

3.9 Ausbreitung von Pflanzen infolge des Klimawandels

DETLEV METZING

Ausbreitung von Pflanzen infolge des Klimawandels: Die Verlagerung von Arealgrenzen ist eine mögliche Reaktion von Pflanzenarten auf den Klimawandel. Es gibt bereits Beobachtungen von klimawandelbedingten Arealerweiterungen. Im deutschen Küstenraum wandern einige Arten aus westlicher Richtung ein und bestätigen damit die Ergebnisse von Verbreitungsmodellen für den Klimawandel. In Hochgebirgen wurde eine Höhenverlagerung aufgrund des Klimawandels festgestellt. Die Verschleppung durch den Menschen kann solche Arealverlagerungen beschleunigen. Die Ausbreitung von gebietsfremden Arten wird durch die globale Erwärmung ebenfalls beeinflusst.

Observed expansions of plants due to climate change: The shift of distribution boundaries is a possible response of plant species to climate change. There are already observations, where expansions of species ranges can be attributed to climate change. A few plant species invaded the German coastal area from the West, which confirms the results of distribution models for climate change scenarios. In high mountains moving to higher elevations has been recorded due to warming. For some species human-mediated dispersal may accelerate climate change-related range shifts. Invasion of alien species is supported by global warming, too.

Als einer der sich im Rahmen des globalen Wandels verändernden Faktorenkomplexe wird die bereits nachweisbare Erderwärmung auch deutliche Folgen auf die Biota haben. Auswirkungen lassen sich zum Teil bereits nachweisen, und mit dem fortschreitenden Klimawandel wird ein noch wesentlich stärkerer Einfluss erwartet. In der kaum noch übersehbaren wissenschaftlichen Literatur zu diesem Thema, den Berichten des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) und nicht zuletzt auch in dieser Buchreihe »Warnsignal« sind beobachtete Reaktionen, vor allem aber zu erwartende Auswirkungen auf Arten und Ökosysteme aufgrund des Klimawandels vielfach beschrieben und diskutiert.

Die Toleranz gegenüber ökologischen (abiotischen und biogenen) Faktoren sowie die Konkurrenzbeziehungen bestimmen die Verteilung von Arten im Raum und resultieren in Anordnungen entlang ökologischer Gradienten. Für die Verbreitungsmuster der Pflanzen sind verschiedene Faktoren verantwortlich, die skalenabhängig wirken (JÄGER 1992). Das Klima kann als bestimmender Faktor besonders mit den globalen bis regionalen Arealgrenzen korreliert werden (räumliche Dimensionen von ca. 200 km bis >10.000 km, PEARSON & DAWSON 2003). In kleineren Maßstäben, vom regionalen bis in den mikroskaligen Bereich (<10 m) prägen v.a. Morphologie, Landnutzung, Bodenart, Wasserverfügbarkeit und Konkurrenzverhältnisse die Verteilungsmuster.

Pflanzen als vorwiegend sessile Organismen (Ausnahmen sind flottierende Wasserpflanzen) sind vom Klimawandel besonders betroffen, da sie im Gegensatz zu mobilen Tieren nicht kurzfristig ausweichen können.

Mögliche Reaktionen auf Klimaänderungen

Kommt es zu einer räumlichen Verschiebung der ökologischen Gradienten, bestehen verschiedene Optionen, wie Pflanzenarten, Populationen oder Individuen reagieren können (Abb. 3.9-1):

Anpassung: Die genetische Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen ist ein typischer Prozess der Evolution. Studien zeigen, dass durchaus phänotypische Reaktionen auf den Klimawandel beobachtet werden können. Jedoch ist es ein Unterschied, ob diese Reaktionen nur auf der Variabilität der Pflanzen beruhen (z.B. phänologische Verschiebungen, s. Kap. 3.10 - CHMIELEWSKI) oder ob es wirklich genetische Anpassungen sind (FRANKS et al. 2014). Die genetische Anpassung mit Mutationen und Selektion erfordert eher längere Zeiträume (eine hohe Anzahl von Generationen), um wirksam zu werden, d.h. mit dem Klimawandel Schritt zu halten. Der prognostizierte und gemessene Klimawandel zeichnet sich aber gerade durch relativ schnelle Änderungen aus, die schon in Dekaden sichtbar werden. Paläoökologische Untersuchungen zeigen, dass Arten bei Veränderung der Klimabedingungen eher mit Arealverschiebungen als mit genetischen Anpassungen reagierten (HUNTLEY 1991).

Ausweichen: Der räumlichen Verschiebung von Umweltgradienten können Arten potentiell durch Wanderung folgen – das Areal verlagert sich dann in den Raum, dessen Umweltbedingungen dem Toleranzbereich der Art entsprechen, Gebiete mit ungünstigen Umweltbedingungen werden verlassen.

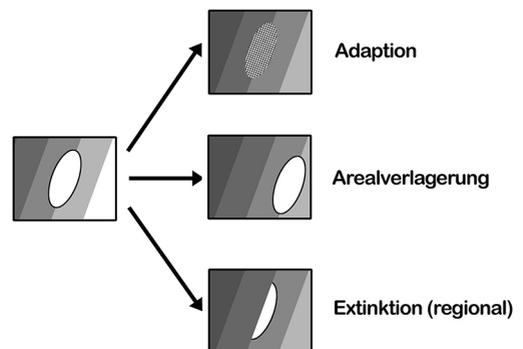


Abb. 3.9-1: Verschieben sich ökologische Gradienten, können die Arten sich anpassen, mitwandern (Arealverlagerung, Migration) oder sie werden in Teil- oder Gesamtarealen aussterben (Extinktion).

Es ist davon auszugehen, dass eine Verschiebung von Arealgrenzen nicht in dem gleichen Maße (räumlich und zeitlich) erfolgt wie die Verlagerung der klimatischen Gradienten. Zu unterscheiden sind die progressive (Immigration) und die regressive Entwicklung des Areals (Aussterben, Emigration). Die Geschwindigkeit der Ersteren ist abhängig vom Ausbreitungsvermögen, die der Letzteren vom Beharrungsvermögen (JACKSON & OVERPECK 2000, KIRILENKO & SOLOMON 1998). Das Beharrungsvermögen ist bei Pflanzen z.B. von Generationsdauer, genetischer Variabilität, Temperatursensitivität bestimmter Lebensphasen, Konkurrenzstärke, Vermehrungsweise oder Samenpersistenz abhängig. Das Wanderungsvermögen wird bestimmt durch Reproduktionsrate, Generationsdauer, Ausbreitungsmodus (v.a. der Diasporen), der ökologischen Amplitude u.a. Wanderungs- (W) und Beharrungsvermögen (B) bewirken hier einen »Gummibandeffekt«: Können sie die Verschiebung des Klimagradienten (V) zumindest zum Teil ausgleichen ($B + W > V$), kann das Areal größer werden; wenn das Beharrungs- und Wanderungsvermögen der Arten sehr klein sind ($B + W < V$), kommt es zu einer Arealreduktion (Abb. 3.9-2). Ist das Beharrungsvermögen gering, kommt es zu einem lokalen oder regionalen Verschwinden der Art.

Kann eine Anpassung und ein Mitwandern mit dem sich ändernden Gradienten nicht erfolgen und entsprechen die Umweltbedingungen nicht mehr dem Toleranzbereich der Art, ist die vollständige **Auslöschung** die Konsequenz.

Dies ist nur eine vereinfachte Darstellung möglicher Reaktionen auf die Verschiebung eines einzigen Gradienten. In der Realität wirken aber verschiedene Faktoren in Kombination, die sich einander verstärken oder aufheben können. Die Kombination von Klimawandel und weiteren Einflussgrößen bedingt ein komplexes Wirkungsgefüge, dessen Auswirkungen zwar in großen Teilen abschätzbar, aber nicht in aller Konsequenz exakt voraussagbar sind.

Der Klimawandel zeigt sich schon jetzt in vielfältigen Reaktionen der Biota (»fingerprints of climate change«, PARMESAN & YOHE 2003, WALTHER et al. 2001). Regressive Arealentwicklungen lassen sich oft erst mit deutlicher Verzögerung erkennen (s. auch Kap. 3.8 - METZING), während die Ausbreitung von Arten in Gebiete, in denen sie vorher nicht vorkamen, eher notiert und wahrgenommen wird. Studien, die den Einfluss der Erderwärmung anhand bereits erfolgter Artreaktionen beschreiben, befassen sich vor allem mit progressiven Verlagerungen von Arealgrenzen.

Veränderungen von Arealgrößen oder -grenzen bei den Farn- und Samenpflanzen können aber viele Ursachen haben. Inwieweit diese durch Verschiebung klimatischer Gradienten oder besser durch andere Faktoren erklärt werden können, ist im Einzelfall zu bewerten.

Die von H. ELLENBERG entwickelten Zeigerwerte beschreiben das ökologische Verhalten (die Anordnung entlang von ökologischen Gradienten) von Pflanzen. Die Temperaturzahlen beruhen nicht bzw. nur in wenigen Fällen auf realen Temperaturmessungen, sondern vor allem auf den in verschiedenen Verbreitungsatlanen und Floren beschriebenen Arealen (ELLENBERG 1992). Für das Gedeihen der einzelnen Pflanze ist zwar das Mikroklima entscheidend, dessen Amplituden werden aber durch das Makroklima limitiert. Im Rahmen der Klimaerwärmung wäre zu erwarten, dass Arten mit höheren Zeigerwerten (Wärmezeiger) im Vergleich zu Kühlezeigern bei den sich ausbreitenden Arten überproportional vertreten sind. Ein derartiger Vergleich für Niedersachsen

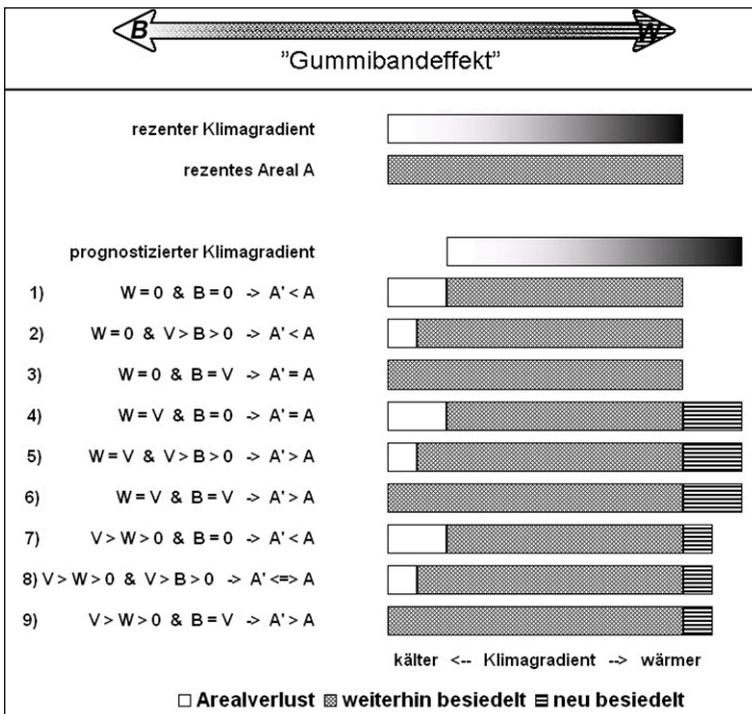


Abb. 3.9-2: Modell für den Einfluss von Wanderungsvermögen (W) und Beharrungsvermögen (B) auf die Arealgröße bei einer prognostizierten Klimaerwärmung (»Gummibandeffekt«). A = rezente Arealgröße, A' = zukünftige Arealgröße, V = Verlagerung des Klimagradienten.

konnte dies noch nicht nachweisen (METZING 2006). LÖFFLER (2010) untersuchte Veränderungen der Waldbodenvegetation und stellte eine Zunahme der mittleren Temperaturzeigerwerte zwischen 1993 und 2008 fest. Die genauere Analyse zeigte aber, dass eine Korrelation mit Klimaparametern nicht gegeben war und die beobachteten Veränderungen eher auf Störungen (Auflichtungen u.a.) zurückzuführen sind.

Häufiger werden statistische Modelle, die den mit dem Areal korrelierten Klimaraum bestimmen, in dem eine Pflanzenart unter natürlichen Bedingungen vorkommt («*climate envelope*») für die Berechnung potentieller klimawandelbedingter Arealverlagerungen verwendet (FODEN et al. 2013, PEARSON & DAWSON 2003). Mit ihnen lassen sich vergleichsweise einfach anhand der für die meisten Pflanzenarten gut dokumentierten Verbreitungsgebiete und der Klimadaten Prognosen für eine größere Anzahl von Arten berechnen. Diese Prognosen können verwendet werden, um den Einfluss des Klimawandels auf beobachtete Arealverlagerungen zu beurteilen und Indikatorarten zu bestimmen.

Im Folgenden werden einige Beispiele von Arten, deren beobachtete Ausbreitung auf den Klimawandel zurückgeführt wird, dargestellt.

Ausbreitung an der Küste

Die azonale Küstenvegetation wird durch die an die besonderen abiotischen bzw. edaphischen Bedingungen des Küstenraums angepassten Pflanzenarten geprägt. Arealverlagerungen dieser Arten sollten mit hoher Wahrscheinlichkeit auf veränderte Klimabedingungen zurückgeführt werden können, weil die edaphischen Voraussetzungen entlang der Küsten großräumig sehr ähnlich sind. Diasporen von atlantisch verbreiteten Küstenarten können leicht mit der Meeresströmung entlang der Küsten verfrachtet werden. Abhängig von den limitierenden Temperaturparametern (z.B. Winter- oder Sommertemperatur) und der Dichte der Isothermen entspricht die Strecke, mit der sich der Temperaturgradient bei einer Erwärmung von 1,5-2,5 °C verlagert, einer Entfernung von etwa 400 bis 1.000 km. Pflanzenarten müssten also, um mit dem Klimawandel Schritt zu halten, sich mit einer Geschwindigkeit von 8-20 km/Jahr ausbreiten können. Das liegt in einer Größenordnung, die bei Arealexpansionen krautiger oder auch invasiver Arten nachgewiesen werden konnten; beim Meersenf (*Cakile maritima*, Brassicaceae) wurden z.B. 50 km/Jahr belegt (METZING 2005, SAUER 1988).

Der Küstenraum bietet aber im Vergleich zu anderen Gebieten, etwa der Kulturlandschaft, Siedlungsräumen oder den Hochgebirgen, günstige Bedingungen für die Fernausbreitung der Arten. Im Küstenraum sind die Habitate über große Strecken unfragmentiert linienhaft

angeordnet oder zumindest durch keine großen Entfernungen voneinander getrennt, es gibt keine erheblichen Ausbreitungsbarrieren für eine küstenparallele Wanderung. Die gilt besonders für die Arten der Spülsaumhabitats und Salzmarschen. Die an der Nordsee vorherrschenden westlichen Windrichtungen sowie die küstenparallele Meeresströmung (Reststrom von West nach Ost) bieten besonders günstige Ausbreitungsbedingungen für viele potentiell aus dem Westen bzw. Südwesten einwandernde Arten. Eine wichtige Rolle für die Ausbreitung spielen auch Vögel, die oft küstenparallel ziehen und Diasporen transportieren können.

Der Meerfenchel (*Crithmum maritimum*, Apiaceae) kommt vom Mittelmeer und an der europäischen Atlantikküste bis nach den Niederlanden und Großbritannien vor. Als limitierender Faktor an der Nordostgrenze kann die Wintertemperatur angesehen werden. Das modellierte Areal für Szenarien des Klimawandels legt eine Ausdehnung des Areals in den deutschen Küstenraum nahe (METZING 2005, METZING & GERLACH in WALTHER et al. 2001). Für Deutschland wurde von Panknin ein vorübergehendes Vorkommen 1935 auf Helgoland nachgewiesen (s. METZING 2005). Nachdem man die Art dort im Jahr 2000 wieder fand, wurde sie als »Neu für Deutschland« publiziert (KREMER & WAGNER 2001). Das Vorkommen auf der Insel Helgoland, die durch ein relativ wintermildes Klima ausgezeichnet ist, kann mittlerweile als etabliert angesehen werden, so dass die Art heute zur deutschen Flora gezählt wird (NETPHYD & BfN 2013). 2013 wurde die Art auch noch weiter nordöstlich, in Steinpackungen der Insel Pellworm gefunden (EIGNER 2014).

Ein ähnliches Verbreitungsmuster wie der Meerfenchel hat die Strandwolfsmilch (*Euphorbia paralias*, Euphorbiaceae); auch diese Art strahlt vom Mittelmeer entlang der Atlantikküste bis zu den Niederlanden aus. Sie wurde von METZING (2005) als potentielle Indikatorart für den Klimawandel an der deutschen Küste bezeichnet. Diese Art wurde dann erstmals 2013 an der schleswig-holsteinischen Küste, auf Norderoogsand, gefunden. Auch 2014 und 2015 konnte das Vorkommen dort bestätigt werden (HAACKS et al. 2016).

Eine weitere Art ist der auch mediterran-atlantisch verbreitete Gelbe Hornmohn (*Glaucium flavum*, Papaveraceae), der vom Mittelmeer bis nach Süd-Norwegen vorkommt. Er ist kein Neueinwanderer an der deutschen Küste, tritt allerdings im nördlichen Teilareal, wozu auch das Küstengebiet der Nordsee gehört, nur sehr selten und sporadisch auf. In den letzten Jahrzehnten wurde er an der Nordseeküste der Niederlande, Niedersachsens und Schleswig-Holstein häufiger gefunden. Diese häufigeren Nachweise können als Anzeichen einer Arealexpansion gedeutet werden, die

mit den Modellprognosen für den Klimawandel korreliert ist (METZING 2005).

Wildvorkommen der genannten Arten sind auf die Küste beschränkt. Eine andere Art, die sich derzeit zwar vorwiegend küstennah in Deutschland und angrenzenden Gebieten ausbreitet, aber auch im Binnenland vorkommt, ist das Moosblümchen (*Crassula tillaea*, Crassulaceae). Im Zeigerwertsystem von ELLENBERG (1992) ist die Art als Wärmezeiger eingestuft. Sie kam im 19. Jahrhundert im Niederrheingebiet sowie im heutigen Brandenburg und Sachsen-Anhalt vor, war nach einigen Jahrzehnten dort aber verschollen. In den 1990er Jahren wurde sie in Bayern über mehrere Jahre nachgewiesen und ab 2011 erstmals auch an der Nordsee und Ostsee gefunden (auf Baltrum und Fehmarn) (METZING et al. 2011, NETPHYD & BfN 2013). Diese Beobachtungen reihen sich in das Bild des Ausbreitungsprozesses ein, der etwa in den 1980er Jahren in Großbritannien und den Niederlanden begonnen hat und mittlerweile auch schon Dänemark erreicht hat.

Einzelfunde von sich ausbreitenden Pflanzenarten sind aber noch kein Beweis für Auswirkungen des Klimawandels. Bei den genannten Beispielen passen die Modellprognosen und die beobachtete Ausbreitung (auch die deutliche Zunahme der vier Arten in den Niederlanden, FLORON 2016) jedoch gut zusammen, so dass deren Ausbreitung an der deutschen Nordseeküste mit entsprechender Vorsicht als »fingerprints of climate change« gedeutet werden kann (METZING & GERLACH in WALTHER et al. 2001, METZING 2005). Da es in Deutschland (bzw. für den vorliegenden Fall an der Küste) kein flächendeckendes Monitoring für die Gefäßpflanzenflora gibt, sind Meldungen solcher Einzelvorkommen aber vom Zufall abhängig; und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Arten auch schon unentdeckt an weiteren Stellen aufgetreten sind.

Ausbreitung in Hochgebirgen

Die Verhältnisse in Hochgebirgen mit den vor allem von der Höhenlage abhängigen Temperaturgradienten sind zum Teil deutlich von denen der Küstenregionen unterschieden (Tab. 3.9-1). Sowohl den Biotopen der Küste und der Gebirge ist gemeinsam, dass sie weniger dem direkten Einfluss des Menschen unterliegen und als naturnah bis halbnatürlich eingestuft werden können. Sie sind daher als Modellregionen für Auswirkungen des Klimawandels geeignet, da diese hier deutlicher zutage treten sollten als in den stärker durch Landwirtschaft, Besiedlung und Verkehr geprägten Regionen, in denen andere Ursachenkomplexe Effekte klimatischer Änderungen überlagern.

Die Isothermen liegen in Hochgebirgen (abhängig von der Hangneigung) räumlich sehr eng beieinander. Während an unserer Küste Isothermen pro Temperaturgrad in horizontaler Richtung mehrere hunderte Kilometer vonei-

Tab. 3.9-1: Alpen und Küste als geeignete Modellhabitate für das Monitoring klimabedingter Arealveränderungen von Pflanzenarten: Gemeinsamkeiten und Unterschiede ökologischer Eigenschaften.

	Alpen (subnivale bis nivale Stufe)	Küste (Salzmarschen & Dünen)
Natürlichkeitsgrad	naturnah (bis halbnatürlich)	naturnah (bis halbnatürlich)
Höhenstufung	vorhanden	fehlend
Temperatur	extrem (kühl)	gemäßigt
Temperaturgradienten		
Orientierung	weitgehend vertikal	horizontal
räumliche Ausdehnung	eng	weit
Biotopverteilung	isoliert (Berggipfel)	linear, ± unfragmentiert
Ausbreitungsmodus für ausreichende Wanderungsgeschwindigkeit	Nahausbreitung	Fernausbreitung
Ausweichmöglichkeit der Arten	vertikal und horizontal begrenzt	horizontal weitgehend unbegrenzt (küstenparallel)

einander entfernt sind, beträgt die Distanz im Gebirge in vertikaler Richtung etwa 150 m. Pflanzen müssen hier also bei geeigneten Bodenverhältnissen nur relativ kurze Distanzen überbrücken, um mit der Erwärmung Schritt zu halten; Nahausbreitungsmodi können hierfür ausreichen.

Das Auftreten von Pflanzenarten in höheren Lagen, in denen sie früher nicht vorkamen, ist in vielen Studien belegt worden. Durch die Einwanderung dieser Arten in die höher gelegenen Gebiete nimmt die Artenzahl auf vielen Gipfeln Europas zu (PAULI et al. 2012). Für viele Pflanzenarten konnte anhand von Vergleichen alter und aktueller Vegetationsaufnahmen festgestellt werden, dass ihre Verbreitungsgrenzen sich nach oben verschoben, im Mittel über 34 (± 27) m pro Jahrzehnt (PAROLO & ROSSI 2008). Nur einige Beispiele von zahlreichen Arten in den Schweizer Alpen, die in höheren Lagen neu auftraten, sind die Zirbelkiefer (*Pinus cembra*, Pinaceae), die Himbeere (*Rubus idaeus*, Rosaceae), der Franzenszian (*Gentianopsis ciliata*, Gentianaceae) und der Zerbrechliche Blasenfarn (*Cystopteris Fragilis*, Woodsia-ceae) (BURGA et al. 2004). Dass die Ausdehnung in die Höhe aufgrund der Höhenbegrenzung der Gipfel und den mit der Höhe abnehmenden Flächengrößen geeigneter Habitate letztendlich auch zu Arealverlusten führen kann, ist ein anderer Aspekt, der hier nur erwähnt sein soll.

Neben der progressiven Arealverschiebung von Pflanzenarten in höhere Lagen ist in den Alpen (und anderen Gebirgen) eine weitere Auswirkung des Klimawandels zu beobachten: die Einwanderung in die von zurückweichenden Gletschern freigelegten Flächen der Glet-

schervorfelder. Hier setzt eine Primärsukzession ein, bei der neben anderen Organismen auch Gefäßpflanzen die freigewordenen Rohböden besiedeln. Der Gletscher-Hahnenfuß (*Ranunculus glacialis*, Ranunculaceae) ist eine der ersten Arten, die schon im ersten Jahr nach Abschmelzen des Gletschereises auftreten können. Andere Arten wie die Kraut-Weide (*Salix herbacea*, Salicaceae) oder die Ähren-Hainsime (*Luzula spicata*, Juncaceae) benötigen hingegen mehrere Jahrzehnte, um auf den Gletschervorfeldern Fuß zu fassen (CANNONE et al. 2008).

Ausbreitung in der Kulturlandschaft

Klimawandelbedingte Ausbreitungsprozesse von Pflanzenarten lassen sich auch in anderen Regionen Europas feststellen. Allerdings können hier Effekte der Landnutzung oder die Fragmentierung geeigneter Habitate mögliche klimawandelbedingte Ausbreitungen von Pflanzenarten bremsen oder überlagern.

Ein klassisches und lange bekanntes Beispiel für die Korrelation von Arealgrenzen mit Wintertemperaturen ist die Stechpalme (*Ilex aquifolium*, Aquifoliaceae). WALTHER et al. (2005) zeigen, dass die gegenwärtige Ausbreitung der Art in nördlicher und nordöstlicher Richtung sehr gut mit der modellierten Verlagerung des »climatic envelope« übereinstimmt. Allerdings ist die Ausbreitung zum Teil anthropogen verstärkt: Die Stechpalme wird in Gärten und Parks gepflanzt und kann von dort aus verwildern. Die Art kann so wahrscheinlich ihr potentiell Areal schneller auffüllen als in einem rein natürlichen Ausbreitungsprozess.

Die Walnuss (*Juglans regia*, Juglandaceae) gehört auch zu den Arten, die sich in Mitteleuropa derzeit ausbreiten. Wie auch die Stechpalme ist die wahrscheinlich schon von den Römern eingeführte Art vielfach in Gärten und Parks gepflanzt; in Deutschland ist sie in einigen Regionen des Berg- und Hügellandes seit langer Zeit etabliert. Die Art ist nach ELLENBERG (1992) ein Wärme- bis Extremwärmezeiger, was für eine klimawandelbedingte Zunahme verwilderter Vorkommen dieser Art in Gebieten spricht, in denen sie bisher allenfalls als Kulturpflanze vorkam. Das erstmalige Auftreten in Tälern der Ostalpen wird aufgrund der Korrelation mit Klimadaten als Effekt des Klimawandels beschrieben (LOACKER et al. 2006). Auch die Walnuss ist ein Beispiel für eine Art, deren klimawandelbedingte Fernausbreitung durch den Menschen beschleunigt wird (SVENNING et al. 2014). In der Forstwirtschaft werden solche Ausbreitungen mitunter massiv unterstützt (s. auch Kap. 3.12 - TEMPERTON - mit dem Beispiel »Bonn Challenge«).

In den letzten Jahrzehnten haben vor allem auf Maisäckern verschiedene Unkräuter zugenommen und z.T. sind sie auch bereits weiter nach Norden vorgegangen: dies sind z.B. verschiedene Amarant-Arten

(*Amaranthus*, Amaranthaceae) und Hirsen (*Digitaria*, *Echinochloa*, *Panicum*, *Setaria*, *Sorghum*, *Poaceae*), die als C₄-Arten Konkurrenzvorteile durch höhere Temperaturen (bei hoher Lichteinstrahlung) erlangen und daher auch als Wärmezeiger gelten. Ihre Zunahme wird aber nicht nur durch den Klimawandel gefördert; sicher ist, dass sie auch gut an die intensive Bewirtschaftung der Maisäcker angepasst sind und von hohen Nährstoffgaben sowie der Samenausbreitung über landwirtschaftliche Maschinen profitieren (PETERS et al. 2014).

Ausbreitung von Neophyten

Bei den genannten Beispielen der Küste und der Hochgebirge verschieben die Populationen ihre Arealgrenzen in benachbarte Bereiche [natürliche Ausbreitung (Einwanderung) im Rahmen des Klimawandels], während bei Stechpalme und Walnuss die Ausbreitung durch anthropogene Einschleppung beschleunigt wird. Ein weiterer Aspekt des Vorkommens neuer Pflanzenarten in einem Gebiet ist das Auftreten gebietsfremder Arten, wozu z.B. einige der oben genannten Maisunkräuter gehören. Hier ist die Einschleppung der primäre Prozess, an den sich sekundär die Verwildering, Etablierung, weitere Ausbreitung und potentiell auch die Invasivität in dem neu besiedelten Gebiet anschließen kann. Der Klimawandel beeinflusst all diese Perioden des Invasionsprozesses (HELLMANN et al. 2008, s.a. METZING 2015), da sich die potentiellen Herkunftsräume, in denen ähnliche Klimabedingungen wie in den Einführungsgebieten herrschen, verlagern und sich die Etablierungsmöglichkeiten und Konkurrenzbedingungen in den neu besiedelten Gebieten auch verändern. Weitere Beispiele von Neophyten, die aufgrund des Klimawandels bereits geeignete Bedingungen vorfinden, sind verschiedene immergrüne Gehölze, die z.B. in Italien, der Schweiz und Deutschland aus Pflanzungen und Gärten verwilderten und sich zum Teil auch schon etablieren konnten (BERGER & WALTHER 2006, LÜBBERT et al. 2008). Dazu gehören z.B. Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei*, Arecaceae) und Lorbeer-Kirsche (*Prunus laurocerasus*, Rosaceae).

Auch der Schmetterlingsflieder (*Buddleja davidii*, Scrophulariaceae) ist eine auffällige Art, die in wärmebegünstigten Gebieten Deutschlands schon lange etabliert ist und nun auch in anderen Gebieten, z.B. in Norddeutschland, v.a. in Siedlungen, an Bahnstrecken u.a. zunehmend verwildert und sich ausbreitet (NETPHYD & BfN 2013).

KOLLMANN et al. (2010) untersuchten den Einfluss des Klimawandels auf die Ausbreitung invasiver Pflanzenarten in Dänemark und Norddeutschland. Sie fanden keinen deutlichen Beleg, dass invasive Arten als Indikatoren für den Klimawandel dienen könnten. Für die Verbreitung des Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum*, Apiaceae; Tafel 5 - Klappentext) waren z.B.

Faktoren wie Bodenart, Bevölkerungsdichte und die Ausbreitung entlang von Fließgewässern relevant, aber kein Faktor zeigte einen Zusammenhang mit dem Klimawandel.

Fazit

Es gibt verschiedene Beispiele von Pflanzenarten, deren festgestellte progressive Verlagerungen von Verbreitungsgrenzen mit dem Klimawandel korreliert werden können. Die Signale des Klimawandels sind besonders deutlich im Hochgebirge, wo die Migration über relativ kurze Entfernungen, wenige Meter pro Jahr, ausreicht, um einer Verlagerung der Klimagradienten zu folgen. In der Ebene sind die zu überbrückenden Distanzen deutlich größer (mindestens um den Faktor 10^3), was ein Grund dafür sein kann, dass die Auswirkungen des Klimawandels dort noch nicht so deutlich sichtbar werden. In Zukunft werden mit stärkeren Klimasignalen progressive Arealverlagerungen auch bei mehr Arten beobachtet werden können. Allerdings gibt es kaum Grund zur Annahme, dass die sich ausbreitenden Arten den stärkeren Artenschwund (durch Klimawandel, Landbewirtschaftung und andere Gefährdungsfaktoren) bremsen oder gar ausgleichen können – viele Studien belegen das Gegenteil (FIELD et al. 2014).

Literatur

- BERGER, S. & G.-R. WALTHER (2006): Distribution of evergreen broad-leaved woody species in Insurbria in relation to bedrock and precipitation. *Botanica Helvetica* 116: 65-77.
- BURGA, C. A., G.-R. WALTHER & S. BEISSNER (2004): Florenzwandel in der alpinen Stufe des Berninagebiets – ein Klimasignal? *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 16: 57-66.
- CANNONE, N., G. DIOLAIUTI, G., M. GUGLIELMIN & C. SMIRAGLIA (2008): Accelerating climate change impacts on alpine glacier forefield ecosystems in the European Alps. *Ecological Applications* 18: 637-648.
- EIGNER, J. (2014): Der Meerfenchel (*Crithmum maritimum*) auf Pellworm. *Kieler Notizen zur Pflanzenkunde* 40: 53-55.
- ELLENBERG, H. (1992): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen (ohne *Rubus*). 2. Aufl. *Scripta Geobotanica* 18: 9-166.
- FIELD, C. B., V. R. BARROS, D. J. DOKKEN, K. J. MACH et al. (eds.) (2014): *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge & New York.
- FLORON (FLORISTISCH ONDERZOEK NEDERLAND) (2016): *Verspreidingsatlas planten.* www.verspreidingsatlas.nl/planten [abgerufen am 23.10.2016].
- FODEN, W. B., S. H. M. BUTCHART, S. N. STUART, J.-C. VIÉ et al. (2013): Identifying the world's most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PLoS ONE* 8(6): e65427. doi:10.1371/journal.pone.0065427.
- FRANKS, S. J., J. J. WEBER & S. N. AITKEN (2014): Evolutionary and plastic responses to climate change in terrestrial plant populations. *Evolutionary Applications* 7: 123-139.
- HAACKS, M., N. JANINHOFF, J. PETERSEN, M. STOCK et al.: (2016): Floristische Besonderheiten der Nordseeküstendünen Schleswig-Holsteins 2012-2014. *Kieler Notizen zur Pflanzenkunde* 41: 105-123.
- HELLMANN, J. J., J. E. BYERS, B. G. BIERWAGEN & J. S. DUKES (2008): Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology* 22: 534-543.
- HUNTLEY, B. (1991): How plants respond to climate change: migration rates, individualism and the consequences for plant communities. *Annals of Botany* 67: 15-22.
- JACKSON, S. T. & J. T. OVERPECK (2000): Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology* 26: 194-220.
- JÄGER, E. J. (1992): *Kausale Phytochorologie und Arealodynamik.* Habilitationsschrift. Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg.
- KIRILENKO, A. P. & A. M. SOLOMON (1998): Modelling dynamic vegetation response to rapid climate change using bioclimatic classification. *Climatic Change* 38: 15-49.
- KOLLMANN, J., K. BRINK-JENSEN & M. ISERMANN (2010): Invasive Pflanzenarten als Indizien des Klimawandels? Die Situation in Dänemark und Norddeutschland. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 22: 81-95.
- LOACKER K., W. KOFLER, K. PAGITZ & W. OBERHUBER (2007): Spread of walnut (*Juglans regia* L.) in an Alpine valley is correlated with climate warming. *Flora* 202: 70-78.
- LÖFFLER, H. (2010): Waldbodenvegetation und Klimawandel? *LWF aktuell* 76: 17-19.
- LÜBBERT, J., S. BERGER & G.-R. WALTHER (2008): Klimatisch bedingt treten neue Pflanzenarten auf. In: LOZÁN, J. L., H. GRASSL, L. KARBE & G. JENDRITZKY (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen.* www.warnsignale.uni-hamburg.de [abgerufen am 23.10.2016].
- METZING D. (2005): *Küstenflora und Klimawandel – der Einfluss der globalen Erwärmung auf die Gefäßpflanzenflora des deutschen Küstengebietes von Nord- und Ostsee.* Dissertation, Universität Oldenburg. <http://oops.uni-oldenburg.de/138/2/metz05.pdf>.
- METZING, D. (2006): *Natur im Einfluss des Klimawandels – wie verändern sich Flora und Fauna?* Bremer Beiträge f. Naturkunde & Naturschutz 8:31-49.
- METZING, D. (2015): *Invasive Pflanzenarten in Deutschland.* In: LOZÁN, J. L., H. GRASSL, L. KARBE & G. JENDRITZKY (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere & Menschen.* www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.
- METZING, D., H. KUHBIER & B. KÜVER (2011): *Crassula tillaea* (Crassulaceae) auf Baltrum – Erstnachweis für Niedersachsen. *Drosera* 2010: 71-76.
- NETPHYD & BIN (NETZWERK PHYTODIVERSITÄT DEUTSCHLAND & BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) (Hrsg.) (2013): *Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands.* Landwirtschaftsverlag, Münster.
- PARMESAN, C. & G. YOHE (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- PAROLO, G. & G. ROSSI (2008): Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic and Applied Ecology* 9: 100-107.
- PAULI, H., M. GOTTFRIED, S. DULLINGER, O. ABDALADZE et al. (2012): Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336: 353-355.
- PEARSON, R. G. & T. P. DAWSON (2003): Predicting the species of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361-371.
- PETERS, K., L. BREITSAMETER & B. GEROWITT (2014): Impact of climate change on weeds in agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 27: 13-18.
- SAUER, J. D. (1988): *Plant migration: the dynamics of geographic patterning in seed plant species.* University of California Press, Berkeley.
- SVENNING, J.-C., D. GRAVEL, R. D. HOLT, F. M. SCHURR et al. (2014): The influence of interspecific interactions on species range expansion rates. *Ecography* 37:
- WALTHER, G.-R., C. A. BURGA & P. J. EDWARDS (eds.) (2001): *Fingerprints of Climate Change.* Kluwer Academic/Plenum Publ.: New York.
- WALTHER, G.-R., S. BERGER & M. T. SYKES (2005): An ecological 'footprint' of climate change. *Proceedings of the Royal Society B* 272: 1427-1432.

Kontakt:

Dr. Detlev Metzting
Bundesamt für Naturschutz (BfN)
FG II 1.2 Botanischer Artenschutz, Bonn
detlev.metzting@bfn.de

Metzing, D. (2016): *Ausbreitung von Pflanzen infolge des Klimawandels.* In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Die Biodiversität.* pp. 152-157. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.25.