

5.9 Die Tierwelt der Alpen im Klimawandel

PETER HUEMER, HERMANN SONNTAG,
FRIEDERIKE BARKMANN & ANDRÉ STADLER

*Der Klimawandel hat in vielen Fällen gravierende Auswirkungen auf die Alpenfauna. Neben phänologischen Veränderungen spielt dabei vor allem die Verschiebung der Lebensräume vieler Arten in größere Höhenlagen eine bedeutende Rolle. Alpine Arten sind besonders stark betroffen, da die Möglichkeiten, in noch größere Höhen auszuweichen, begrenzt sind. Ein Beispiel dafür ist das Alpenschneehuhn (*Lagopus muta*), dessen Populationen im Alpenraum im Laufe dieses Jahrhunderts stark zurückgehen werden. Ebenso betroffen sind wirbellose Arten wie die alpinen Palpenfalter der Gattung *Sattleria*, die vielfältige Anpassungen an die extremen Bedingungen im Hochgebirge zeigen. Veränderungen sind ebenfalls in aquatischen Ökosystemen zu beobachten: Durch die Erwärmung der Fließgewässer verkleinert sich der Lebensraum einiger Fischarten, während andere von der Entwicklung profitieren. Wichtig ist in diesem Zusammenhang zudem die Umweltbildung, die im Kontext vom Klimawandel bestens von Zoologischen Gärten, wie dem Alpenzoo Innsbruck-Tirol übernommen wird.*

***The wildlife of the Alps under climate change:** In many cases Climate Change has serious impacts on the alpine fauna. Next to phenological changes an upward shift of habitats plays an important role. Alpine species are especially affected by climate change as the potential for migration to higher altitudes is limited. An example is the rock ptarmigan (*Lagopus muta*), whose populations in the alps will decrease strongly in this century. Invertebrate species such as the alpine twirler moths of the genus *Sattleria*, which show various adaptations to the extreme conditions in high-altitude mountains, are also affected. Changes caused by climate change can be observed in aquatic ecosystems as well: due to the heating of streaming waters some fish species lose parts of their habitat while others benefit from the development. In this context, environmental education is also important, which in the context of climate change is taken over by zoos, such as the Alpenzoo Innsbruck-Tirol.*

Die Anzahl an Tierarten in den Alpen ist nicht genau bekannt, wird aber auf 30.000 Arten geschätzt. Die Anzahl der Wirbeltierarten – Säugetiere (80 Arten), Amphibien (21 Arten), Reptilien (15 Arten), Fische (80 Arten) und Vögel (200 Brutvögel) (WWF 2005) – wird bei weitem übertroffen von den Wirbellosen wie zum Beispiel Käfern, Schmetterlingen, Spinnen, Bienen, Libellen, Fadenwürmern, Wanzen, Milben und Wespen.

Der Klimawandel wirkt sich auf vielfältige Weise auf die Alpenfauna aus. Zu den direkten Folgen steigender Temperaturen gehören phänologische Veränderungen ebenso wie die Verschiebung von Lebensräumen in größere Höhenlagen. Auch ein vermehrtes Auftreten von Extremereignissen wie lange Hitzeperioden oder Veränderungen der Niederschlagsverteilung können Auswirkungen auf die Tierwelt haben. Aufgrund der vielfältigen Beziehungen, in denen die Arten in Ökosystemen zueinander stehen, sind allerdings auch viele Arten vom Klimawandel betroffen, die nicht unter den direkten Folgen leiden – zum Beispiel weil ihre Nahrungsquelle zurückgeht, das Verhalten von Fressfeinden sich verändert oder sie mit neuen Konkurrenten konfrontiert werden. Einige wesentliche Veränderungen sollen hier kurz skizziert werden.

Phänologische Veränderungen

Phänologische Trends lassen sich bei Tieren vor allem im Frühjahr klar erkennen, während die Veränderungen im Herbst weniger ausgeprägt sind. Die Vogelbrut,

Laichrufe von Amphibien und das Auftreten vieler Insektenarten können immer früher im Jahr beobachtet werden (WALTHER et al. 2002). Besonders betroffen sind wechselwarme Arten, da diese in ihrer Entwicklung stark von den Außentemperaturen beeinflusst werden. So verkürzt sich die Generationszeit von Insekten, wenn diese sich aufgrund wärmerer Temperaturen schneller entwickeln. Die Lebenszyklen einzelner Arten sind teilweise sehr genau aufeinander abgestimmt. Beispielsweise schlüpfen die Küken einiger Vogelarten, wenn viele Raupen als Nahrungsquelle zur Verfügung stehen. Wenn sich der Lebenszyklus von nur einer Art in einer solchen Beziehung ändert, kann es zu phänologischen Missverhältnissen mit teilweise gravierenden Auswirkungen für einzelne Arten kommen (WALKER et al. 2019).

Verschiebung von Lebensräumen

Gebirge sind weltweit besonders stark vom Klimawandel betroffen und zeigen einen höheren Temperaturanstieg als der globale Durchschnitt (s. Kap. 1.1). Tiere können sich an die wärmeren Bedingungen entweder anpassen oder ihnen durch Wanderungen nach Norden und in größere Höhenlagen ausweichen. Bereits jetzt kann in den Alpen eine räumliche Verschiebung der Lebensräume vieler Tierarten als Reaktion auf steigende Temperaturen beobachtet werden (BÜNTGEN et al. 2017, MAGGINI et al. 2011, MENÉNDEZ et al. 2014, VITTOZ et al. 2013). In Zukunft wird sich dieser Trend weiter verstärken. Die Wanderung in Gebiete mit günstigeren klimatischen Be-

dingungen wird dabei allerdings in vielen Fällen an ihre Grenzen stoßen. Besonders stark betroffen sind dabei Arten der alpinen Zone, da in größeren Höhen die Flächen immer kleiner werden und eine Verbreitung durch die Höhe der Gipfel begrenzt ist. Problematisch ist außerdem, dass die Eignung eines Lebensraums von zahlreichen Faktoren abhängig ist. Zum Beispiel sind Murmeltiere neben kühlen Temperaturen auch darauf angewiesen, dass der Boden mächtig genug ist, um ein Gangsystem anzulegen. Sie sind dadurch in ihren Möglichkeiten zum Aufsuchen größerer Höhen stark eingeschränkt. Bestimmte Lebensraumtypen wie Quellregionen und Moore sind häufig auf bestimmte Höhenlagen beschränkt oder treten so isoliert auf, dass eine Wanderung für viele Arten nicht möglich ist. Des Weiteren können nicht alle Tier- und Pflanzenarten mit gleicher Geschwindigkeit in klimatisch besser geeignete Gebiete wandern, was eine Verschiebung der Artenzusammensetzung zur Folge hat.

Im Folgenden werden die Auswirkungen des Klimawandels auf einige Tierarten und -gruppen der Alpen näher betrachtet. Anhand dieser Arten soll exemplarisch gezeigt werden, wie der Klimawandel sich auf die Gebirgsfauna auswirken kann und welche Faktoren die Anfälligkeit für klimatische Veränderungen beeinflussen können. Die ausgewählten Arten stehen stellvertretend für die vielen Arten nicht nur in den europäischen Alpen, sondern in Gebirgsregionen weltweit, die vom Klimawandel betroffen sind und deren Lebensraum sich in Zukunft zum Teil drastisch verändern wird.

Fallbeispiel 1 - Alpenschneehuhn

Ungefähr 200 Vogelarten brüten in den Alpen und 200 weitere nutzen die Alpen als Durchzugshabitat. Circa 50 Arten können auch oberhalb von 2000 m beim Brüten angetroffen werden. Die wenigsten gelten allerdings wirklich als alpine Arten, die vorwiegend oberhalb der Baumgrenze brüten. Beispiele dafür sind die Alpenbraunelle (*Prunella collaris*), der Schneesperling (*Montifringilla nivalis*), das Steinhuhn (*Alectoris graeca*) und das Schneehuhn (*Lagopus muta*).

Das Schneehuhn (*Lagopus muta*) ist auf der Nordhalbkugel zirkumpolar verbreitet. Die Unterart *Lagopus muta helvetica* in den Alpen ist ein Relikt aus der Eiszeit und von anderen Populationen in Nordeuropa isoliert. Global wird das Schneehuhn als »nicht gefährdet« eingestuft, obwohl der Bestand weltweit abnimmt, da sowohl das Verbreitungsgebiet als auch die Anzahl an Individuen (weltweit mehr als 8 Millionen) sehr groß ist (BIRD LIFE INTERNATIONAL 2016). In der Roten Liste der Vögel Europas und der EU wird es europaweit als »potenziell gefährdet« und in der EU als »gefährdet« eingestuft (BIRD LIFE INTERNATIONAL 2015).

Folgen des Klimawandels

Das Schneehuhn besiedelt in den Alpen mit Felsblöcken und Zwergsträuchern durchsetzte Rasen der alpinen Stufe (SCHWEIGER et al. 2012). Es ist zum Einen auf offene Flächen angewiesen, wie sie oberhalb der Baumgrenze vorzufinden sind, zum Anderen spielt aber auch die Temperatur eine Rolle bei der Wahl des Lebensraums. Daten aus einer Schweizer Studie (REVERMANN et al. 2012) deuten darauf hin, dass die Verbreitung des Alpenschneehuhns vor allem durch die Sommertemperaturen begrenzt ist. In der Studie wurden als Obergrenze mittlere Temperaturen im Juli von 10 bis 12°C festgestellt, oberhalb derer Schneehühner kaum noch auftreten. Der Klimawandel hat eine Verschiebung der Vegetationszonen in größere Höhen zur Folge, sodass offene Habitate zugunsten von Wäldern und der Strauchzone immer weiter verdrängt werden. Dieser Trend, der zum Teil bereits jetzt im Alpenraum beobachtet werden kann, wird sich in Zukunft noch weiter verstärken. Ein Teil des verlorenen Lebensraums kann in größeren Höhen zurückgewonnen werden, allerdings ist noch fraglich, inwieweit verlorene Flächen kompensiert werden können. In der Schweiz konnte zwar ein Rückgang der Sichtungen in tieferen Lagen beobachtet werden, eine Zunahme der Beobachtungen in größeren Höhen fand allerdings nicht statt (PERNOLLET et al. 2015). Die Verdrängung des Alpenschneehuhns in größere Höhen hat neben einer Verringerung des Lebensraums auch eine stärkere Isolierung einzelner Populationen zur Folge, die sich ebenfalls negativ auf die Bestandsentwicklung auswirken kann (REVERMANN et al. 2012). Populationen in den Alpenrandlagen sind aufgrund der geringen Höhenlage daher besonders stark vom Klimawandel betroffen.

Bestandsentwicklung

Die Verschiebung des Lebensraums in größere Höhenlagen fällt bisher geringer aus, als man aufgrund des reinen Temperaturanstiegs erwarten würde. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass eine heterogene Landschaft mit vielfältigem Mikroklima den Folgen des Klimawandels entgegenwirken kann (REVERMANN et al. 2012). Trotz dieser Pufferfunktion kann bereits jetzt ein Rückgang des Schneehuhns in Teilen der Alpen beobachtet werden. Studien in der Schweiz zeigen allerdings, dass es starke regionale Unterschiede in der Bestandsentwicklung gibt (PERNOLLET et al. 2015, FURRER et al. 2016).

In Zukunft wird das Alpenschneehuhn große Teile seines Lebensraums durch den Klimawandel verlieren. REVERMANN et al. (2012) haben die Entwicklung in der Schweiz modelliert und prognostizieren einen Rück-

gang des Lebensraums um bis zu zwei Drittel bis 2070 bei einem Temperaturanstieg um 4 K (°C). Auch wenn die 2-K-Grenze eingehalten wird, wird der Lebensraum des Schneehuhns in der Schweiz deutlich zurückgehen. FERRARINI et al. (2017) haben ein Modell für die italienischen Alpen entwickelt. Unter Berücksichtigung des A2-Klimaszenarios, das einen Temperaturanstieg um 3,5 K bis 2100 annimmt, wurde hier ein Rückgang des Lebensraums um ungefähr 50% bis Ende dieses Jahrhunderts errechnet. Eine konkrete Modellrechnung für die Schneehuhn-Population im Naturpark Karwendel zeigt dies ebenso anschaulich wie erschreckend. Das Experten-Modell basierend auf einer mehrjährigen Kartierung (OBERWALDER et al. 2014) geht bei einem Temperaturanstieg um 2 K von einem Totalverlust und damit von einem lokalen Aussterben des Schneehuhns in einem der größten Vogelschutzgebiete Österreichs aus (Abb. 5.9-1).

Selbst wenn man bedenkt, dass Modelle über zukünftige Bestandsentwicklungen immer mit Unsicherheiten behaftet sind, kann davon ausgegangen werden, dass das Schneehuhn durch den Klimawandel große Teile seines momentanen Verbreitungsgebiets in den Alpen verlieren wird. Das Ausmaß des Lebensraumverlusts hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Wie weit die Temperaturen im nächsten Jahrhundert ansteigen werden, spielt dabei ebenso eine Rolle, wie die Ausgleichsmöglichkeiten, die das vielfältige Mikroklima in den Alpen bietet, und die Erschließung neuer Habitats in größeren Höhen. Aber auch Faktoren, die nicht direkt mit dem Klimawandel zusammenhängen, wie Landnutzungsänderungen und Tourismus haben einen Einfluss auf die Schneehuhnpopulationen in den Alpen.

Fallbeispiel 2: Alpine Schmetterlinge

Gefährdete Artenvielfalt

Schmetterlinge rücken in den letzten Jahren, nicht zuletzt auf Grund der Beliebtheit in breiten Bevölkerungs-

kreisen, zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit. Ihre große ökologische Bedeutung, von Bestäubungsleistungen bis hin zur Funktion als essenzielle Nahrungsgrundlage für eine Vielzahl von Tieren, ist einerseits unbestritten, andererseits gilt der alarmierende Rückgang von Arten und Populationen als Alarmsignal. In der intensiv genutzten Landschaft sind gerade die Alpen ein äußerst wichtiger Refugialraum für eine im europäischen Maßstab ausgesprochen große Vielfalt. Etwa 5.000 Schmetterlingsarten wurden hier bislang nachgewiesen. Bedingt durch klimatisch günstigere Verhältnisse sowie einem dadurch erweiterten Angebot an geeignetem Habitat ist die (potenzielle) Artenvielfalt in den Tallagen am höchsten und nimmt mit zunehmender Höhenlage, weitgehend unabhängig vom Breitengrad, deutlich ab. SCHMID (2019) geht nach Erhebungen in der Schweiz von einer 50%igen Reduktion der Artenzahlen zwischen 500 und 2.000 Höhenmetern aus. In der alpinen Stufe können nur noch wenige hundert Arten dauerhaft persistieren, in der Subnivalstufe kaum mehr 100 Arten. Im Bereich der Nivalstufe oberhalb von 3.000 m wurden in der Schweiz noch 43 Arten beobachtet, eine dauerhafte Besiedelung samt Entwicklung der Raupen schaffen jedoch nur noch geschätzte zwei Dutzend Arten. Wenige Ausnahmen wie Wehrli's Gletscherspanner (*Psodos wehrlii*) erreichen ihre oberste Verbreitungsgrenze bei etwa 3.500 m, der Finstere Alpenspanner (*Sciadia tenebraria*) ist mit einer beobachteten Eiablage in 3.900 m am Matterhorn Rekordhalter.

Anpassungsstrategien

Die mit der Höhenlage zunehmend rauen klimatischen Bedingungen sind ein evolutiver Motor für vielfältige Anpassungsmechanismen. Diese reichen bei den Faltern von einer verstärkten Melanisierung zur Optimierung der Wärmeabsorption, über stärkere Körperbehaarung als Schutz vor Temperaturabstrahlung bis hin zu einer vermehrten Flugfähigkeit, vor allem im weiblichen Ge-

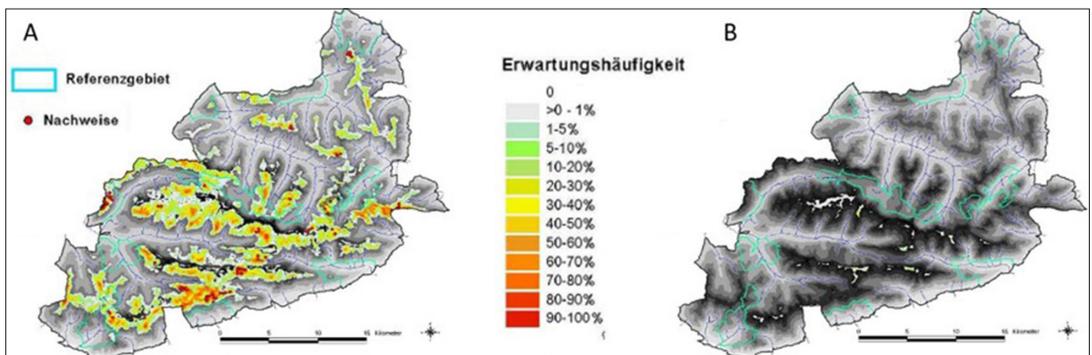


Abb. 5.9-1: Modelliertes Verbreitungsgebiet des Schneehuhns im Naturpark Karwendel, A: aktuelle Verbreitung; B: Bei einem Temperaturanstieg um 2 K wird ein kompletter Verlust der Population vorhergesagt (J. Fröhaufl).



Abb. 5.9-2: oben: voll geflügeltes Sattleria-Männchen; unten: kurzflügeliges, flugunfähiges Sattleria-Weibchen, Fotos: M. Billard.

schlecht. In den Präimaginalstadien ist insbesondere die Reduktion trophischer Spezialisierung ein Faktum, d.h. viele Raupen ernähren sich eher polyphag und fressen

fast alle Pflanzenarten, oder es treten überdurchschnittliche viele Spezialisten von Flechten und Moosen auf. Eine weitere wichtige Anpassung an klimatische Faktoren ist eine häufig mehrjährige Entwicklungsperiode.

Dass sich die globale Klimaänderung auf Schmetterlinge der alpinen Region negativ auswirken könnte, wird schon lange diskutiert. So modulierten SETTELE et al. (2008) nach variablen klimatischen Szenarien für verschiedene alpine Tagfalter deutliche Arealrückgänge, bis hin zum regionalen Verschwinden einzelner Arten. Während jedoch eine durch steigende Temperaturen indizierte horizontale Verschiebung von Arealen, im Wesentlichen von Süden nach Norden, für viele Arten bereits früh belegt wurde (PARMESAN et al. 1999), ist die kleinräumige Veränderung der Vertikalgrenzen schwieriger nachzuweisen und die klimatischen Risiken sind artspezifisch unterschiedlich zu bewerten. Daten dazu fehlen jedoch weitgehend!

Die Luft wird dünn – Fallstudie alpine Palpenfalter

Eine besonders bemerkenswerte Gruppe alpin-subnivaler Schmetterlinge sind die Palpenfalter der Gattung *Sattleria*. Es handelt sich hier um eine der ganz wenigen Schmetterlingsgattungen, die ausschließlich aus den Hochlagen der europäischen Gebirge bekannt ist (HUEMER & HEBERT 2011). Von den insgesamt bisher bekannten 19 Arten sind 12 Arten aus den Alpen bekannt. Die Gruppe besteht hier durch einen großen Anteil von 11 kleinräumig endemischen Arten, vor allem in den

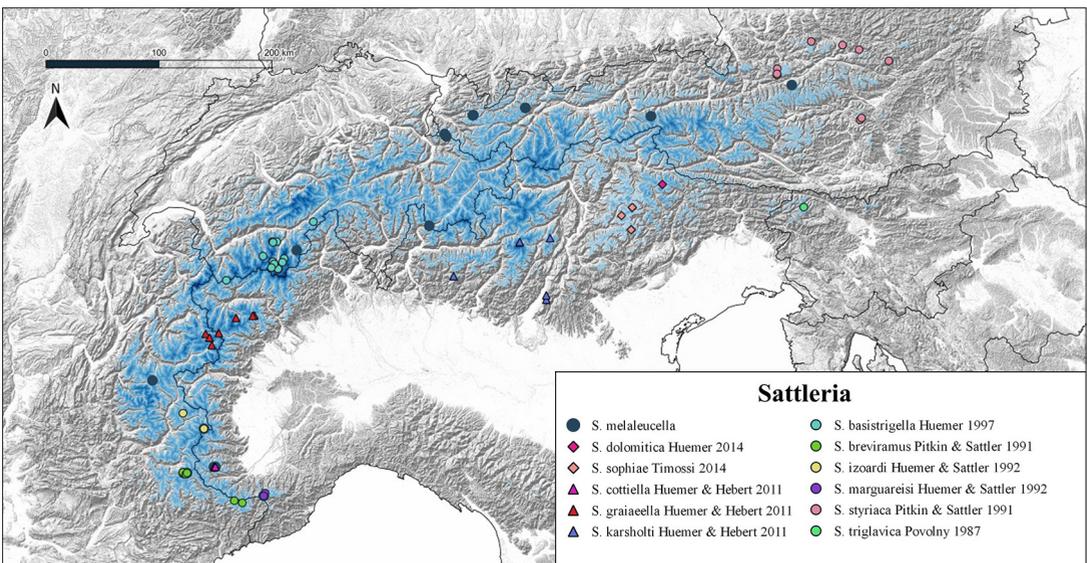


Abb. 5.9-3: Verbreitung von *Sattleria*-Arten in den Alpen (geprüfte Vorkommen), alpine-nivale Stufe blau gefärbt. HILLSHADE WMS: <http://maps.heigit.org/osm-wms/service/>; SRTM Data: https://dds.cr.usgs.gov/srtm/verion2_1/SRTM3/Eurasia/ (Grafik R. Unterasinger).

südlichen und östlichen Randalpen (Abb. 5.9-3). Lediglich eine einzige Art ist über einen größeren Teil der Alpen verbreitet und wurde auch im zentralen Apennin nachgewiesen. *Sattleria*-Weibchen sind im Gegensatz zu den Männchen kurzflügelig und flugunfähig (Abb. 5.9-2), die Fortbewegung erfolgt kriechend oder hüpfend. Die Raupen leben spezialisiert und wurden bisher nur an verschiedenen Nelkengewächsen wie Hornkraut (*Cerastium* spp.) und Stängellosem Leimkraut (*Silene acaulis*) sowie dem Gegenblättrigen Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia*) beobachtet. Die Entwicklungsperiode ist zumindest zweijährig. Diese hoch angepasste Lebensweise und die meistens kleinräumigen Teilareale in den obersten Gipfelregionen machen *Sattleria*-Arten zu einem Musterbeispiel möglicher Gefährdung durch den Klimawandel. An sämtlichen isolierten Vorkommen im Bereich der Gipfelregionen wie z.B. dem Monte-Baldo-Stock in Norditalien ist ein weiteres Hochsteigen oder horizontales Ausweichen der Art auszuschließen. Umfassendere Langzeitstudien zur vertikalen Verschiebung von Schmetterlingsarten in den Alpen fehlen zwar (CATALAN et al. 2017), die stark reduzierte alpine Schmetterlingsfauna auf Gipfeln mit einer kleinflächigen alpinen Zone wie beispielsweise im Nationalpark Kalkalpen deutet jedoch auf Aussterbeprozesse in früheren Wärmephasen wie dem Atlantikum hin. Eine rezente Erhebung von 102 Arten in Borneo mit einem durchschnittlichen Anstieg um 67 m in 42 Jahren (CHEN et al. 2009) deutet die möglichen zukünftigen Risiken auch für alpine Schmetterlinge an. Die Luft wird (zu) dünn!

Fallbeispiel 3: Fische alpiner Fließgewässer

Obwohl Süßwasserökosysteme nur 0,8% der Erdoberfläche bedecken, beherbergen sie fast 6% der uns bekannten Arten (DUDGEON et al. 2006). Die große Biodiversität der Gewässer steht allerdings durch an-

thropogene Eingriffe bereits jetzt stark unter Druck. Der Klimawandel ist ein weiterer Stressfaktor für viele Arten, der sich in den Alpen besonders stark auswirkt.

An Flüssen des Alpenraums konnte ein Anstieg der Wassertemperaturen in den letzten Jahrzehnten beobachtet werden (Abb. 5.9-4) und eine weitere Temperaturerhöhung um bis zu 2 K bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird prognostiziert (SCHMUTZ et al. 2004, STANDHARTINGER & GODINA 2009). Der Anstieg ist dabei im Unterlauf stärker ausgeprägt als im Oberlauf.

Der Temperaturanstieg in Süßwasserökosystemen wird durch die verstärkte Gletscherschmelze momentan in vielen Gewässern der Alpen zum Teil abgemildert. Sobald das Gletschervolumen allerdings einen kritischen Wert unterschreitet, werden die Schmelzwassermenge und damit auch der Kühleffekt abnehmen (STANDHARTINGER & GODINA 2009).

Durch den Klimawandel werden voraussichtlich die Niederschläge in den Alpen im Winter zu- und im Sommer abnehmen. Dadurch kann es zu einem erhöhten Auftreten von Niedrigwasserständen kommen. Dieser Trend kann ähnlich wie der Temperaturanstieg zunächst durch einen erhöhten Abfluss von Gletscherschmelzwasser abgeschwächt werden. Sobald die Menge des Schmelzwassers abnimmt, werden Niedrigwasser im Sommer allerdings noch ausgeprägter auftreten (WEBER et al. 2009).

Auswirkungen auf Fische der Fließgewässer

Durch die steigenden Temperaturen in Fließgewässern verschieben die Fischregionen sich immer weiter flussaufwärts. Von dieser Entwicklung profitieren vor allem wärmeliebende Arten, während Kaltwasserfische immer weiter verdrängt werden.

Im Folgenden werden sowohl Fischarten alpiner Fließgewässer, deren Lebensraum durch den Klimawandel schrumpft, als auch solche, die von steigenden Temperaturen profitieren, vorgestellt.

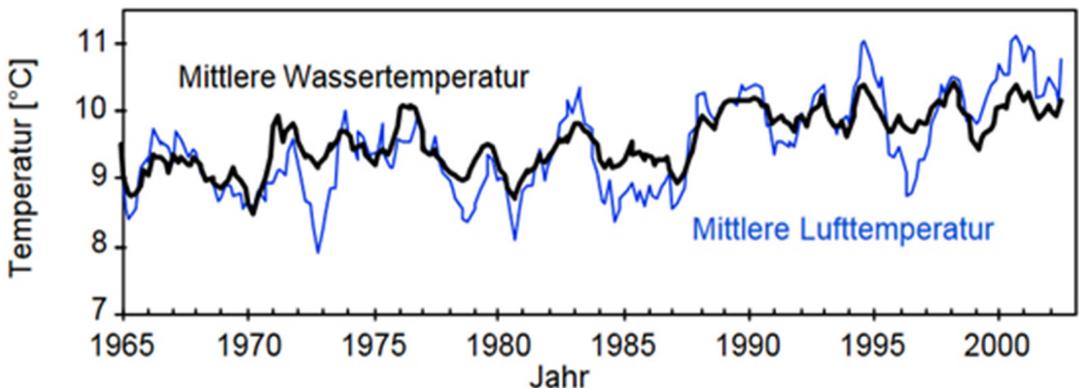


Abb. 5.9-4: Der Anstieg der mittleren Wassertemperatur in Schweizer Flüssen (schwarze Kurve) und der Anstieg der mittleren Lufttemperatur (blaue Kurve) seit 1965. (ProClim 2007, verändert nach HART et al. 2006)

Verlierer des Klimawandels

Salmoniden wie die Bachforelle (*Salmo trutta*) und die Äsche (*Thymallus thymallus*) sind als kalt-stenotherme Arten besonders vom Klimawandel betroffen. Ebenfalls stark beeinflusst sind die Groppe (*Cottus gobio*) und der Huchen (*Hucho hucho*). Der Lebensraum der genannten Arten wird in Zukunft aufgrund steigender Temperaturen abnehmen und wärmetolerantere Arten werden die Kaltwasserfische in vielen Bereichen verdrängen. Der Klimawandel kann außerdem das Auftreten von Krankheiten begünstigen. So leidet zum Beispiel die Bachforelle bei wärmeren Wassertemperaturen stärker unter PKD (engl. *proliferative kidney disease*), einer durch Parasiten übertragenen Krankheit (HARI et al. 2006). Möglichkeiten, den Lebensraum flussaufwärts auszuweiten, sind für Fische meist begrenzt. Weiter oben liegende Flussabschnitte können häufig wegen natürlicher oder menschengemachter Barrieren nicht erreicht werden (HARI et al. 2006) oder sind aufgrund der Dimensionen von Fließgewässern, dem Gefälle, dem Abfluss und anderen Standortansprüchen weniger geeignet (SCHMUTZ et al. 2004). Die Äsche bevorzugt zum Beispiel breitere Gewässer, die sie in größerer Höhe kaum mehr auffindet. Da diese Art ebenso wie der Huchen durch anthropogene Einflüsse bereits stark gefährdet ist, könnte sie durch die zusätzliche Beeinträchtigung durch den Klimawandel an den Rand des Aussterbens gebracht werden (MATULLA et al. 2007, SCHMUTZ et al. 2004).



Abb. 5.9-5: oben: Bachforelle (*Salmo trutta fario*) Foto: S. Pilloni; unten: Koppe (*Cottus gobio*). Foto: S. Hölscher.

Gewinner des Klimawandels

Cypriniden gehören aufgrund ihrer hohen Toleranz gegenüber wärmeren Temperaturen zu den Arten, deren Lebensraum sich durch den Klimawandel vergrößert. Sie verbreiten sich zulasten kälteliebender Arten weiter flussaufwärts. Auch die im Alpenraum ursprünglich nicht heimische Regenbogenforelle ist im Vergleich zu Bachforelle und Äsche deutlich toleranter gegenüber den steigenden Temperaturen. Dadurch wird sie in Zukunft vom Klimawandel profitieren und die heimischen Arten vermehrt verdrängen können (SCHMUTZ et al. 2004, MATULLA et al. 2007). Der Klimawandel könnte auch für andere invasive Arten günstige Bedingungen schaffen, was eine weitere Belastung für die heimische Fischfauna darstellt (RABITSCH et al. 2013).

Die Tierwelt der Alpen im Klimawandel – wo hilft der Alpenzoo Innsbruck-Tirol?

Zoologische Gärten haben sich im Laufe der Jahrhunderte stark gewandelt. Die Geschichte der Zoos reicht weit zurück – etwa 5.000 Jahre (MEIER 2009). Im Unterschied zu den Menagerien oder fürstlichen Tierparks verfolgten die neu eröffneten Zoos des 19. Jahrhunderts erstmals auch einen Bildungsanspruch (MÜHLING 1998). Spätestens im vergangenen Jahrhundert etablierte sich aber die Tiergartenbiologie als eigenständige, wissenschaftliche Disziplin – und sie veränderte die Zoos. Als ihr Begründer gilt Heini Hediger, der nacheinander die Zoos von Bern, Basel und Zürich leitete. Aufbauend auf Hedigers Erkenntnissen entwickelten die modernen Zoos ein Selbstverständnis, das auf vier Säulen fußt: Erholung, Bildung, Forschung und Naturschutz (HEDIGER 1942). Diese Maxime gelten bis heute unverändert und zeigen gut den Wandel der Zoos von reinen Haltungen in klassischen Zoos hin zu Arten- und Naturschutzzentren, die sie heute sind. Der gesellschaftliche Auftrag von zoologischen Gärten liegt also heute im Erhalt der biologischen Vielfalt, vor allem aber in der Vermittlung des Wissens über die Natur und deren Erhalt. Diesen Auftrag erfüllen alle Zoos, und so auch der Alpenzoo durch die Haltung und Zucht gefährdeter Tierarten sowie durch das Engagement im Natur-, Arten-, Umwelt- und Tierschutz, die Bildung für nachhaltige Entwicklung, die Förderung der Forschung und die Schaffung von naturnahen Erholungsräumen.

Schneehuhn, alpine Fische und Palpenfalter im Alpenzoo Innsbruck-Tirol?

Alle bisher aufgeführten Arten werden mit Ausnahme der Palpenfalter im Alpenzoo Innsbruck-Tirol seit vielen Jahren gehalten. Aufbauend auf Hedigers Maximen



Abb. 5.9-6: Klimastation des Alpengarten Innsbruck-Tirol.



Abb. 5.9-7: sich umfärbendes Alpensneehuhn im Alpengarten Innsbruck-Tirol.

widmet sich der Alpengarten auch bei diesen Arten speziell der Umweltbildung. Neben der Grundlagenforschung an den Arten, welche im Alpengarten seit jeher stattfand, können hier jährlich die rund 300.000 Besucher die Arten in naturnahen begehbaren Gehegen gut beobachten. Edukative Beschilderungen, Lehrfilme, Social-Media-Kanäle oder Führungen bieten zudem noch weitere Möglichkeiten der Weiterbildung der Besucher. Hierbei liegt der Schwerpunkt nicht nur auf der reinen Vermittlung der Biologie, sondern eben auch auf aktuellerem Geschehen. So gibt es neben der Tierhaltung auch einen »Geopfad« und eine Klimastation, die über die Thematik der Erwärmung und Veränderung

des Lebensraums Alpen berichten. Auch bei den Reptilien findet sich eine Klimastation, die den Besuchern das Thema Mikroklimatik und deren Bedeutung für die Lebensweise der wechselwarmen Tiere veranschaulicht (Abb. 5.9-6). Zudem kann das veränderte Klima und dessen Einfluss auf die Tierwelt auch direkt bei den Tieren, den lebenden Botschaftern, im Alpengarten beobachtet werden. Die Schneehühner beispielsweise färben sich im Alpengarten in den letzten 10 Jahren im Durchschnitt schon Ende Februar um (Abb. 5.9-7). Diese unpublizierten Daten beziehen sich alle auf Zooeobachtungen, wo es natürlich einen Effekt durch die optimale Haltung geben dürfte, aber der Trend ist trotzdem klar ablesbar. Diese Auswirkungen, die vergleichbar auch in der freien Wildbahn vorkommen, den Besuchern sichtbar zu machen, stellt einen Schwerpunkt der didaktischen Arbeit des Alpengarten Innsbruck-Tirol dar. Für alle Arten bestehen zudem Artenschutzprojekte, die z.T. vom Alpengarten Innsbruck-Tirol selber initiiert wurden. Gerade in Zeiten des Klimawandels ist neben der Umweltbildung der direkte Artenschutz, ex- und in-situ, unersetzlich. Hierbei sticht das Aquarium besonders hervor. Von den ca. 80 Fischarten, die in dem Alpenbogen vorkommen, werden 75 im Alpengarten gehalten und gezüchtet. In Zusammenarbeit mit Partnern wurde in den letzten Jahren z.B. die Innätsche (*Thymallus thymallus*) erfolgreich wieder ausgewildert.

Fazit

Die drei Fallbeispiele können keinesfalls eine umfassende Antwort bezüglich der Alpentiere und zum Klimawandel geben. Sie zeigen aber deutlich, welche unterschiedlichen Parameter auf Tierarten und -gruppen wirken, die sich folgendermaßen zusammenfassen lassen.

Tiere im Hochgebirge haben sich im Laufe ihrer langen evolutionären Entwicklung an die extremen alpinen Lebensbedingungen angepasst und vertragen häufig nur geringe Änderungen in ihrem Lebensraum. Sie reagieren daher besonders sensibel auf den Klimawandel, zumal die Erwärmung im Hochgebirge deutlich schneller voranschreitet als im globalen Durchschnitt.

Die Tiere der Alpen stehen bereits jetzt aufgrund zahlreicher menschlicher Eingriffe wie Land- und Forstwirtschaft, Energiegewinnung und Tourismus unter massivem Druck. Gerade für die spezialisierten Arten, deren Areal immer weiter schrumpft, stellt der Klimawandel eine zusätzliche Belastung dar, denn sie in Zusammenhang mit allen anderen Faktoren oftmals nicht gewachsen sein werden, umso wichtiger erscheint auch die Aufklärungsarbeit z.B. im Alpengarten Innsbruck-Tirol.

Literatur

- BIRD LIFE INTERNATIONAL (2015): European Red List of Birds. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities.
- BIRD LIFE INTERNATIONAL (2016): IUCN Red List of Threatened Species.
- BÜNTGEN, U., L. GREUTER, K. BOLLMANN et al. (2017): Elevational range shifts in four mountain ungulate species from the Swiss Alps. *Ecosphere* 8 (4), e01761. DOI: 10.1002/ecs2.1761.
- CATALAN, J., J. M. NINOT & M. MERCÈ ANIZ (Hrsg.) (2017): High Mountain Conservation in a Changing World. Cham: Springer (SpringerLink Bücher, 62).
- CHEN, I-CHING, H.-J. SHIU, S. BENEDICK et al. (2009): Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106 (5), S. 1479-1483. DOI: 10.1073/pnas.0809320106.
- DUDGEON, D., A. H. ARTHINGTON, M. O. GESSNER et al. (2006): Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. In: *Biological Reviews* 81 (2), S. 163-182. DOI: 10.1017/S1464793105006950.
- FERRARINI, A., J. M. ALATALO & M. GUSTIN (2017): Climate change will seriously impact bird species dwelling above the treeline: A prospective study for the Italian Alps. *Science of the total environment* 590-591, S. 686-694. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.027.
- FURRER, R., M. SCHAUB, A. BOSSERT et al. (2016): Variable decline of Alpine Rock Ptarmigan (*Lagopus muta helvetica*) in Switzerland between regions and sites. *J Ornithol* 157 (3), S. 787-796. DOI: 10.1007/s10336-016-1324-8.
- HARI, R. E., D. LIVINGSTONE, R. SIBER et al. (2006): Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biol* 12 (1), S. 10-26. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.001051.x.
- HEDIGER, H. (1942): Wildtiere in Gefangenschaft: ein Grundriss der Tiergartenbiologie, S 1-50. Basel: Benno Schwabe & Co.
- HÜEMER, P. & P. D. N. HEBERT (2011): Cryptic diversity and phylogeography of High Alpine *Sautleria* - A Case study combining DNA Barcodes and morphology (Lepidoptera: Gelechiidae).
- MAGGINI, R., A. LEHMANN, M. KÉRY et al. (2011): Are Swiss birds tracking climate change? *Ecological Modelling* 222 (1), S. 21-32. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2010.09.010.
- MATULLA, C., S. SCHMUTZ, A. MELCHER et al. (2007): Assessing the impact of a downscaled climate change simulation on the fish fauna in an Inner-Alpine River. *International journal of biometeorology* 52 (2), S. 127-137. DOI: 10.1007/s00484-007-0107-6.
- MEIER, J. (2009): Tiergärten und ihre Bedeutung. In: Jürg Meier (Hg.): *Handbuch Zoo. Moderne Tiergartenbiologie*. 1. Auflage. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt Verlag, S. 8-30.
- MENÉNDEZ, R., A. GONZALEZ-MEGÍAS, P. JAY-ROBERT et al. (2014): Climate change and elevational range shifts: Evidence from dung beetles in two European mountain ranges. *Global Ecology and Biogeography* 23 (6), S. 646-657. DOI: 10.1111/geb.12142.
- MÜHLING, P. (1998): Neue Wege in der Haltung und Zucht von Wildtieren. *Lurs Tiergartenbiologie*, S. 7-22.
- OBERWALDER, J., J. FRÜHAUF, M. LUMASEGGER et al. (2014): Ornithologische Grundlagen erhebung im Natura 2000 und Vogelschutzgebiet Karwendel. *Endbericht*.
- PARMESAN, C., N. RYRHOLM, C. STEFANESCU et al. (1999): Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399 (6736), S. 579-583. DOI: 10.1038/21181.
- PERNOLLET, C. A., F. KORNER-NIEVERGELT & L. JENNI (2015): Regional changes in the elevational distribution of the Alpine Rock Ptarmigan *Lagopus muta helvetica* in Switzerland. *Ibis* 157 (4), S. 823-836. DOI: 10.1111/ibi.12298.
- RABITSCH, W., N. MILASOWSKY, S. NEHRING et al. (2013): The times are changing: temporal shifts in patterns of fish invasions in central European fresh waters. *Journal of fish biology* 82 (1), S. 17-33. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2012.03457.x.
- REVERMANN, R., H. SCHMID, N. ZBINDEN et al. (2012): Habitat at the mountain tops: how long can Rock Ptarmigan (*Lagopus muta helvetica*) survive rapid climate change in the Swiss Alps? A multi-scale approach. *J Ornithol* 153 (3), S. 891-905. DOI: 10.1007/s10336-012-0819-1.
- SCHMID, J. (2019): Kleinschmetterlinge der Alpen. Verbreitung, Lebensraum, Biologie. 1. Auflage. Bern: Haupt Verlag.
- SCHMUTZ, S., C. MATULLA, A. MELCHER et al. (2004): Beurteilung der Auswirkung möglicher Klimaänderungen auf die Fischfauna ausgewählter Fließgewässer. *Endbericht*, im Auftrag des BMLFUW, GZ 54 3895/163-V/4/03.
- SCHWEIGER, A.-K., U. NOPP-MAYR & M. ZOHMANN (2012): Small-scale habitat use of black grouse (*Tetrao tetrix* L.) and rock ptarmigan (*Lagopus muta helvetica* Thienemann) in the Austrian Alps. *Eur. J. Wildl. Res.* 58 (1), S. 35-45. DOI: 10.1007/s10344-011-0537-7.
- SETTELE, J., O. KUDRNA, A. HARPKE et al. (2008): Climatic Risk Atlas of European Butterflies. In: *BR* 1, S. 1-712. DOI: 10.3897/biorisk.1.
- STANDHARTINGER, S. & R. GODINA (2009): Langzeitentwicklung der Wassertemperatur in österreichischen Fließgewässern. In: BMLFUW (Hrsg.): *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*. Nr. 86.
- VITTOZ, P., D. CHERIX, Y. GONSETH et al. (2013): Climate change impacts on biodiversity in Switzerland: A review. *Journal for Nature Conservation* 21 (3), S. 154-162. DOI: 10.1016/j.jnc.2012.12.002.
- WALKER, W. H., O. H. MELÉNDEZ-FERNÁNDEZ, R. J. NELSON et al. (2019): Global climate change and invariable photoperiods: A mismatch that jeopardizes animal fitness. *Ecology and evolution* 9 (17), S. 10044-10054. DOI: 10.1002/ece3.5537.
- WALTHER, G.-R., E. POST, P. CONVEY et al. (2002): Ecological responses to recent climate change. In: *Nature* 416 (6879), S. 389-395. DOI: 10.1038/416389a.
- WEBER, M., BRAUN, L., W. MAUSER et al. (2009): Die Bedeutung der Gletscherschmelze für den Abfluss der Donau gegenwärtig und in der Zukunft. In: BMLFUW (Hg.): *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*. Nr. 86.
- WWF (2005): *Ecoregion Conservation Plan for the Alps*. Prepared by WWF. WWF European Alpine Programme, Lassen, B.; Savoia, S.

Kontakt:

Mag. Dr. Peter Huemer (p.huemer@tiroler-landesmuseen.at)
Tiroler Landesmuseen, Tirol - Österreich

Mag. Hermann Sonntag (hermann.Sonntag@karwendel.org)
Naturpark Karwendel, Tirol - Österreich

Friederike Barkmann (rike.barkmann@karwendel.org)
Naturpark Karwendel, Tirol - Österreich

Dr. André Stadler (a.stadler@alpenzoo.at)
Alpenzoo Innsbruck, Tirol - Österreich

HÜEMER, P., H. SONNTAG, F. BARKMANN & A. STADLER (2020): Die Tierwelt der Alpen im Klimawandel. In: LOZÁN J. L., S.-W. BRECKLE, H. GRASSL, et al. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Hochgebirge im Wandel*. S. 264-271. Online: www.warnsignal-klima.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.hochgebirge-im-wandel.40