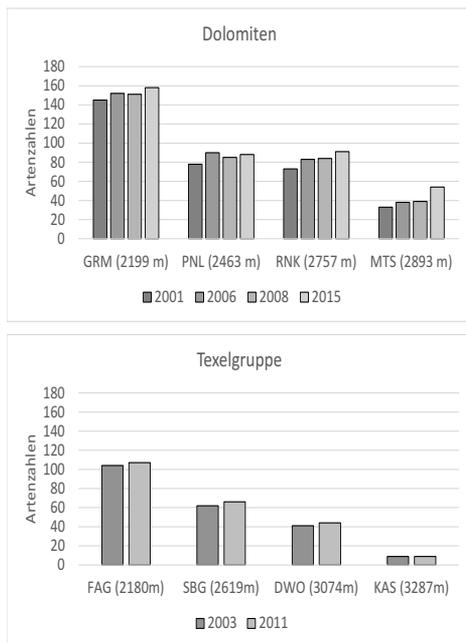


Abb. 2: Änderung der Artenzahlen in den Gipfflächen. Oben: Dolomiten, unten: Texelgruppe

ökotons stellten sich die Waldgrenzbäume ein (*Picea abies* in der Texelgruppe; *Picea abies*, *Pinus cembra*, *Larix decidua* in den Dolomiten). Keimlinge von Lärche waren in den Dolo-

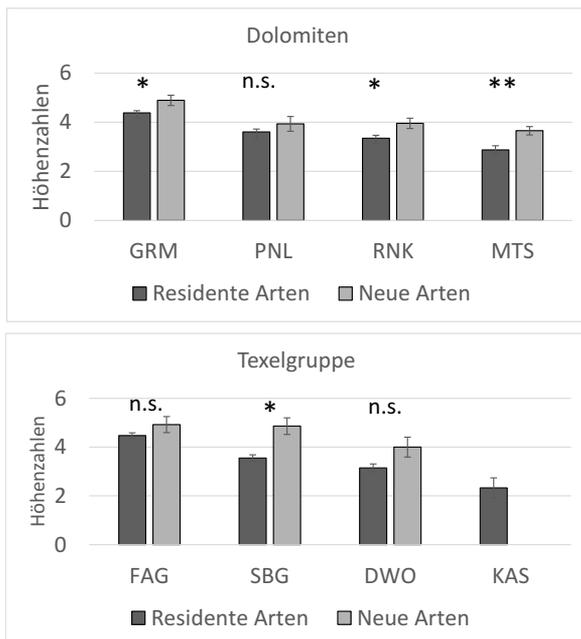


Abb. 3: Mittelwerte und Standardfehler der Höhenzahlen für die residenten und neuen Arten in den Gipfflächen der Dolomiten (oben) und der Texelgruppe (unten). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, n.s. nicht signifikant

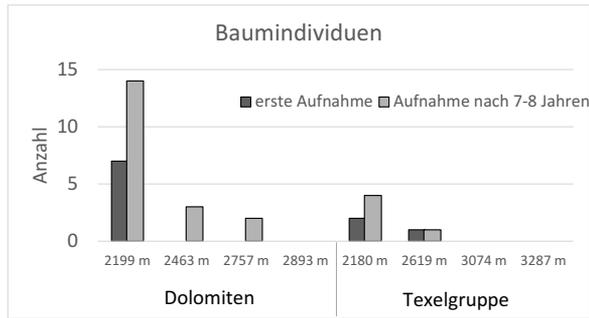


Abb. 4: Anzahl der Baumindividuen in den Gipfflächen während der ersten Aufnahme (Dolomiten 2001, Texelgruppe 2003) und während der Aufnahme nach 7-8 Jahren (Dolomiten 2008, Texelgruppe 2011)

Tab. 3: Zu- und abnehmende Arten in den 1 m² - Dauerflächen der Dolomiten (2001-2015)

Arten mit Frequenz-Zunahme von ≥ 40 Kleinflächen à 1 dm²

GRM (1600 Kleinfl.)	PNL (1400 Kleinfl.)	RNK (1500 Kleinfl.)	MTS (1500 Kleinfl.)
<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Anthyllis vulneraria</i> ssp. <i>alpestris</i>	<i>Arenaria ciliata</i>	<i>Minuartia sedoides</i>
<i>Carex ornithopoda</i>	<i>Carex firma</i>	<i>Erigeron uniflorus</i>	
<i>Carex sempervirens</i>	<i>Dryas octopetala</i>	<i>Festuca alpina</i>	
<i>Erica herbacea</i>	<i>Helianthemum</i> <i>oelandicum</i> ssp. <i>alpestre</i>	<i>Minuartia sedoides</i>	
<i>Festuca norica</i>		<i>Polygonum viviparum</i>	
<i>Festuca quadriflora</i>		<i>Saxifraga exarata</i> ssp. <i>moschata</i>	
<i>Festuca varia</i>		<i>Sesleria</i> <i>sphaerocephala</i>	
<i>Hedysarum</i> <i>hedysaroides</i>		<i>Thlaspi rotundifolium</i> ssp. <i>rotundifolium</i>	
<i>Pinus cembra</i>		<i>Thymus praecox</i> ssp. <i>polytrichus</i>	
<i>Polygala chamaebuxus</i>			
<i>Rhododendron ferrugineum</i>			
<i>Salix retusa</i>			
<i>Sesleria albicans</i>			

Arten mit Frequenz-Abnahme von ≥ 40 Kleinflächen à 1 dm²

<i>Agrostis alpina</i>	<i>Euphrasia minima</i>	<i>Cerastium uniflorum</i>	<i>Minuartia verna</i> ssp. <i>verna</i>
<i>Arctostaphylos alpina</i>	<i>Polygonum viviparum</i>		<i>Pritzelago alpina</i>
<i>Carex capillaris</i>			
<i>Dryas octopetala</i>			
<i>Euphrasia minima</i>			
<i>Kobresia myosuroides</i>			
<i>Pedicularis verticillata</i>			
<i>Phyteuma sieberi</i>			
<i>Polygonum viviparum</i>			
<i>Ranunculus montanus</i>			
<i>Salix reticulata</i>			
<i>Salix serpyllifolia</i>			
<i>Saxifraga caesia</i>			
<i>Silene acaulis</i>			
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			

Tab. 4: Zu- und abnehmende Arten in den 1 m² - Dauerflächen der Texelgruppe (2003-2011)

Arten mit Frequenz-Zunahme von ≥ 40 Kleinflächen à 1 dm ²			
FAG (1500 Kleinflächen)	SBG (1300 Kleinfl.)	DWO (1100 Kleinfl.)	KAS (1000 Kleinfl.)
<i>Deschampsia flexuosa</i> <i>Euphrasia minima</i>	<i>Avenula versicolor</i> <i>Euphrasia minima</i>	<i>Festuca halleri</i> <i>Leucanthemopsis alpina</i> <i>Luzula spicata</i>	<i>Cerastium uniflorum</i> <i>Poa laxa</i>
<i>Homogyne alpina</i>	<i>Leucanthemopsis alpina</i>		
<i>Luzula multiflora</i> <i>Nardus stricta</i> <i>Polygala chamaebuxus</i> <i>Soldanella pusilla</i>	<i>Poa alpina</i> <i>Polygonum viviparum</i>		
Arten mit Frequenz-Abnahme in ≥ 40 Kleinflächen à 1 dm.			
<i>Agrostis rupestris</i> <i>Calamagrostis villosa</i> <i>Carex curvula</i> <i>Leontodon hispidus</i> <i>Loiseleuria procumbens</i> <i>Rhododendron ferrugineum</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> ssp. <i>microphyllum</i> <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Agrostis rupestris</i> <i>Pedicularis kernerii</i> <i>Poa laxa</i> <i>Primula glutinosa</i>		

miten im Jahr 2008 auch in 2463 m und 2757 m Meereshöhe zu finden. Auf 2757 m überleben sie allerdings die nächsten 7 Jahre nicht, auf 2463 m aber sehr wohl. In der Texelgruppe wurde in der alpinen Stufe eine Jungpflanze von *Sorbus aucuparia* registriert.

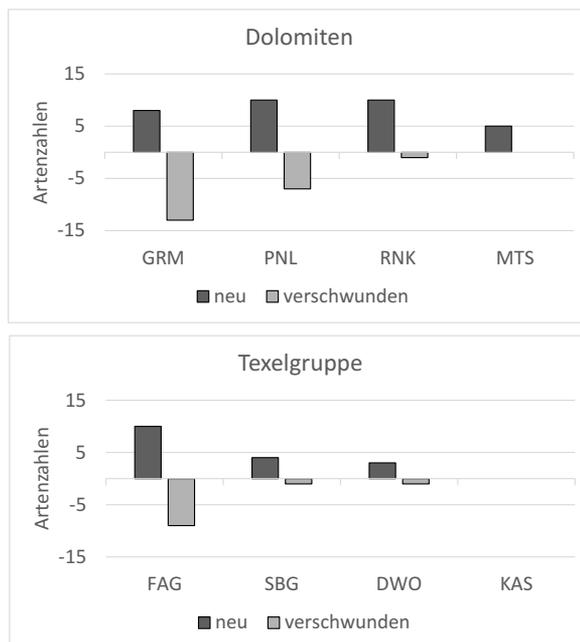


Abb. 5: Anzahl an Arten in den 1 m² - Dauerflächen, die in der jeweils letzten Aufnahme neu dazukamen oder verschwunden waren. Oben: Dolomiten, unten: Texelgruppe

Betrachtet man die 1 m² - Dauerflächen im Detail, so fällt in beiden Gebieten auf, dass am niedrigsten Gipfel der höchste Turnover vorkam (Abb. 5). An den jeweils höchsten Gipfeln gab es keine Verluste (Abb. 5). Die Arten mit den stärksten Frequenz-Zunahmen bzw. -Abnahmen sind in Tab. 3 und 4 aufgelistet. Auf den niedrigen Gipfeln der Dolomiten zeigte sich, dass vor allem wärme-adaptierte Arten mit den Höhenzahlen 5 und 6 unter den Neuankömmlingen auftreten, auf den höheren Gipfeln war diese Tendenz noch nicht so ausgeprägt. Auch in der Texelgruppe zeichnen sich die meisten Neuankömmlinge im Waldgrenzökoton durch die Höhenzahl 6 aus. Bei den verschwundenen Arten handelt es sich auf den niederen Gipfeln vor allem um Arten, die ihren Verbreitungsschwerpunkt von der alpinen bis in die montane Stufe hinab haben, gefolgt von alpinen Arten, die nur bis zur Baumgrenze reichen, während rein alpine Arten (Höhenzahl 2) nur spärlich unter den verschwundenen Arten aufscheinen.

5. Diskussion

In beiden Untersuchungsgebieten stieg die Artenvielfalt in den Gipfelflächen, wobei unter anderem der Zeitfaktor, die Meereshöhe, aber auch die Pflanzengesellschaften und die Geomorphologie des Gipfels eine Rolle für die Unterschiede spielen dürften. Im Verlauf von 14 Jahren wiesen die höchsten Gipfel der Dolomiten einen linearen Anstieg der Artenzahlen auf, mit einem Maximum an neuen Arten am höchsten Gipfel (2893 m Meereshöhe) und jährlichen Zunahmen von 1.5 Arten pro Jahr. Auf den niederen Dolomitengipfeln und auf jenen der Texelgruppe blieben die Neuzugänge bescheidener (< 1 Art pro Jahr bzw. < 0.5 im Waldgrenzökoton der Texelgruppe). Am höchsten Gipfel (3287 m) der Texelgruppe gab es überhaupt keinen Neuzugang. Die Zunahme der Artenzahlen entspricht den Ergebnissen der europäischen GLORIA-Studie für die temperaten Gebirge, die sich auf die Wiederholung der Aufnahmen nach 7 Jahren beziehen (PAULI et al. 2012). Die von GOTTFRIED et al. (2012) postulierte „Thermophilisierung“ der Gipfelregionen konnte für beide Gebiete bestätigt werden: hinsichtlich Höhenzahl wiesen die neuen Arten in den Dolomiten größtenteils signifikante Unterschiede zu den residenten Arten auf. Dies gilt sowohl für die Gipfelflächen als auch für die 1 m² - Dauerflächen (UNTERLUGGAUER et al. 2016). In der Texelgruppe waren die Unterschiede nur in der alpinen Stufe signifikant. Insgesamt zeigte sich, dass Arten mit einer breiten ökologischen Amplitude bzw. solche mit einem Verbreitungsschwerpunkt in den tieferen Lagen bereits die Gipfel erreicht haben. Unterstrichen wird der Migrationsprozess vor allem durch die Präsenz von Baumindividuen besonders im Waldgrenzökoton beider Gebiete (Abb. 4). Eine Abnahme von kalte-adaptierten Arten ließ sich teilweise erkennen, wenn die Ergebnisse der 1 m² - Dauerflächen des Waldgrenzökotons in den Dolomiten betrachtet werden. Hier ging die Frequenz von mehreren alpinen Arten zurück, so vor allem von *Dryas octopetala*, *Salix serpyllifolia*, *Saxifraga caesia*, während sich besonders konkurrenzkräftige Horstgräser und Zwergsträucher ausdehnten (Tab. 3). Im Gegensatz dazu stellten MATTEODO et al. (2016) in alpinen Rasen der Schweizer Alpen eine hohe Stabilität fest. Dort nahm aber interessanterweise *Carex sempervirens* stark ab. In den Dolomiten bewies jedoch gerade diese Art gemeinsam mit anderen Poaceae hohe Frequenz-Zunahmen. In den alpinen Rasen der Texelgruppe ergab sich, genauso wie in den Schweizer Alpen (MATTEODO et al. 2016), eine Zunahme von *Euphrasia minima* und *Homogyne alpina*. Erstere weist eine ruderale Strategie auf (LANDOLT et al. 2010), die starke Fluktuationen bedingen kann, während *Homogyne alpina* durch eine sehr breite ökologische Amplitude gekennzeichnet ist und auf Grund ihres Pappus über eine sehr gute Ausbreitung durch den Wind verfügt. OLSEN & KLANDERUD (2014) betonten aber, dass es für einen Neuankömmling nicht ausreicht, die Ausbreitungsbarrieren zu überwinden. In dichten Pflanzengesellschaften (z.B. *Dryas*-Heide in Norwegen, OLSEN & KLANDERUD 2014) scheinen sich nämlich neue Arten nicht etablieren zu können. Hier dürfte die Konkurrenz eine wesentliche Rolle spielen, wie in Temperaturerhö-

hungsexperimenten belegt wurde (KLANDERUD & TOTLAND 2005, 2007). Im Vergleich dazu äußerte sich gerade in den Dolomiten (2757 m bzw. 2893 m Meereshöhe) das Potential von offenen Felsfluren für die Neuansiedlung. Viele alpine Arten zeichnen sich durch ihren Pioniercharakter aus und benötigen offene Habitate. Für das Fehlen von neuen Arten am höchsten Gipfel der Texelgruppe dürften mangelhafte Ausbreitungschancen der Arten in diese großen Höhenlagen verantwortlich sein, ähnlich wie ERSCHBAMER et al. (2008, 2015) dies im Gletschervorfeld nachgewiesen hatten.

6. Schlussfolgerungen

Auf allen Gipfelflächen der beiden Untersuchungsgebiete ist derzeit eine Zunahme der Artenvielfalt festzustellen. Die neu angekommenen Arten der niederen Gipfel haben ihren Verbreitungsschwerpunkt eindeutig in tieferen Lagen (montan – subalpin). Damit ist für die jeweils niedrigsten Gipfel der beiden Untersuchungsgebiete in den nächsten Jahrzehnten eine Bewaldung und Verringerung der alpinen Pflanzenarten zu erwarten. Die hohen Gipfel in den Dolomiten werden noch sehr lange neue Arten aufnehmen können, bis sich eine geschlossene Vegetationsdecke ausgebildet hat. Am Gipfel der oberen alpinen Stufe in den Dolomiten weist die Südseite bereits einen alpinen Rasen auf. Hier werden sich mit der Zeit auch auf den übrigen Expositionen Rasenarten einstellen. Allerdings dürften sowohl die Steilheit des Gipfels und die teilweise vorhandenen Schuttbahnen im Norden und Westen eine rasche Zunahme der Deckung verhindern.

Insgesamt ist die Weiterführung des Monitorings unabdingbar, um die Entwicklungsreihen zu beobachten und weitere Grundlagendaten für Zukunftsmodelle zu erhalten.

Zusammenfassung

Die Artenvielfalt nimmt im Gebirge mit zunehmender Meereshöhe ab. Betrachtet man jedoch die Pflanzengesellschaften im Vergleich zum Tiefland, so können in den Hochlagen teilweise sogar mehr Arten und eine höhere Anzahl an Endemiten pro Fläche verzeichnet werden. Hochgebirgsökosysteme sind besonders empfindlich gegenüber dem Klimawandel: als Folge der Erwärmung könnten kälte-adaptierte Arten verschwinden, während Tieflagenarten und Arten mit breiter ökologischer Amplitude nach oben drängen. Konkurrenzkräftige Arten nehmen zu und damit formieren sich in der Folge neue Pflanzengesellschaften. Um solche Veränderungen zu studieren und die Folgen abschätzen zu können, sind Langzeitprojekte notwendig. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse von zwei GLORIA-Standorten in den Ostalpen vorgestellt, einem Standort in den Zentralalpen (Texelgruppe, Südtirol, Italien) und einem in den Dolomiten (Südtirol, Italien). An diesen Standorten wurden die Veränderungen nach 8 bzw. 14 Jahren untersucht. Folgende Fragen sollen hier beantwortet werden: 1.) Wie verändert sich die Diversität in der alpinen Stufe der Silikat- und Kalkalpen? 2.) Nehmen kälte-adaptierte Arten ab und wärme-adaptierte Arten zu? 3.) Welche Arten dehnen sich besonders stark aus, welche Arten nehmen besonders stark ab?

Das Monitoring wurde auf zwei Skalenebenen durchgeführt: im Bereich der Gipfelflächen und in 1 m² - Dauerflächen. In beiden Untersuchungsgebieten nahm die Anzahl an Arten zu, mit Ausnahme des höchsten Gipfels in den Zentralalpen. Die höchsten Zunahmen ergaben sich am höchsten Gipfel der Dolomiten mit einer Steigerung von 64 % im Verlauf von 14 Jahren, die geringste Zunahme wurde nach 8 Jahren in den Zentralalpen mit 3 % im Waldgrenzökoton verzeichnet. Die neu angekommenen Arten in den Dolomiten wiesen signifikant gestiegene Höhenzahlen auf im Vergleich zu den bereits zu Beginn der Untersuchung vorhandenen Arten (Thermophilisierung). Dies gilt auch für die alpine Stufe der Zentralalpen. In den 1 m² - Dau-

erflächen wurde der höchste Turnover im Bereich des Waldgrenzökotons gefunden. Hier zeigten sich Tendenzen hin zu einer Abnahme der kälte-adaptierten Arten ab.

Zusammenfassend lässt sich prognostizieren, dass sich die niedrigen Gipfel beider Untersuchungsgebiete in Zukunft bewalden werden, was zu einem Verlust an alpinen Arten führen wird. Der Thermophilisierungstrend dürfte sich fortsetzen und eine Änderung der Pflanzengesellschaften bewirken. Auf den höchsten Gipfeln dürften jedoch auf Grund der Steilheit und des Schuttreichtums an einigen Expositionen nur zögerliche Änderungen eintreten.

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Geldgebern (ÖAW – Projekt MediAlps, Südtiroler Wissenschaftsfonds, Amt für Naturparke/Autonome Provinz Bozen-Südtirol, Abt. für Forstwirtschaft/Autonome Provinz Bozen-Südtirol, Tiroler Wissenschaftsfonds, EU-Projekt Nr. EVK2-CT-2000-00056, Universität Innsbruck). Ein großer Dank gebührt dem Initiator des GLORIA-Projektes, Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Dr. h.c. Georg Grabherr und der GLORIA coordination group in Wien

Literatur

- AESCHIMANN D., LAUBER K., MOSER D.M. & J.-P. THEURILLAT (2004): Flora alpina. – Haupt Verlag, Bern, Stuttgart, Wien.
- BARTHLOTT, W., LAUER, W. & A. PLACKE (1996): Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity. – *Erdkunde* **50/4**: 317-327.
- 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. & K. HÜLBER (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., HOIS-TAD, 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. – *Global Change Biology* **17**: 2330-2341.
- ERSCHBAMER, B., MALLAUN, M. & P. UNTERLUGGAUER (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. & E. WINKLER (2008): Colonization processes on a central Alpine glacier foreland. – *J. Veg. Sci.* **19**: 855-862.
- ERSCHBAMER, B., KIEBACHER, T., MALLAUN, M. & P. UNTERLUGGAUER (2009): Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. – *Plant Ecology* **202**: 79-89.
- ERSCHBAMER, B., UNTERLUGGAUER, P., WINKLER, E. & M. MALLAUN (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., MAYER, R., MALLAUN, M. & P. UNTERLUGGAUER (2015): Alpine Pflanzengesellschaften unter dem Einfluss von Sukzession und Klimawandel. – *Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges.* **27**: 187-200.
- 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. & G. GRABHERR (2012): Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. – *Nature Climate Change* **2**: 111-115.

- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., GRUBER, A. & H. PAULI (1995): Patterns and current changes in alpine plant diversity. In: CHAPIN III F.S. & C. KÖRNER (eds.): Arctic and Alpine Biodiversity. – Ecological Studies **113**, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: 167-181.
- GRABHERR, G., NAGY, L. & D.B.A. THOMPSON (2003): An outline of Europe's alpine areas. In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH. & D.B.A. THOMPSON (eds.): Alpine biodiversity in Europe. – Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 3-12.
- KLANDERUD, K. & Ø. TOTLAND (2005): The relative importance of neighbours and abiotic environmental conditions for population dynamic parameters of two alpine plant species. – *J. Ecol.* **93**: 493-501.
- KLANDERUD, K. & Ø. TOTLAND (2007): The relative role of dispersal and local interactions for alpine plant community diversity under simulated climate warming. – *Oikos* **116**: 1279-1288.
- KÖRNER, CH. (2002): Mountain biodiversity, its causes and function: an overview. In: KÖRNER, C. & E.M. SPEHN (eds.): Mountain biodiversity. A global assessment. – The Parthenon Publ. Group, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.: 3-20.
- KÖRNER, CH. (2003): Alpine plant life. Functional ecology of high mountain ecosystems. 2nd ed. – Springer, Berlin, Heidelberg.
- KÖRNER, CH. (2012): Alpine treelines. Functional ecology of the global high elevation tree limits. – Springer, Basel, Heidelberg, New York, Dordrecht, London.
- LANDOLT, E., BÄUMLER, B., ERHARDT, A., HEGG, O., KLÖTZLI, F., LÄMMLER, W. et al. (2010): Flora indicativa. Ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps. – Haupt, Bern.
- MATTEODO, M., AMMANN, K. VERRECCHIA, E.P. & P. VITTOZ (2016): Snowbeds are more affected than other subalpine-alpine plant communities by climate change in the Swiss Alps. – *Ecology and Evolution*, **6/19**: 6969-6982.
- NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH. & D.B.A. THOMPSON (2003): Alpine biodiversity in space and time: a synthesis. In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, CH. & D.B.A. THOMPSON (eds.): Alpine biodiversity in Europe. – Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 453-464.
- NAGY, L. & G. GRABHERR (2009): The biology of alpine habitats. – Oxford Univ. Press, New York.
- OLSEN, S. & K. KLANDERUD (2014): Biotic interactions limit species richness in an alpine plant community, especially under experimental warming. – *Oikos* **123**: 71-78.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., HOHENWALLNER, D., HÜLBER, K., REITER, K. & G. GRABHERR (2001): Gloria - The Multi-Summit Approach. Field Manual, 2nd draft version. – Vienna.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., HOHENWALLNER, D., REITER, K., CASALE, R. & G. GRABHERR (2004): The GLORIA* Field Manual – Multi-Summit Approach. DG Research European Commission, EUR 21213.
- 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. & G. GRABHERR (2012): Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. – *Science* **336**: 353 - 355.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., LAMPRECHT, A., NIESSNER, S., RUMPF, S., WINKLER, M., STEINBAUER, K. & G. GRABHERR, coordinating authors and editors (2015): The GLORIA field manual - standard Multi-Summit approach, supplementary methods and extra approaches. 5th edition. – GLORIA-Coordination, Austrian Academy of Sciences & University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna.
- RIXEN, C., WIPF, S., FREI, E. & V. STÖCKLI (2014): Faster, higher, more? Past present and future dynamics of alpine and arctic flora under climate change. – *Alp. Botany* **124**: 77-79.
- ROSBAKH, S., BERNHARDT-RÖRMERMANN, M. & P. POSCHLOD (2014): Elevation matters: contrasting effects of climate change on the vegetation development at different elevations in the Bavarian Alps. – *Alp. Botany* **124**: 143-154.
- ROSSI, G. & G. PAROLO (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.

- THUILLER, W., LAVOREL, S., ARAUJO, M.B., SYKES, M.T. & I.C. PRENTICE (2005): Climate change threats to plant diversity in Europe. – Proc. Natl. Acad. Sci. USA **102**: 8245-8250.
- UNTERLUGGAUER, P., MALLAUN, M. & B. ERSCHBAMER (2016): The higher the summit, the higher the diversity changes – Results of a long-term monitoring project in the Dolomites. – *Gredleriana* **16**: 5-34.

Anschrift:

Univ.-Prof. Dr. Brigitta Erschbamer, Institut für Botanik, Sternwartestr. 15, A-6020 Innsbruck

E-Mail: brigitta.erschbamer@uibk.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: 2017

Band/Volume: [29](#)

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

Artikel/Article: [Hochgebirge als hotspots der Diversität - durch den Klimawandel in Gefahr? 53-64](#)