

2.7 Alpine Ökosysteme

Die starke Strukturierung der Landoberfläche im Gebirge, die unterschiedliche Hangneigung und die Exposition zur Sonne schaffen auf engem Raum ein buntes Mosaik aus Temperaturverhältnissen, die als Puffer gegen grossräumige Klimaänderungen wirken. Dennoch wirkt sich die Klimaänderung auch auf die alpinen Ökosysteme aus. So ist beispielsweise in der Schweiz – trotz wachsenden Gletschervorfeldflächen – eher eine Abnahme der alpinen Fläche zu erwarten, weil sich die temperaturbestimmte Baumgrenze langfristig nach oben schieben wird. Die Erwärmung des Klimas und das Höherrücken des Bergwaldes führen zu einer klimatischen Verinselung hochalpiner Lagen. Diese Flächenveränderungen müssen berücksichtigt werden, wenn es um die alpine Landnutzung geht. Der bereits rekordhohe und weiter steigende Bestand an Sommerungsschafen drückt dann auf eine kleiner werdende alpine Fläche. Die Folgen sind vermehrte Trittschäden und Erosion.

Christian Körner (Universität Basel), Eva Spehn (Forum Biodiversität/SCNAT und Universität Bern)

Globale und nationale Situation

Der alpine Lebensraum oberhalb des Bergwaldes umfasst etwa ein Drittel der schweizerischen Landesfläche und repräsentiert die letzten grossen Urlandschaften Mitteleuropas. Ähnliche alpine Ökosysteme gibt es weltweit; sie liegen zwar je nach geographischer Breite in unterschiedlicher Höhe, aber in stets ähnlichem Temperaturklima. Daher eignen sie sich besonders für globale Vergleiche (Körner 2003). Da in der Schweiz im alpinen Lebensraum im Durchschnitt doppelt so viel Niederschlag fällt wie im Tal, liefern diese Hochlagen einen Grossteil des energiewirtschaftlich genutzten Wassers. Die Hänge im alpinen Lebensraum sind allerdings steil und nur so stabil wie ihre Vegetation dicht und vital ist, womit die alpine Pflanzendecke die Sicherheit der Siedlungsräume und Transportrouten sichert. Die Biodiversität ist sehr hoch, etwa ein Viertel aller Blütenpflanzenarten der Schweiz findet sich oberhalb der alpinen Baumgrenze. Der Einfluss des Menschen auf alpine Ökosysteme ist zwar nachweisbar, aber führte zumeist nicht zu einem markanten Umbau der Lebenswelt. Eine langfristige Umweltbeobachtung, wie es sie für den Wald gibt, existiert für den alpinen Lebensraum in der Schweiz nicht.

Verletzlichkeit

Im Fünften Sachstandsbericht des IPCC wird den alpinen Systemen – ausschliesslich auf Basis theoretischer Modelle – eine hohe Verletzlichkeit gegenüber dem Klimawandel zugeschrieben: Seltene Arten und Arten mit enger Temperaturtoleranz sollen demnach zurückgehen, da die Veränderungen zu rasch erfolgen oder sie im alpinen Raum irgendwann nicht mehr weiter in die Höhe ausweichen können. Die realen Lebensbedingungen im alpinen Terrain zeigen allerdings ein differenzierteres Bild: Die starke Strukturierung der Landoberfläche im Ge-

birge, die unterschiedliche Hangneigung und Exposition zur Sonne oberhalb der Waldgrenze schaffen auf engem Raum ein buntes Mosaik von Temperaturverhältnissen, das als Puffer gegen die Wirkung von grossräumigen Klimaänderungen wirkt und das System insgesamt weniger verletzlich macht. Steile klimatische Gradienten über kurze Distanzen erlauben alpinen Organismen ein kleinräumiges Ausweichen (Körner 2003; Scherrer 2010, Abb. 2.9). Auch feinskalige Modelle legen ein grosses Beharrungsvermögen nahe (Randin et al. 2009). Zudem erwiesen sich klonal wachsende Arten (die weit überwiegende Mehrheit der alpinen Arten) als besonders robust gegenüber Klimaänderungen (de Witte et al. 2012). Im Übergangsbereich zum Bergwald droht der alpinen Vegetation ein Flächenverlust durch Vergandung (Rückgang der alpinen wirtschaftlichen Nutzung) und durch das klimabedingte Hochsteigen der Waldgrenze.

Schleichende Veränderungen

Änderungen der Biodiversität werden im alpinen Lebensraum ab einer durchschnittlichen globalen Erwärmung von mehr als zwei Grad Celsius erwartet (IPCC 2014/ WGII/Chap. 4). Langfristig werden im Gebirge nach diesen Modellen Organismenarten höher rücken. Solche Temperaturschwellenwerte sind für kontinuierliche Prozesse zwar etwas Künstliches, eine 2-Grad-Erwärmung würde aber weltweit langfristig die Fläche der unteren alpinen Stufe um ein Viertel reduzieren und die obere alpine Stufe halbieren (Körner 2012; Tab. 5.5). Diese Werte dürften näherungsweise auch für die Schweiz gelten, da auch hier die Position der Waldgrenze von der Temperatur bestimmt wird. Da Pionierarten und Generalisten früher höher rücken als Spezialisten mit sehr engen Lebensraumansprüchen, wird sich die Zusammensetzung der Arten verändern und tendenziell trivialisieren. In der Schweiz wurden entlang von Höhengradienten unterschiedliche

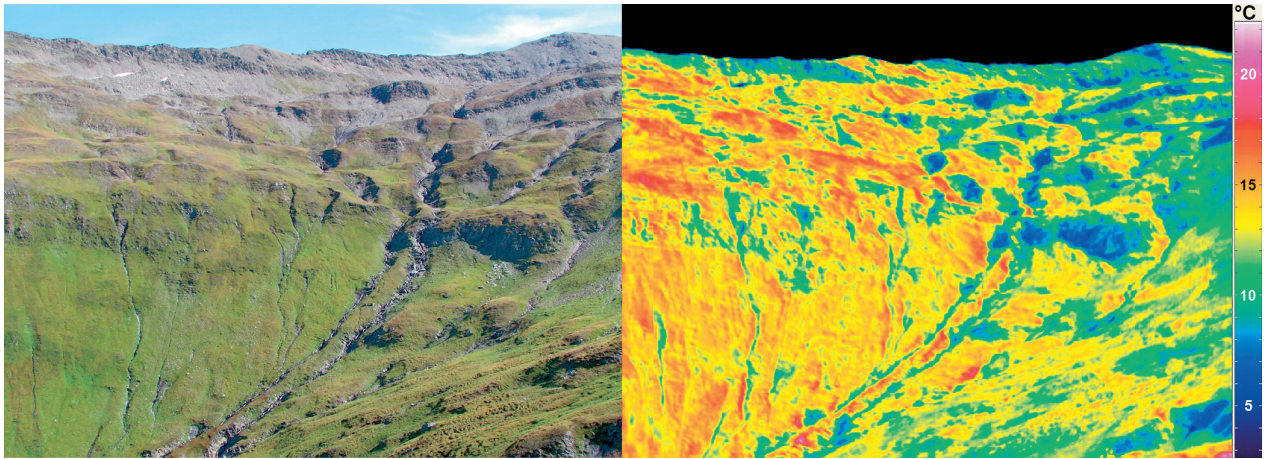


Abbildung 2.9: Geländestruktur, Hangneigung und Exposition schaffen in der baumlosen Hochgebirgslandschaft ein Mosaik an Kleinlebensräumen mit sehr unterschiedlichen Temperaturen. Deshalb sind alpine Organismen weniger gefährdet durch eine allgemeine Erwärmung als Arten in tieferen Lagen. Die Wege zu geeigneteren Lebensräumen sind sehr kurz. Ein Wärmebild zeigt das Wärmemosaik in 2500 Metern Höhe, hier am Beispiel der Furkapass-Region. Während einer Saison unterscheiden sich die Mitteltemperaturen der verschiedenen Kleinlebensräume am Hang um mehr als zehn Grad Celsius. Die Daten wurden mit vielen automatischen Temperatursensoren verteilt über den ganzen Hang ganzjährig erhärtet. (Quelle: Angepasst von Scherrer & Körner 2010)

Wanderungsraten für Pflanzen, Schmetterlinge und Vögel festgestellt (Roth et al. 2014). Vögel folgen dem Klimawandel der jüngsten Zeit rasch; wesentlich langsamer reagieren Pflanzen und die – vermutlich wegen der Raupenstadien – oft an sie gebundenen Schmetterlinge. Die höchsten Berggipfel in den Zentralalpen zeigen eine deutliche Zunahme an Pflanzenarten im Laufe der letzten 100 Jahre (Wipf et al. 2013) durch die Einwanderung von Arten aus tieferen Lagen, die leicht zu verbreitende Samen besitzen und die nun nicht mehr wegen ihres höheren Wärmebedarfes von Gipfelfluren ausgeschlossen bleiben. Während des vergangenen Jahrzehnts wurden also Blütenpflanzen aus tieferen alpinen Lagen auf Bergspitzen in ganz Europa häufiger (Gottfried et al. 2012), zumindest in boreal-temperaten Gebieten (+3,9 Arten im Durchschnitt). In südlichen Teilen der Alpen und in mediterranen Gebirgen hingegen nahmen die Artenzahlen eher ab (–1,4 Arten im Durchschnitt). Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die jüngsten Klimaänderungen die hochsommerliche Verfügbarkeit von Wasser im südlichen Europa vermindert haben (Pauli et al. 2012). Bemerkenswert ist auch, dass letztere Studie die grössten (schnellsten) Veränderungen in der untersten alpinen Stufe feststellte, da dort das Reservoir verfügbarer Arten grösser ist und wegen des günstigeren Klimas die Ausbreitung schneller erfolgen kann.

Alpine Flächen werden eher abnehmen

Der rapide Gletscherrückzug schafft neue Lebensräume, die bis zu ihrer vollständigen Besiedlung durch Pflanzen viele Jahrzehnte lang ein labiles, erosionsanfälliges Terrain darstellen. In der Schweiz ist trotz vergrösserten Glet-

schervorfeldflächen eine Abnahme der alpinen Fläche zu erwarten, weil sich die temperaturbestimmte Baumgrenze langfristig nach oben schieben wird. Dieses Höhersteigen des Bergwaldes hält anfangs nicht mit der Erwärmung des Klimasystems Schritt und ist noch mit ausgeprägten zeitlichen und räumlichen Unterschieden behaftet. Da der Erfolg von Sämlingen und ganz jungen Bäumen vom zufälligen Zusammentreffen von samenreichen Jahren (Mastjahren) mit klimatisch besonders günstigen Folgejahren bestimmt wird, erfolgt die Besiedlung des alpinen Gürtels durch Bäume schubweise über Jahrzehnte verteilt. Sämlingspopulationen haben daher nur beschränkten Wert als Mass für das Vorrücken des Waldes (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106). Andere Faktoren, die nichts mit dem Klimawandel zu tun haben, wie der Rückgang der Landnutzung, spielen dabei eine wichtige Rolle (Gehrig-Fasel et al. 2007). Gemäss dieser Studie geht der überwiegende Teil der Vermehrung der Bergwaldfläche auf das Konto von Wiederbewaldung (und Verbuschung) von ehemaligem Weidland unterhalb der klimatischen Waldgrenze.

Ob sich die für das Leben im Gebirge entscheidende Dauer der Schneebedeckung im oberen Bereich der alpinen Stufe (>2300 Meter) verändert, ist noch unklar. Unterhalb 1750 Metern über Meer ist ein Rückgang der Schneebedeckung evident (Rebetez 1996; Benniston 1997), in höheren Lagen kann wegen der Zunahme der Gesamtniederschläge eine mächtigere Schneedecke der Wirkung der Klimaänderung auf die Schneedeckendauer entgegenwirken. Dies obwohl die Zahl der Tage mit Schneefall in alpinen Höhenlagen abnimmt, wenn auch mit zunehmender

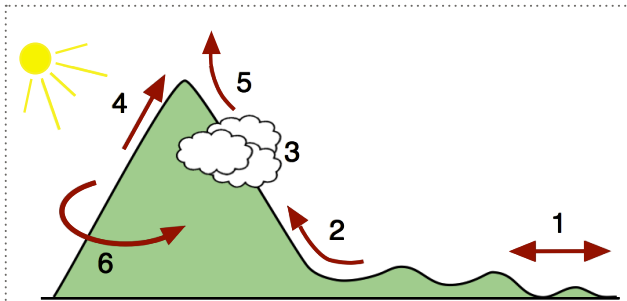


Abbildung 2.10: Wollen Arten der Niederung einer Klimaänderung ausweichen, müssen sie sehr grosse Distanzen überwinden (für sie gibt es kaum einen Ausweg (1)). Berge können hingegen ein Fluchttort (Refugium) sein (2, 4) und waren das erdgeschichtlich auch immer. Berge können auch zur Falle werden, wie im Fall schrumpfender Nebelbänke in tropischen Bergnebelwälder oder wenn Organismen Berge besiedeln, die nicht hoch genug sind (3, 5). In aller Regel sind Berge aber eine Chance (6), weil es über sehr kurze Distanzen «Fluchtwege» gibt (6), als Folge des Mosaiks von Kleinklimabedingungen. (Quelle: Körner 2013)

Höhe weniger ausgeprägt (Serquet et al. 2011). In hohen Lagen muss deshalb die schneefreie Zeit trotz eines wärmeren Klimas nicht unbedingt länger werden.

Stickstoff hat grossen Einfluss auf Flora

Es gibt erste Hinweise, dass der Einfluss der atmosphärischen Stickstoffdeposition (durch Verkehr, Viehhaltung und Düngemittel) auf die alpine Flora zurzeit grösser ist als der Effekt der Klimaänderung (Bobbink 2010). Die Folgen sind Verschiebungen in der pflanzlichen Arten dominanz hin zu raschwüchsigen Arten, zu Ungunsten langsamwüchsiger, kleiner und oft seltener Arten. Solche Wirkungen wurden von Roth et al. (2013) für die ganze Schweiz auch in tieferen Lagen nachgewiesen. Eine Erhöhung der Produktivität der alpinen Vegetation durch höhere CO₂-Konzentrationen kann nach heutigem Wissen ausgeschlossen werden (Inauen et al. 2012).

Extremereignisse

Extreme Trockenheit und Hitze stellen für alpine Pflanzen nach heutigem Wissen kein existentielles Risiko dar. Das ist eine Folge der Langlebigkeit der meisten alpinen Pflanzenarten, von denen die Bedeutendsten mehrere tausend Jahre alt werden und sich vegetativ (klonal) vermehren (de Witte et al. 2012), was sie relativ robust gegenüber kurzfristigen Schwankungen der Lebensbedingungen macht. Auch die Kürze des Bergsommers und die relativ hohen Niederschläge lassen eine extreme Austrocknung nicht zu. Die negativen Wirkungen solcher Extreme sind daher im Gebirge generell stark abgeschwächt, ja können im Bereich der Waldgrenze und darüber sogar ins Positive wechseln, also zu stärkerem Wachstum führen (Jolly et al.

2009). Vermehrte Wasserausbrüche aus dem Gletschervorfeld als Folge des Gletscherschmelzens gefährden darunterliegende Lebensräume und verzögern die Etablierung einer geschlossenen Pflanzendecke im Gletschervorfeld.

Anpassung an den Klimawandel

Die Fähigkeit der meisten alpinen Pflanzen und Tiere, mit schwankenden Lebensbedingungen umzugehen, ist gross und die vielen Kleinstlebensräume erlauben ein Ausweichen auf kleinem Raum (Scherrer & Körner 2010; Körner 2013; Abb. 2.10). Die Erwärmung des Klimas und das Höherrücken des Bergwaldes führen jedoch zu einer Verinselung der hochalpinen Lagen. Bei der Dimension und Platzierung von Schutzgebieten sind solche Veränderungen zu antizipieren (Korridore, zusammenhängende Hochlagen). Die Sömmerungsnutzung im alpinen Gelände, insbesondere durch Schafe, dürfte weiter zunehmen. Im steilen Gelände entsteht dadurch je nach Witterung ein erhöhtes Erosionsrisiko, insbesondere weil Schafe im zunehmend wärmeren Hochsommer bevorzugt kühle Hochlagen aufsuchen, deren Fläche sich wegen des Klimawandels langfristig deutlich verkleinern wird (siehe oben). Eine strikte und kompetente Behirtung ist nötig, vor allem wenn – wie neuerdings üblich – grosse Herden das Gelände nutzen. Fehler in der alpinen Landnutzung können in Kombination mit dem Klimawandel zu unumkehrbaren Schäden an den fragilen Böden führen, was sich wiederum auf den Wasserhaushalt auswirkt.

Herausforderungen für die Schweiz

Abgesehen von den technischen und touristischen Problemen (Anlagen auf auftauendem Permafrost beziehungsweise abnehmende Schneesicherheit) in Folge einer Erwärmung des Klimasystems (s. a. Kap. 2.3 Schnee, Gletscher und Permafrost, S. 80, Kap. 2.11 Tourismus, S. 117) sind die grössten Herausforderungen für den Naturerhalt im alpinen Lebensraum die Bewahrung und Schaffung grosser, überregionaler Schutzgebiete, die durch Korridore verknüpft sind und so Migrationen besonders von Tieren erlauben. Eine spezielle Herausforderung liegt in der neuerdings massiv angestiegenen Weidenutzung höchster Lagen (Schafe) die ohne Behirtung, bei kleiner werdendem hochalpinen Areal und wärmeren Sommern, massive Boden- und Vegetationsschäden bewirken. Auch wachsende Wildtierpopulationen, wie die des Steinbocks, werden im Sommer durch die Erwärmung in höhere Lagen gedrängt. Ein Artenverlust ist in den höchsten Lagen eher unwahrscheinlich, im Bereich der Waldgrenze (durch Habitatverlust) aber möglich (Verlust von alpinen Wildheufeldern, hochgelegenen Naturwiesen infolge des hochrückenden Bergwaldes). Massnahmen zum bewuss-

ten Offenhalten solcher Flächen sind sicher eine beträchtliche Herausforderung.

Referenzen

- Beniston M (1997) **Variation of snow depth and duration in the Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcing.** *Climatic Change* 36: 281–300.
- Bobbink R, Hicks K, Galloway J, Spranger T, Alkemade R, Ashmore M, Bustamante M, Cinderby S, Davidson E, Dentener F, Emmett B, Erisman JW, Fenn M, Gilliam F, Nordin A, Pardo L, De Vries W (2010) **Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis.** *Ecological Applications* 20: 30–59.
- de Witte LC, Armbruster GFJ, Gielly L, Taberlet P, Stocklin J (2012) **AFLP markers reveal high clonal diversity and extreme longevity in four key arctic-alpine species.** *Molecular Ecology* 21: 1081–1097.
- Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann NE (2007) **Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment?** *Journal of Vegetation Science* 18: 571–582.
- Gottfried M et al. (2012) **Continent-wide response of mountain vegetation to climate change.** *Nature Climate Change* 2: 111–115.
- Harsch MA, Hulme PE, McGlone MS, Duncan RP (2009) **Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming.** *Ecological Letters* 12: 1040–1049.
- Inauen N, Körner C, Hiltbrunner E (2012) **No growth stimulation by CO₂ enrichment in alpine glacier forefield plants.** *Global Change Biology* 18: 985–999.
- IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 4 «Terrestrial and inland water systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2
- Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps.** *Geophysical Research Letters* 32: L18409.
- Körner C (2003) **Alpine Plant Life (second edition).** Springer, Berlin.
- Körner C (2013) **Alpine ecosystems.** In: Levin SA (ed.) *Encyclopedia of biodiversity* (second edition). Elsevier: 148–157.
- Pauli H et al. (2012) **Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits.** *Science* 336: 353–355.
- Randin CF, Engler R, Normand S, Zappa M, Zimmermann NE, Pearman PB, Vittoz P, Thuiller W, Guisan A (2009) **Climate change and plant distribution: local models predict high-elevation persistence.** *Global Change Biology* 15: 1557–1569.
- Rebetez M (1996) **Seasonal relationship between temperature, precipitation and snow cover in a mountainous region.** *Theoretical and Applied Climatology* 54: 99–106.
- Roth T, Kohli L, Rihm B, Achermann B (2013) **Nitrogen deposition is negatively related to species richness and species composition of vascular plants and bryophytes in Swiss mountain grassland.** *Agriculture, Ecosystems and Environment* 178: 121–126.
- Roth T, Plattner M, Amrhein V (2014) **Plants, birds and butterflies: short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude.** *PLoS ONE* 9: e82490.
- Scherrer D, Körner C (2010) **Infra-red thermometry of alpine landscapes challenges climatic warming projections.** *Global Change Biology* 16: 2602–2613.
- Scherrer D, Körner C (2011) **Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming.** *Journal of Biogeography* 38: 406–416.
- Serquet G, Marty C, Dulex JP, Rebetez M (2011) **Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland.** *Geophysical Research Letters* 38: L07703.
- Wipf S, Stöckli V, Herz K, Rixen C (2013) **The oldest monitoring site of the Alps revisited: accelerated increase in plant species richness on Piz Linard summit since 1835.** *Plant Ecology & Diversity* 6: 447–455.