

Neophyten in Gebirgen – Wissensstand und Handlungsbedarf

Christoph Kueffer

Eingegangen: 3. März 2011 / Angenommen: 11. März 2011 / Online publiziert: 7. April 2011
© Springer-Verlag 2011

Zusammenfassung In Gebirgen wurden bisher im Gegensatz zu Flachlandökosystemen nur wenige Neophyten beobachtet und nur selten gravierende Veränderungen durch invasive Arten dokumentiert. Seit 2005 untersucht das Mountain Invasion Research Network (MIREN, www.miren.ethz.ch) das Risiko von Pflanzeninvasionen in Gebirgen und erarbeitet präventive Management-Maßnahmen. Eine von MIREN erstellte Datenbank von nicht-einheimischen und invasiven Pflanzenarten in Gebirgen weltweit umfasst im Moment etwa 1500 Arten. Als problematisch in Gebirgen eingestuft werden zurzeit insbesondere Gehölzpflanzen und Arten, welche als Zierpflanzen eingeführt wurden und an ein Bergklima vorangepasst sind.

Es ist zu erwarten, dass Pflanzeninvasionen in Gebirgen in naher Zukunft stark zunehmen werden. Klimawandel wird invasiven Pflanzen aus dem Tiefland ermöglichen, sich auch in Gebirgen zu etablieren. Durch die Veränderung der Landnutzung in Gebirgen von Weidewirtschaft hin zu mehr Tourismus kann eine Veränderung nicht-einheimischer Floren erwartet werden und damit ein erhöhtes Invasionsrisiko. Auch zunehmende anthropogene Nutzung und Störung von höheren Gebirgslagen können das Invasionsrisiko erhöhen.

Gebirge, insbesondere die europäischen Alpen, sind bislang von Pflanzeninvasionen noch nicht gravierend betroffen. Dadurch ergibt sich die einmalige Möglichkeit, rechtzeitig auf eine zukünftige Bedrohung zu reagieren. Prävention im Sinne des Vorsorgeprinzips ist die effektivste und kostengünstigste Möglichkeit. Dazu müssen potentiell invasive Arten identifiziert und ihr Transport reglementiert

werden. Mit dem Klimawandel werden sich in Zukunft auch vermehrt einheimische Tieflandpflanzen in Gebirge ausbreiten. Es bedarf daher einer breiteren Diskussion zur Bewertung und dem Management von Florenveränderungen in Gebirgen. Neben Pflanzen werden sich in Zukunft auch andere Organismengruppen verstärkt in höhere Lagen ausbreiten, zum Beispiel Schädlinge von Tieren und Pflanzen.

Schlüsselwörter Alpen · Globaler Wandel · Invasion · Klimawandel · Prävention · Vorsorgeprinzip

Alien Plants in Mountains—State of Knowledge and Management Needs

Abstract Mountains are currently less affected by plant invasions than lowland ecosystems. Since 2005 the Mountain Invasion Research Network (MIREN, www.miren.ethz.ch) investigates the risk of plant invasions into mountains and develops preventive management strategies. A database of non-native and invasive plant species in mountains worldwide includes currently some 1500 species. Particularly problematic are woody species and ornamental plants that are often pre-adapted to a mountain climate. The risk of plant invasions in mountains is expected to increase in the near future. Climate change will enable the upward movement of lowland invaders into mountain ecosystems. Increased anthropogenic land use and disturbances and a shift of land use from grazing systems to tourism, which will lead to the introduction of new non-native plants, may further increase invasion risks.

Mountains, and in particular the European Alps, are among the very few ecoregions in the world not yet badly affected by plant invasions. Managers have the unique op-

C. Kueffer (✉)
Institut für Integrative Biologie, ETH Zentrum,
Universitätsstrasse 16, 8092 Zürich, Schweiz
E-Mail: kueffer@env.ethz.ch

portunity to respond in time to an emerging threat. Preventive measures are the most effective and cost-efficient management option. Regulation of the transport of potentially invasive plant species should be a management priority. With climate change the upward movement of native lowland plants may also become a conservation concern. A broad discussion of the valuation and management of the change of mountain floras is needed. Besides plants other groups of organisms such as animal and plant pests may increasingly become a problem in mountains.

Keywords Climate change · European Alps · Global change · Invasion · Precautionary principle · Prevention

Einleitung

Organismen, die durch den Menschen in Gebiete eingeführt wurden, in welchen sie natürlich nicht vorkommen, werden als nicht-einheimische Arten bezeichnet. In Europa wird dafür auch die Bezeichnung Neobiota, oder spezifisch für Pflanzen der Begriff Neophyten verwendet. Manche dieser nicht-einheimischen Arten können sich im neuen Gebiet etablieren, schnell ausbreiten und einen negativen Einfluss auf einheimische Biodiversität, Ökosysteme und Ökosystemdienstleistungen ausüben. Diese Arten werden als invasive Arten bezeichnet. Zu den problematischen invasiven Neophyten gehören in Mitteleuropa zum Beispiel der Japanische Stauden-Knöterich, *Fallopia japonica*, verschiedene Goldrutenarten, *Solidago* spp., oder der Riesen-Bärenklau, *Heracleum mantegazzianum* (DAISIE 2009). Zwar sind nur wenige der insgesamt über 2500 in Europa dokumentierten Neophyten problematisch, aber die wenigen invasiven Neophyten können zu großen ökologischen Schäden und ökonomischen Kosten führen (DAISIE 2009; Vila et al. 2010). Weltweit werden invasive Arten nach Habitatzerstörung als eine der wichtigsten Ursachen für den Rückgang der globalen Biodiversität angesehen, wobei sich diese Aussage auf alle Organismengruppen und nicht nur auf Pflanzen bezieht (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

In Gebirgen wurden bisher im Gegensatz zu den Flachlandökosystemen nur wenige Neophytenarten beobachtet und nur vereinzelt gravierende Veränderungen durch invasive Arten dokumentiert (Pauchard et al. 2009). Gerade aber Gebirge zeichnen sich durch eine hohe einheimische Biodiversität und zahlreiche natürliche oder naturnahe Ökosysteme aus (Körner 2003; Körner und Spehn 2002), und Invasionen könnten daher in Gebirgen zu ausgeprägten negativen Folgen führen. Bis vor wenigen Jahren war nur wenig zu Pflanzeninvasionen in Gebirgen bekannt. Im Jahr 2005 wurde das Mountain Invasion Research Network (MIREN, www.miren.ethz.ch) gegründet, um im Sinne des Vorsorgeprinzips das potentielle Risiko von Pflanzeninva-

sionen in Gebirgen global frühzeitig zu erkennen und präventive Maßnahmen zu erarbeiten. Das Kernprogramm von MIREN umfasst vergleichende Untersuchungen in neun Gebirgsregionen, welche auf allen Kontinenten sowie auf verschiedenen ozeanischen Inseln verteilt sind und sich von der tropischen bis zur arktischen Klimazone erstrecken (nördliches Skandinavien, Schweizer Alpen, Kanarische Inseln, Pazifischer Nordwesten der USA, Chilenische Anden, Hawaii, Australische Alpen, Himalaja, Südafrika). MIREN kombiniert deskriptive und experimentelle Forschung im Feld und unter kontrollierten Bedingungen mit Management-orientierter Forschung (Dietz et al. 2006).

Dieser Artikel fasst den Wissensstand zur momentanen und möglichen zukünftigen Ausbreitung von Neophyten in Gebirgen zusammen und zeigt den notwendigen präventiven Handlungsbedarf auf. Obwohl sich der Artikel auf Pflanzen beschränkt, dürfte er als eine Grundlage und Anregung für Forschung zum Invasionsrisiko und Managementbedarf von anderen invasiven Organismengruppen in Gebirgen dienen; insbesondere auch für den Pflanzenschutz in Gebirgen.

Vorkommen von Neophyten in Gebirgen

Eine von MIREN erstellte Datenbank von nicht-einheimischen und invasiven Pflanzenarten in Gebirgen weltweit umfasst im Moment etwa 1500 Arten, wobei die meisten Arten jeweils nur in einer einzigen Region vorkommen (McDougall et al. 2011 und www.miren.ethz.ch). Daraus lässt sich schließen, dass in nicht untersuchten Gebieten weitere nicht-einheimische Arten vorkommen und der globale Pool von in Gebirgen potentiell invasiver Arten deutlich größer ist. Insbesondere sind die nicht-einheimischen Floren von Gebirgsregionen in Afrika, in der tropischen Klimazone und großen Teilen Asiens bisher schlecht dokumentiert.

Auf globaler Ebene die weiteste Verbreitung in Gebirgen haben momentan Arten, welche typisch für europäisches Grasland sind (z. B. *Dactylis glomerata*, *Rumex acetosella*, *Trifolium repens*). Diese wurden vermutlich im Lauf der letzten Jahrhunderte in vielen außereuropäischen Gebirgsregionen im Zusammenhang mit Beweidung eingeschleppt. Nur wenige von diesen krautigen Arten werden als Gefahr für die lokale Biodiversität angesehen (z. B. *Achillea millefolium*, *Holcus lanatus*, *Leucanthemum vulgare*, *Verbascum thapsus*) (McDougall et al. 2011). Im Gegensatz dazu werden nicht-einheimische Gehölze häufig als problematisch bewertet, weil sie die Vegetationsstruktur, die chemischen Eigenschaften des Bodens und die Feueranfälligkeit verändern können (z. B. *Cytisus scoparius*, *Ulex europaeus* oder Arten der Gattungen *Acacia*, *Salix* und *Pinus*). Gehölze wurden häufig zur Bodenverbesserung oder aus forstwirtschaftlichen Gründen angepflanzt. Durch den Rückgang der Landwirtschaft und die Zunahme des Tourismus in Gebir-

gen werden zunehmend Zierpflanzen eingeführt. Bisher finden sich noch relativ wenige verwilderte nicht-einheimische Zierpflanzen in Gebirgen, aber die wenigen vorkommenden Arten werden oft bereits als problematisch eingestuft (z. B. Arten der Gattungen *Centaurea*, *Hieracium* und *Linaria*) (McDougall et al. 2011).

Für die europäischen Alpen sind etwa 450–500 nicht-einheimische Gefäßpflanzenarten bekannt, was etwa 10 % der gesamten Alpenflora entspricht (Aeschmann et al. 2004) bzw. 15 bis 20 % von allen dokumentierten nicht-einheimischen Pflanzenarten in Europa (DAISIE 2009). Die Anzahl nicht-einheimischer Pflanzenarten nimmt in Europa schnell zu (DAISIE 2009) und dieser Trend dürfte zumindest zum Teil auch für die Gebirge gelten. Bisher kommen allerdings die meisten Neophyten in den europäischen Alpen nur in tieferen Lagen vor. In einer umfassenden Feldstudie in den Schweizer Alpen wurden von insgesamt 155 Neophyten nur 90 über 1000 m. ü. NN beobachtet, ca. 50 über 1500 m. ü. NN, und nur etwa 10 Arten über 2000 m. ü. NN (Becker et al. 2005). Von den am stärksten invasiven Arten im europäischen Flachland (nach Wittenberg 2005) kommen 23 Arten in der montanen und neun davon in der subalpinen Stufe vor (*Conyza canadensis*, *Elodea canadensis*, *Fallopia sachalinensis*, *Heracleum mantegazzianum*, *Impatiens parviflora*, *Juncus tenuis*, *Lupinus polyphyllus*, *Matricaria discoidea* und *Senecio rupestris*) (Kueffer 2010a). Eine solche starke Abnahme der Anzahl nicht-einheimischer Arten mit der Höhe kann man weltweit in Gebirgen beobachten (Seipel et al. 2011).

Welche Faktoren erklären die Abnahme der Anzahl Neophyten mit zunehmender Höhe?

Pauchard et al. (2009) schlagen vier mögliche Faktoren vor, welche die starke Abnahme der Anzahl Neophyten mit zunehmender Höhe in Gebirgen erklären könnten: i) klimatische Bedingungen, ii) Einfuhrwege und -raten von Neophyten in Gebirge, iii) anthropogene Störungen, und iv) biotische Resistenz von Bergökosystemen. In diesem Abschnitt fasse ich die aktuelle Datenlage zu diesen vier Faktoren zusammen.

Bergklima

Das harsche Klima in höheren Lagen in Gebirgen dürfte eine wichtige Rolle spielen. Die Höhenlimite von einzelnen nicht-einheimischen Arten und von den Neophyten als Gruppe sind in Gebirgen generell abrupt (Alexander et al. 2009; Becker et al. 2005; Jakobs et al. 2010; Seipel et al., 2011; Seipel et al., unpubliziertes Manuskript). Entsprechend finden statistische Modelle einen starken Zusammenhang zwischen Klimafaktoren und der Verbreitung

von nicht-einheimischen Arten entlang von Höhengradienten (Alexander et al. 2009; Jakobs et al. 2010; Marini et al. 2009; Petitpierre et al., unpubliziertes Manuskript). Diese Modelle zeigen, dass in der gemäßigten Zone Faktoren im Zusammenhang mit der abnehmenden Temperatur beziehungsweise verfügbaren Energie den größten Einfluss haben (Marini et al. 2009; Walther 2003; Petitpierre et al., unpubliziertes Manuskript). In subtropischen und tropischen Gebieten dürfte in Hochlagen auch Trockenheitsstress eine Rolle spielen (Haider et al. 2010; Jakobs et al. 2010; Juvik et al. 2011). Weil aber verschiedene Klimafaktoren und andere potentiell relevante Faktoren entlang von Höhengradienten sehr stark korreliert sind, ist es schwierig aufgrund solcher deskriptiver Modelle abschließend zu beurteilen, ob und welche Klimafaktoren für die Begrenzung der Ausbreitung von Neophyten in die Berge entscheidend sind. Insbesondere nimmt die anthropogene Nutzung und Populationsdichte mit zunehmender Höhe ab. Die Genauigkeit von statistischen Modellen verbessert sich tatsächlich, wenn neben Klimafaktoren auch die Abnahme des anthropogenen Einflusses mit zunehmender Höhe einbezogen wird (Jakobs et al. 2010; Marini et al. 2009). Eine interessante Beobachtung, welche die Bedeutung von Klimafaktoren unterstreicht, ist, dass einzelne Arten im einheimischen Gebiet und verschiedenen nicht-einheimischen Gebieten häufig ihre Verbreitungslimite unter den gleichen Klimabedingungen haben (Alexander et al. 2009; Kueffer et al., unpubliziertes Manuskript). Im Gegensatz zu den beobachteten Zusammenhängen zwischen Klimafaktoren und Verbreitung von nicht-einheimischen Arten in Gebirgen, sind die Resultate von experimentellen und demographischen Studien zu den Mechanismen, welche das Überleben der Arten in einem kalten Klima behindern, schwierig zu interpretieren. Sowohl Häufigkeit und Dauer von Frost als auch eine kurze Vegetationsperiode oder tiefe Temperaturen während der Vegetationsperiode können je nach Art eine Rolle spielen (Alexander 2010; Poll 2007; Poll et al. 2009; Trtikova et al. 2010; Walther 1999). Insbesondere dürften extreme Klimaereignisse und regelmäßiges Aussterben und Wiederbesiedeln (source-sink dynamics) sehr wichtig sein (Seipel et al., unpubliziertes Manuskript).

Einfuhrwege

In einem bestimmten Berggebiet sind die nicht-einheimischen Floren der Hochlagen und des Flachlandes sehr ähnlich (Alexander et al. 2011; Haider et al. 2010; McDougall et al. 2011; Seipel et al. 2011). Fast alle nicht-einheimischen Pflanzen, welche in den höchsten Lagen einer Bergregion vorkommen, findet man auch in den tiefsten Lagen. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass sich nicht-einheimische Pflanzen generell aus den Tiefenlagen in die Hochlagen ausgebreitet haben und nicht direkt in die Hochlagen einge-

führt wurden (Alexander et al. 2011; Becker et al. 2005). Als Folge von diesem Einfuhrweg via das Tiefland findet man kaum nicht-einheimische Bergspezialisten in Gebirgen sondern überwiegend Klimageneralisten, welche sowohl in einem Tiefland- als auch Bergklima wachsen können (Alexander et al. 2011; McDougall et al. 2011). Das Tieflagenklima kann daher als AusbreitungsfILTER interpretiert werden, der das Risiko von Pflanzeninvasionen in Gebirgen reduziert (Alexander et al. 2011; Becker et al. 2005). Die indirekten Einfuhrwege und generell die reduzierten Einfuhrraten von Neophyten in Gebirge dürften entscheidend zur Abnahme von Neophyten in Gebirgen beitragen. Würden in großem Ausmaß nicht-einheimische Bergspezialisten direkt in Hochlagen eingeführt, dürfte sich das Invasionsrisiko deutlich erhöhen.

Anthropogene Störungen

Anthropogene Störungen von Habitaten sind in Gebirgen generell geringer (Seipel et al. 2011), und dies dürfte zur Resistenz von Gebirgsökosystemen gegenüber Pflanzeninvasionen beitragen. Die Vielfalt der Neophyten ist in Gebirgen entlang von Straßen, auf Ruderalstandorten und in stark genutzten oder gestörten Habitaten deutlich höher als in natürlichen und ungestörten Gebieten (zum Beispiel in Schutzgebieten) (Alexander et al. 2009; Parks et al. 2005; Seipel et al. 2011). Unterhalb der Waldgrenze dürfte in ungestörten Waldgebieten das reduzierte Lichtangebot eine wichtige Rolle spielen (Haider et al. 2010; Parks et al. 2005; Seipel et al. 2011). In Graslandökosystemen ist Beweidung eine wichtige Störung, welche Invasionen fördert; insbesondere in nicht-europäischen Gebirgsregionen (Daehler 2005; McDougall et al. 2005; Parks et al. 2005). Gestörte Habitats können die Invasion in weniger gestörte Gebiete erleichtern, indem sie die Ausbreitung und den Aufbau einer großen Populationsdichte in Hochlagen ermöglichen und möglicherweise die evolutive Anpassung an ein Bergklima erleichtern (Dietz und Edwards 2006).

Biotische Interaktionen

Experimente zeigen, dass Konkurrenz durch andere Pflanzenarten die Etablierung von nicht-einheimischen Pflanzenarten mit zunehmender Höhe verstärkt erschweren kann (Poll 2007; Poll et al. 2009; Trtikova 2009). Dies würde bedeuten, dass biotische Interaktionen insbesondere auch in höheren Lagen Invasionen behindern. Andererseits aber nimmt die Bedeutung von sich gegenseitig fördernden Interaktionen zwischen Pflanzen (facilitation) in höheren Gebirgslagen generell zu (Callaway et al. 2002). Tatsächlich scheint eine ungestörte Vegetation, zum Beispiel in Form von Polsterpflanzen, die Etablierung von nicht-ein-

heimischen Pflanzen in einem harschen alpinen Klima zu fördern (Cavieres et al. 2005). In diesem Szenario führen biotische Interaktionen zu keiner erhöhten Resistenz und möglicherweise sogar zu einer reduzierten Resistenz von Gebirgsökosystemen gegenüber Invasionen im Gegensatz zu Tieflandökosystemen (Quiroz et al. 2011). Im Moment ist zu wenig bekannt, um ein abschließendes Urteil zu dieser Frage bilden zu können.

Werden Invasionen in Gebirgen in Zukunft zunehmen?

Die im letzten Abschnitt zusammengefasste Datenlage deutet darauf hin, dass das Risiko von Pflanzeninvasionen in naher Zukunft in Gebirgen stark zunehmen wird. Mit dem Klimawandel ist zu erwarten, dass invasive Pflanzen aus dem Tiefland sich auch in Gebirgen etablieren können. In den europäischen Alpen zum Beispiel deuten Modellrechnungen darauf hin, dass fast alle problematischen invasiven Pflanzenarten des Tieflands sich in Zukunft bis in die höchsten Berglagen ausbreiten können (Kueffer 2010a; Petitpierre et al., unpubliziertes Manuskript). In Regionen, in welchen neben kalten Temperaturen auch Trockenheitsstress eine Rolle spielt, sind Vorhersagen schwieriger (Juvik et al. 2011; Petitpierre et al., unpubliziertes Manuskript). Klimawandel kann auch zu zusätzlicher Störung von Ökosystemen führen und dadurch die Resistenz von Bergökosystemen verringern.

Durch die Veränderung der Landnutzung in Gebirgen von Weidewirtschaft hin zu mehr Tourismus kann man eine Veränderung der Artenzusammensetzung der nicht-einheimischen Floren erwarten und damit auch ein erhöhtes Invasionsrisiko (McDougall et al. 2011). Nicht-einheimische Arten, die mit der Graslandwirtschaft eingeführt wurden, waren meistens Generalisten und abhängig von durch Mensch und Nutztieren verursachten Störungen. Diese Arten waren nicht speziell an ein Gebirgsklima angepasst. Im Gegensatz dazu werden Arten, die im Zusammenhang mit Tourismus als Zierpflanzen eingeführt werden, häufig wegen ihrer Kälteresistenz ausgewählt. Im Gegensatz zu früher, wo eine Art eine sehr breite klimatische Anpassungsfähigkeit besitzen musste, um sich zunächst im Tiefland etablieren und dann weiter in die Hochlagen ausbreiten zu können, werden in Zukunft deshalb möglicherweise vermehrt Arten auftauchen, die an das harsche Hochlagenklima vorangepasst sind. Von diesen Bergspezialisten geht eine deutlich größere Gefahr aus als von den gegenwärtigen Generalisten. Schließlich kann zunehmende anthropogene Nutzung und Störung von höheren Gebirgslagen die Einfuhrate von Neophyten erhöhen und die Resistenz von Ökosystemen verringern.

Handlungsmöglichkeiten

Gebirge, insbesondere die europäischen Alpen, beheimaten zahlreiche Ökosysteme, die bislang noch nicht gravierend von Pflanzeninvasionen betroffen sind. Dies ergibt für Wissenschaftler und Naturschützer die einmalige Möglichkeit, rechtzeitig auf eine mögliche zukünftige Bedrohung zu reagieren. Prävention im Sinne des Vorsorgeprinzips ist hierbei die effektivste und auch kostengünstigste Möglichkeit (Kueffer und Hirsch Hadorn 2008; Wittenberg und Cock 2001). Dazu müssen potentiell invasive Arten identifiziert und ihr Transport reglementiert werden. Im Rahmen des Mountain Invasion Research Network (MIREN) wurde eine globale Online-Datenbank mit nicht-einheimischen Pflanzenarten in Gebirgen erstellt (McDougall et al. 2011 und www.miren.ethz.ch) und ein erster Entwurf einer Liste potentiell invasiver Pflanzen für die europäischen Alpen erstellt (Kueffer 2010a). Zu wissen, welche Arten in anderen Regionen invasiv sind, ist für Naturschutzverantwortliche eine wichtige Informationsquelle, um geeignete Maßnahmen ergreifen zu können (McDougall et al. 2011). Dabei muss man allerdings bedenken, dass mit sich verändernder Landnutzung und globalem Wandel die Invasionsrisiken in Zukunft auch von völlig neuen Arten ausgehen können (Kueffer 2010b). Neben der Regulierung der Einfuhr von nicht-einheimischen Pflanzen ist es wichtig, ein Monitoringprogramm zu etablieren, um vorhandene Populationen zu beobachten und neue Populationen invasiver Arten frühzeitig zu entdecken. Nur in der Anfangsphase einer biologischen Invasion ist es möglich, eine als problematisch bewertete Pflanzenart erfolgreich zu bekämpfen. Dies gilt besonders für Gebirge, welche durch eine komplexe Topographie geprägt sind. Eine umfassende Strategie gegen Pflanzeninvasionen in Gebirgen kann auch weitere Vorsichtsmaßnahmen beinhalten, z. B. das Säubern von Kleidung, Werkzeug oder Maschinen vor dem Eintritt in ein Schutzgebiet, um dadurch das Risiko der Verbreitung von nicht-einheimischen Pflanzenarten durch Besucher oder Arbeiter zu verringern. Insgesamt sollte das Bewusstsein zu diesem Thema in der Bevölkerung und bei allen Akteuren sensibilisiert werden und eine Zusammenarbeit mit betroffenen Gruppen, wie z. B. der Gartenindustrie, der Tourismusbranche und der Bevölkerung, gestärkt werden.

Dieser Artikel hat sich auf das Invasionsrisiko von nicht-einheimischen Pflanzenarten in Gebirgen beschränkt. Mit globalem Wandel und insbesondere Klimawandel werden sich aber in Zukunft auch vermehrt einheimische Tieflandpflanzen in Gebirge ausbreiten. Einige dieser Einwanderer können möglicherweise zu negativen Einflüssen auf seltene Bergpflanzen oder Ökosystemprozesse führen. Es bedarf daher einer breiteren Diskussion zur Bewertung und dem Management von Florenveränderungen in Gebirgen. Neben Pflanzen dürften sich in Zukunft auch andere Organismen-

gruppen verstärkt in höhere Lagen ausbreiten, zum Beispiel Schädlinge von Tieren (Benning et al. 2002) oder Pflanzen (Marris 2011). Bisher gibt es kaum einheitliche Forschung und Managementstrategien zu solchen Invasionsrisiken in Gebirgen. Die Erfahrungen von MIREN (www.miren.ethz.ch) haben gezeigt, dass fokussierte globale Forschungsnetzwerke erfolgreich und schnell neue Risiken in Gebirgen erkennen und verstehen können. Solche Ansätze bieten sich auch für andere Organismengruppen an.

Danksagung Diese Synthese beruht auf den Arbeiten und Diskussionen des MIREN-Konsortiums (<http://www.miren.ethz.ch/people/index.html>). Das Manuskript hat von Kommentaren von Jake Alexander und Sylvia Haider profitiert.

Literatur

- Aeschimann D, Lauber K, Moser DM, Theurillat J-P (2004) Flora Alpina. Haupt, Bern
- Alexander J (2010) Genetic differences in the elevational limits of native and introduced *Lactuca serriola* populations. *J Biogeogr* 37:1951–1961
- Alexander J, Naylor B, Poll M, Edwards PJ, Dietz H (2009) Plant invasions along mountain roads: the altitudinal amplitude of alien Asteraceae forbs in their native and introduced ranges. *Ecography* 32:334–344
- Alexander JM, Kueffer C, Daehler CC, Edwards PJ, Pauchard A, Seipel T, MIREN Consortium (2011) Assembly of non-native floras along elevational gradients explained by directional ecological filtering. *PNAS* 108:656–661
- Becker T, Dietz H, Billeter R, Buschmann H, Edwards PJ (2005) Altitudinal distribution of alien plant species in the Swiss Alps. *Persp Plant Ecol Evol Syst* 7:173–183
- Benning TL, LaPointe D, Atkinson CT, Vitousek PM (2002) Interactions of climate change with biological invasions and land use in the Hawaiian Islands: modeling the fate of endemic birds using a geographic information system. *PNAS* 99:14246–14249
- Callaway RM, Brooker RW, Choler P, Kikvidze Z, Lortie CJ, Michalet R, Paolini L, Pugnaire FI, Newingham B, Aschehoug ET, Armas C, Kikodze D, Cook BJ (2002) Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* 417:844–848
- Cavieres LA, Quiroz CL, Molina-Montenegro MA, Munoz AA, Pauchard A (2005) Nurse effect of the native cushion plant *Azorella monantha* on the invasive non-native *Taraxacum officinale* in the high-Andes of central Chile. *Persp Plant Ecol Evol Syst* 7:217–226
- Daehler CC (2005) Upper-montane plant invasions in the Hawaiian Islands: patterns and opportunities. *Persp Plant Ecol Evol Syst* 7:203–216
- DAISIE (2009) Handbook of alien species in Europe. Springer, New York
- Dietz H, Edwards PJ (2006) Recognition that causal processes change during plant invasion helps explain conflicts in evidence. *Ecology* 87:1359–1367
- Dietz H, Kueffer C, Parks CG (2006) MIREN: a new research network concerned with plant invasion into mountain areas. *Mountain Res Dev* 26:80–81
- Haider S, Alexander J, Dietz H, Trepl L, Edwards PJ, Kueffer C (2010) The role of bioclimatic origin, residence time and habitat context in shaping non-native plant distributions along an altitudinal gradient. *Biol Invasions* 12:4003–4018

- Jakobs G, Kueffer C, Daehler CC (2010) Introduced weed richness across altitudinal gradients in Hawai'i: humps, humans and water-energy dynamics. *Biol Invasions* 12:4019–4031
- Juvik JO, Rodomsky BT, Price JP, Hansen EW, Kueffer C (2011) "The upper limits of vegetation on Mauna Loa, Hawai'i": a fiftieth-anniversary reassessment. *Ecology* (im Druck)
- Körner C (2003) *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*, 2. Aufl. Springer, Berlin
- Körner C, Spehn EM (2002) *Mountain biodiversity: a global assessment*. Parthenon Publishing Group, London
- Kueffer C (2010a) Alien plants in the Alps: status and future invasion risks. In: Price MF (Hrsg) *Europe's ecological backbone: recognising the true value of our mountains*. European Environment Agency (EEA), Copenhagen, S 153–154
- Kueffer C (2010b) Transdisciplinary research is needed to predict plant invasions in an era of global change. *Trends Ecol Evol* 25:619–620
- Kueffer C, Hirsch Hadorn G (2008) How to achieve effectiveness in problem-oriented landscape research: the example of research on biotic invasions. *Living Rev Landscape Res* 2:2. <http://www.livingreviews.org/lrlr-2008-2>
- Marini L, Gaston KJ, Prosser F, Hulme PE (2009) Contrasting response of native and alien plant species richness to environmental energy and human impact along alpine elevation gradients. *Global Ecol Biogeogr* 18:652–661
- Marris E (2011) The end of the wild. *Nature* 469:150–152
- McDougall K, Alexander J, Haider S, Pauchard A, Walsh N, Kueffer C (2011) Alien flora of mountains: global comparisons for the development of local preventive measures against plant invasions. *Div Distr* 17:103–111
- McDougall KL, Morgan JW, Walsh NG, Williams RJ (2005) Plant invasions in treeless vegetation of the Australian Alps. *Persp Plant Ecol Evol Syst* 7:159–171
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. World Resources Institute, Washington
- Parks CG, Radosevich SR, Endress BA, Naylor BJ, Anzinger D, Rew LJ, Maxwell BD, Dwire KA (2005) Natural and land-use history of the Northwest mountain ecoregions (USA) in relation to patterns of plant invasions. *Persp Plant Ecol Evol Syst* 7:137–158
- Pauchard A, Kueffer C, Dietz H, Daehler CC, Alexander J, Edwards PJ, Arévalo JR, Cavieres L, Guisan A, Haider S, Jakobs G, McDougall K, Millar CI, Naylor BJ, Parks CG, Rew LJ, Seipel T (2009) Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations. *Frontiers Ecol Environ* 7:479–486
- Poll M (2007) *Invasive potential of herbaceous Asteraceae in mountainous regions: an experimental approach*. Department of Environmental Sciences. Diss ETH No. 17526, ETH Zurich, Zurich
- Poll M, Naylor B, Alexander J, Edwards PJ, Dietz H (2009) Seedling establishment of Asteraceae forbs along altitudinal gradients: a comparison of transplant experiments in the native and introduced ranges. *Div Distr* 15:254–265
- Quiroz CL, Cavieres LA, Pauchard A (2011) Assessing the importance of disturbance, site conditions, and the biotic barrier for dandelion invasion in an Alpine habitat. *Biol Invasions*. doi:1007/s10530-011-9971-4 (im Druck)
- Seipel T, Kueffer C, Rew LJ, Daehler CC, Pauchard A, Naylor BJ, Alexander JM, Edwards PJ, Parks CG, Arevalo JR, Cavieres LA, Dietz H, Jakobs G, McDougall K, Otto R, Walsh N (2011) Processes at multiple spatial scales determine non-native plant species richness and similarity in mountain regions around the world. *Global Ecol Biogeogr*. doi: 10.1111/j.1466-8238.2011.00664.x (im Druck)
- Trtikova M (2009) Effects of competition and mowing on growth and reproduction of the invasive plant *Erigeron annuus* at two contrasting altitudes. *Bot Helv* 119:1–6
- Trtikova M, Edwards PJ, Güsewell S (2010) No adaptation to altitude in the invasive plant *Erigeron annuus* in the Swiss Alps. *Ecography* 33:556–564
- Vila M, Basnou C, Pysek P et al (2010) How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers Ecol Environ* 8:135–144
- Walther G-R (1999) Distribution and limits of evergreen broad-leaved (laurophyllous) species in Switzerland. *Bot Helv* 109:153–167
- Walther G-R (2003) Plants in a warmer world. *Persp Plant Ecol Evol Syst* 6:169–185
- Wittenberg R (2005) *An inventory of alien species and their threat to biodiversity and economy in Switzerland*. CABI Bioscience Switzerland Centre, report to the Swiss Agency for Environment, Forests and Landscape, Berne
- Wittenberg R, Cock MJW (2001) *Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices*. CAB International, Wallington. <http://www.gisp.org/publications/toolkit/index.asp>

Christoph Kueffer, Studium der Umweltwissenschaften an der ETH Zürich. Oberassistent am Institut für Integrative Biologie der ETH Zürich. Koordinator des Mountain Invasion Research Network (MIREN, www.miren.ethz.ch). Forschungsschwerpunkte: Pflanzeninvasionen in Gebirgen und auf ozeanischen Inseln; Naturschutz auf ozeanischen Inseln; Transdisziplinäre Forschung zu den ökologischen Folgen von globalem Wandel.