UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

Biologische Invasionen und Phytodiversität

Auswirkungen und Handlungsoptionen

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

HELMHOLTZ ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG UFZ

GEOBOTANIK Düsseldorf

BIOLOG

www.uni-osnabrueck.de

Inhalt

Vorwort

3 Biologische Invasionen und Phytodiversität – Auswirkungen und Handlungsoptionen
Walter Bleeker, Herbert Hurka

Erfassung und Bewertung von Neophyten

5 Steigerung der Artenzahl durch Neophyten
Ulf Schmitz

7 DNA-Sequenzen belegen das Vorkommen südostasiatischer *Cardamine*-Arten in Mitteleuropa
Walter Bleeker, Frank Buschermöhle

9 Invasive gebietsfremde Arten im Naturschutzrecht
Wolfgang Köck

Ökologische und evolutionäre Konsequenzen

11 Veränderung von Lebensräumen durch Invasionen
Rainer Lösch, Guido Dericks, Ulf Schmitz

14 Hybridisierung und Genfluss als Folge biologischer Invasionen
Walter Bleeker, Ulf Schmitz, Frank Buschermöhle

16 Verwilderter Raps im Osnabrücker Land: ausdauernd und auskreuzungsfreudig
Barbara Elling, Maren Hochkirch, Walter Bleeker, Barbara Neuffer, Herbert Hurka

18 Neophyten als Indikatoren des globalen Wandels
Ulf Schmitz, Rainer Lösch

20 Arealausbreitung entlang von Höhengradienten – Wiesenschaumkraut am Urnerboden
Barbara Neuffer, Ulrich Mönninghoff, Herbert Hurka

Das *Ambrosia*-Problem

22 Ökologische Ansprüche von *Ambrosia*
Rainer Lösch, Marion Leiblein, Ulf Schmitz

24 *Ambrosia:* Vom Vogelfutter zum Risikomanagement
Uta Berghöfer, Felix Rauschmayer

26 Gesundheitskosten durch die Beifuß-Ambrosie
Wanda Born

Vorsorge- und Handlungsoptionen

27 Vermeidung von biologischen Invasionen durch die Verwendung von regionalem Pflanz- und Saatgut heimischer Wildpflanzen
Walter Bleeker

29 Ex-situ-Erhaltung von Wildpflanzensaatgut in der Loki-Schmidt-Genbank am Botanischen Garten der Universität Osnabrück
Barbara Neuffer, Herbert Hurka

32 Das Invasionspotenzial gentechnisch veränderter Pflanzen und die Kontrolle von Biodiversitätsrisiken durch das Gentechnikrecht
Katja Rath, Wolfgang Köck

34 Autorinnen und Autoren

35 Ausgewählte Publikationen aus dem Verbund

Impressum

Herausgeber
Walter Bleeker, Herbert Hurka

Kontakt
Universität Osnabrück
AG Botanik
Barbarastr. 11
49076 Osnabrück
bleeker@biologie.uni-osnabrueck.de

Redaktion
Walter Bleeker

Förderung
Die Herstellung dieser Broschüre wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderprogramms BIOLOG (Verbund INVASION, Förderkennzeichen 01LC0612A2).

Fotos Cover
B. Elling, U. Schmitz, W. Bleeker, B. Alberternst und S. Nawrath

Gestaltung
sec GmbH, Osnabrück

Druck
Staperfeld, Osnabrück

1. Auflage, Oktober 2009
gedruckt auf Recycling-Papier

Vorwort

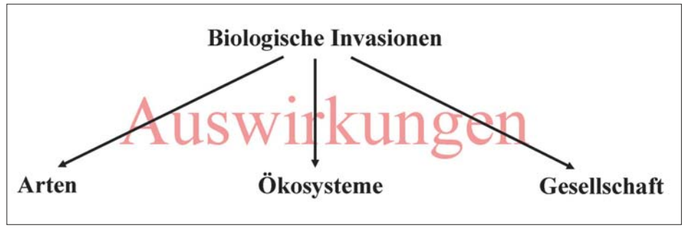
Biologische Invasionen und Phytodiversität – Auswirkungen und Handlungsoptionen

Walter Bleeker, Herbert Hurka

Biologische Invasionen gelten weltweit neben Habitatzerstörung und Klimawandel zu den größten Bedrohungen der biologischen Vielfalt. In Mitteleuropa verursachen jedoch nur wenige der beabsichtigt oder unbeabsichtigt eingeführten Neophyten quantifizierbare ökologische oder ökonomische Schäden. Die bekannteste, auch in den Medien regelmäßig thematisierte Problemart ist die Beifußblättrige Ambrosie *(Ambrosia artemisiifolia)*. Ein weniger häufig beachteter Aspekt biologischer Invasionen ist die durch Hybridisierung und Introgression hervorgerufene Beeinflussung des Genpools unserer heimischen Wildpflanzen.

Neun Jahre lang haben verschiedene Projekte innerhalb des Förderprogramms BIOLOG (Biodiversität und globaler Wandel) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) die Auswirkungen von Pflanzeninvasionen auf verschiedene Organisationsstufen der Biodiversität (Gene, Arten, Ökosysteme) untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf gesellschaftspolitischen Aspekten, wie zum Beispiel einer ökonomischen Bewertung sowie auf rechtlichen und organisatorischen Steuerungsmöglichkeiten.

In der vorliegenden Broschüre stellen die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Osnabrück, der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ), Leipzig, die wesentlichen Ergebnisse der Forschungsprojekte vor und präsentieren Handlungsoptionen zur Vermeidung biologischer Invasionen bzw. Strategien zur Minimierung negativer Auswirkungen.



Auswirkungen biologischer Invasionen.

Der erste Teil der Broschüre setzt sich mit der Erfassung und Bewertung von Neophyten auseinander. Ulf Schmitz und Rainer Lösch von der AG Geobotanik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf haben in der Stromtalaue am Niederrhein untersucht, wie sich die Besiedlung mit Neophyten auf die Artenzahl und das Artenspektrum auswirkt. Ein Vergleich von aktuellen und historischen Vegetationsaufnahmen belegt die deutliche Zunahme von Neophyten. Bei der Identifizierung und Erfassung von Neophyten können molekulare Marker wichtige Hinweise liefern. Walter Bleeker und Frank Buschermöhle (Universität Osnabrück) zeigen durch einen Vergleich von DNA-Sequenzen heimischer und gebietsfremder *Cardamine*-Arten, dass asiatische *Cardamine*-Sippen sich offensichtlich in Mitteleuropa in der Ausbreitung befinden. Wolfgang Köck vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) setzt sich anschließend mit der Bewertung gebietsfremder Arten im Naturschutzrecht auseinander und analysiert den rechtlichen Handlungsspielraum von Gegensteuerungsmaßnahmen. Insbesondere werden die im Hinblick auf gebietsfremde Arten relevanten Änderungen in der Neufassung des Bundesnaturschutzgesetzes erläutert.

Die ökologischen und evolutionären Konsequenzen biologischer Invasionen stehen im Fokus des zweiten Teils der Broschüre. Zunächst gibt Rainer Lösch (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf) einen kurzen Überblick über die Veränderung von Lebensräumen durch biologische Invasionen. Ökophysiologische Untersuchungen aus dem Düsseldorfer Teilprojekt zeigen, wie sich die Ausbreitung des Drüsigen Springkrauts *(Impatiens glandulifera)* auf den Wasserhaushalt von Auenwäldern auswirkt. Neben den ökologischen Auswirkungen biologischer Invasionen bildeten die insbesondere durch Hybridisierung unter Beteiligung von Neophyten hervorgerufenen evolutionären Konsequenzen einen besonderen Schwerpunkt des Forschungsverbundes. Eine detaillierte Analyse von Hybridisierungen zwischen Neophyten und heimischen Pflanzenarten in der deutschen Flora wird von Walter Bleeker, Ulf Schmitz und Frank Buschermöhle (Universität Osnabrück, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf) vorgestellt. Die Gattungen *Rorippa* (Sumpfkresse) und *Aquilegia* (Akelei) dienen dabei als Fallbeispiele zur Untersuchung der ablaufenden Prozesse. Barbara Elling von der Universität Osnabrück untersuchte in ihrer Dissertation Raps als Fallbeispiel

für eine verwildernde Kulturpflanze, die mit nah verwandten Arten hybridisiert. Die von Elling und Koautoren in ihrem Artikel vorgestellten Ergebnisse belegen die Dynamik ruderaler Rapspopulationen und sind von Relevanz im Hinblick auf einen möglichen zukünftigen Anbau gentechnisch veränderter Rapssorten in Mitteleuropa. In zwei weiteren Artikeln steht der Zusammenhang zwischen der beobachteten Klimaerwärmung und biologischen Invasionen im Vordergrund. Ulf Schmitz und Rainer Lösch (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf) beleuchten den Zusammenhang zwischen der Klimaerwärmung und der Etablierung und Ausbreitung wärmeliebender gebietsfremder Pflanzenarten am Niederrhein. Experimentelle Studien belegen, dass bereits eine geringe Verlängerung der Vegetationsperiode die Etablierung weiterer Neophyten in dieser Region ermöglichen kann. Das Wiesenschaumkraut *(Cardamine pratensis)* ist ein Beispiel für Arealverschiebungen entlang von Höhengradienten in den Alpen. Barbara Neuffer und Koautoren (Universität Osnabrück) untersuchen die Ausbreitung dieser Tieflandart und die daraus resultierenden Konsequenzen auf einem Hochplateau in den Schweizer Alpen.

Biologische Invasionen können enorme Kosten für die Gesellschaft verursachen, insbesondere dann, wenn invasive gebietsfremde Arten gesundheitliche Schäden hervorrufen, wie die Beifuß-Ambrosie *(Ambrosia artemisiifolia)*. Im dritten Teil der Broschüre erläutert zunächst Rainer Lösch (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf) die Ausbreitungsgeschichte und die ökologischen Ansprüche der Ambrosie. Uta Berghöfer und Felix Rauschmayer (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ) setzen sich anschließend mit dem Risikomanagement der Ambrosie auseinander. Dabei wird deutlich, dass es auf Bundesebene bislang keine koordinierte Strategie zum Umgang mit der Beifuß-Ambrosie gibt. Eine solche langfristige Strategie wird jedoch notwendig sein, wenn man einer weiteren Ausbreitung der Ambrosie effektiv entgegenwirken will. Eine weitere Ausbreitung der Ambrosie würde erhebliche Kosten für das Gesundheitssystem verursachen, wie Wanda Born (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ) in ihrem Artikel darlegt.

Der abschließende vierte Teil der Broschüre beschäftigt sich mit Vorsorge- und Handlungsoptionen zur Vermeidung biologischer Invasionen und zum Schutz der genetischen Ressourcen heimischer Wildpflanzen vor den Folgen biologischer Invasionen. Handlungsmöglichkeiten bestehen vor allem dort, wo Pflanz- und Saatgut gezielt in der freien Landschaft ausgebracht wird. Walter Bleeker (Universität Osnabrück) zeigt in seinem Artikel, wie durch die Verwendung von gebietsheimischem Pflanz- und Saatgut biologische Invasionen vermieden werden können. Barbara Neuffer und Herbert Hurka (Universität Osnabrück) erläutern anschließend die Bedeutung von Saatgut-Genbanken für die Ex-situ-Erhaltung der biologischen Vielfalt heimischer Wildpflanzen. Der Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen kann, ähnlich wie die Ausbreitung und Auskreuzung invasiver gebietsfremder Arten, potenziell negative Auswirkungen für die Biodiversität haben. Wolfgang Köck und Katja Rath (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ) analysieren, wie diese potenziellen Biodiversitätsrisiken durch das Gentechnikrecht kontrolliert werden. ✽

Steigerung der Artenzahl durch Neophyten

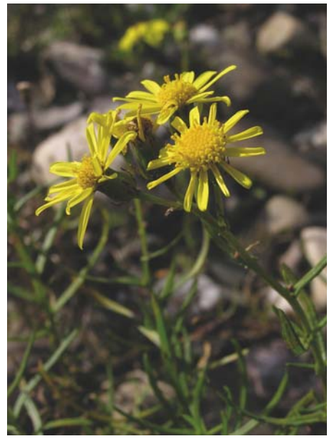
Ulf Schmitz

Zusätzlich zur allgegenwärtigen direkten Lebensraumzerstörung durch den Menschen kann die Einschleppung invasiver Arten zu einem Rückgang einheimischer Arten beitragen, indem z. B. konkurrenzschwache Arten verdrängt werden. Andererseits erhöhen die eingeschleppten Arten die Biodiversität im Einschleppungsgebiet und sind in vielen Fällen unproblematisch, da sie entweder nur vorübergehend (ephemer) auftreten oder sich problemlos in bestehende Ökosysteme integrieren. Insgesamt ist die Tendenz zu erkennen, dass Neophyten zwar lokal zu einem Anstieg der Artenzahl führen können, auf globaler Ebene jedoch zu einer Vereinheitlichung von Artenspektren und zum Artenrückgang beitragen.

Wie sich die Besiedlung mit Neophyten auf die Artenzahl und das Artenspektrum unter mitteleuropäischen Bedingungen auswirkt, wurde exemplarisch am Beispiel der Stromtalaue des Niederrheins untersucht. Im Untersuchungsgebiet, das die Rheinaue auf einer Länge von über 150 Stromkilometern zwischen Monheim (Kreis Mettmann) und der niederländischen Grenze bei Emmerich und Kleve (Kreis Kleve) umfasst, wurde erforscht, welche neophytischen Arten dort auftreten, in welcher Weise sie die Artzusammensetzung beeinflussen und wie langfristige Entwicklungstrends ihrer Etablierung verlaufen. Hierzu wurde zunächst eine Erfassung sämtlicher neophytischer Arten und C_4-Pflanzen durchgeführt. Die letztere Artengruppe ist aufgrund ihres speziellen Photosynthese-Stoffwechsels in der Regel an warme und sonnige Standorte gebunden. Insgesamt konnten 119 Neophytenarten nachgewiesen werden, darunter 16 C_4-Pflanzenarten. Zusätzlich wurden weitere sechs seit der Römerzeit nördlich der Alpen vorkommende (archäophytische) C_4-Arten gefunden. Die drei häufigsten Neophytenarten am Rheinufer, die in mehr als 60 % der Vegetationsaufnahmen vorkamen, waren *Amaranthus bouchonii*, eine Art, die sich erst in den 1930er Jahren in Europa aus dem nordamerikanischen *Amaranthus hybridus* agg. entwickelte, der Australische Gänsefuß *Chenopodium pumilio* und das Schmalblättrige Greiskraut *Senecio inaequidens* aus Südafrika, gefolgt von den südamerikanischen *Taxa Solanum physalifolium* und *Amaranthus blitum* ssp. *emarginatus* mit Stetigkeiten von 59 % bzw. 50 %.

Der Argentinische Nachtschatten *Solanum physalifolium* ist seit dem Ende des 20. Jahrhunderts in Mitteleuropa eingebürgert. Die Art wächst auf Sand- und Kiesbänken der großen Flüsse und auf Industriebrachen.
Foto: Ulf Schmitz

Der Australische Gänsefuß *Chenopodium pumilio* ist am Rheinufer mit hoher Stetigkeit vertreten und sorgt dort für eine Erhöhung der Diversität. Außerhalb der Rheinaue ist diese wärmeliebende und konkurrenzschwache Art nicht häufig.
Foto: Ulf Schmitz

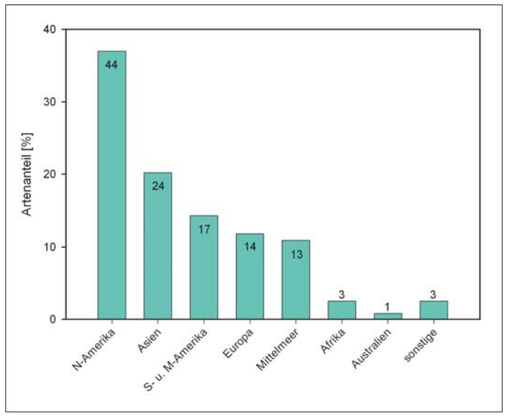


Das Schmalblättrige Greiskraut *Senecio inaequidens* aus Südafrika ist nicht nur eine hochstete Art der Flussauen, sondern auch häufig an anthropogenen Standorten, wie z. B. an Straßenrändern und auf Autobahnmittelstreifen, zu finden.
Foto: Ulf Schmitz

Die Herkunft aller im Untersuchungsgebiet nachgewiesenen Neophytenarten zeigt die nebenstehende Abbildung. Die meisten Arten stammen aus Nordamerika und Asien, also aus Kontinenten, in denen zumindest in Teilen Temperaturen vorherrschen, die mit den Bedingungen in Mitteleuropa vergleichbar sind. Auffallend ist der geringe Anteil afrikanischer und australischer Arten. Über die Hälfte aller gefundenen neophytischen Arten hat neuweltlichen Ursprung.

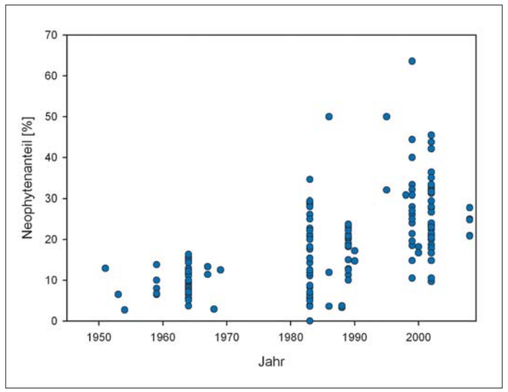
Der Schwerpunkt der Neophytenfunde liegt auf den Sand- und Kiesbänken in der untersten Vegetationszone der Rheinaue. Vegetationskundlich sind diese Bestände überwiegend der Flussknöterichgesellschaft *(Polygono brittingeri-Chenopodietum rubri)* zuzuordnen. Von dieser Pflanzengesellschaft wurden an zahlreichen Stellen im Untersuchungsgebiet Vegetationsaufnahmen nach der Methode von Braun-Blanquet angefertigt. Ein Vergleich dieser aktuellen Vegetationsaufnahmen mit historischen Aufnahmen verschiedener Autoren seit 1951 aus demselben Lebensraum zeigte einen deutlichen Anstieg des Neophytenanteils in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts bis zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Lag der durchschnittliche Anteil neophytischer Arten pro Vegetationsaufnahme 1964 noch bei 9,9 %, so machten die neophytischen Arten zu Beginn des 21. Jahrhunderts bereits einen Anteil von 27,5 % der Arten aus. Bei den C_4-Pflanzen konnte für den gleichen Zeitraum ein Anstieg von 4,4 % auf 11,5 % nachgewiesen werden.

Einer der wichtigsten Gründe für die Zunahme der Neophyten und C_4-Pflanzen sind gestiegene Handelsaktivitäten seit Beginn des Industriezeitalters, die die Einführung und die unbeabsichtigte Einschleppung fremder Arten fördern. Als ein weiterer und möglicherweise noch wichtigerer Grund kann der Einfluss des Klimawandels gelten, der durch die Temperaturerhöhung und die damit verbundene Verlängerung der Vegetationsperiode einer steigenden Zahl thermophiler Arten ermöglicht, reife Samen und Früchte zu bilden (siehe Artikel »Neophyten als Indikatoren des globalen Wandels«, S. 18–19 in dieser Broschüre).



Herkunft der im Untersuchungsgebiet gefundenen Neophyten.

Zahlen in den Säulen = absolute Zahl an Neophytenarten. Bei in Europa neu entstandenen Arten wurde die Herkunft der nächsten verwandten Art(en) angegeben. Sonstige = hybridogene Anökophyten mit Vorfahren aus verschiedenen Kontinenten oder Herkunft unbekannt.



Anstieg des Anteils an Neophytenarten in Vegetationsaufnahmen der Sand- und Kiesbänke des Mittel- und Niederrheins.

Pflanzengesellschaft Polygono-Chenopodietum, Subassoziation von *Chenopodium rubrum*.

Die Invasibilität einer Pflanzengesellschaft, also die Möglichkeit für Neophyten dort einzudringen und sich zu etablieren, sinkt mit abnehmendem Störungseinfluss und zunehmendem Deckungsgrad heimischer Pflanzenarten. Daher sind in uferfernen Waldgesellschaften in der Regel weniger neophytische Arten zu finden als in ufernahen Vegetationseinheiten. Allerdings verursachen die konkurrenzschwachen Neophytenarten der annuellen Ufervegetation dort keine ökosystemaren Probleme, sondern spiegeln lediglich die Dynamik dieses offenen und vielfältigen Lebensraumes wider. Problematisch kann allerdings eine intensive Kolonisation der uferferneren Kulturlandschaft durch eine der vergleichsweise wenigen Problem-Neophytenarten sein (z. B. *Heracleum mantegazzianum* und Japanischer Staudenknöterich *Fallopia japonica* in Grünlandbrachen an Gewässerrändern). Die Bedrohung der einheimischen Arten und von Ökosystemen in Mitteleuropa ist aber insgesamt wesentlich geringer und in ihrem Ausmaß nicht vergleichbar mit der Bedrohung endemischer Arten durch Neobiota beispielsweise auf Hawaii oder in Neuseeland, deren konkurrenzschwache Flora durch aus Europa und anderen Erdteilen eingeschleppte wuchskräftige Arten zum Teil sehr bedrängt wird. Die überwiegende Zahl der Neophytenarten in Deutschland ist unproblematisch. In Fällen unerwünschter Neophytenbesiedlung sollten Management- und Bekämpfungsmaßnahmen immer nur aufgrund fundierter Einzelfallentscheidungen getroffen werden. ✻

DNA-Sequenzen belegen das Vorkommen südostasiatischer *Cardamine*-Arten in Mitteleuropa

Walter Bleeker, Frank Buschermöhle

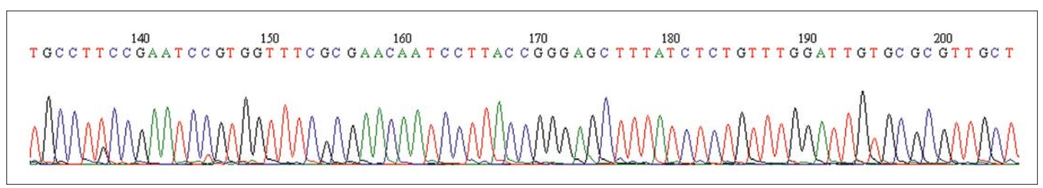
Bei der Identifikation gebietsfremder Tier- und Pflanzenarten können molekulare Methoden wichtige Hinweise liefern. Dies gilt vor allem in Artengruppen, die anhand morphologischer Merkmale schwer zu bestimmen sind oder für die es kaum Experten gibt. Die Sippenidentifikation anhand von Übereinstimmungen der DNA-Sequenzen, das sogenannte DNA-Barcoding, hat in bestimmten Organismengruppen bereits eine große Bedeutung erlangt.

Das Consortium for the Barcode of Life (CBOL) hat sich zum Ziel gesetzt, das DNA-Barcoding als globalen Standard zur Identifizierung von Arten zu etablieren. Ob für alle Organismengruppen zur Artbestimmung geeignete DNA-Sequenzen existieren, gilt jedoch als umstritten. Aus praktischer Sicht ist es sinnvoll, die Methode zunächst dort zu testen, wo die Herkunft neuer unbekannter Arten ermittelt werden soll. Bei der Analyse von genetischer Differenzierung innerhalb von Arten haben molekulare Marker bereits eine herausragende Bedeutung erlangt (Populationsgenetik).

Wir haben die Möglichkeiten und Grenzen von DNA-Sequenzen bei der Identifikation gebietsfremder Arten in der Gattung *Cardamine* (Schaumkräuter) getestet. Die Gattung ist weltweit mit etwa 200 Arten vertreten, in Deutschland gelten 14 Arten als heimisch. Die bekannteste Art ist das Wiesen-Schaumkraut *(Cardamine pratensis)*. Probleme im Gartenbau und in der Zierpflanzenproduktion bereitet häufig das kleinblütige behaarte Schaumkraut *(Cardamine hirsuta)*. Letztere ist wahrscheinlich eine heimische Art und hat sich seit den 1970er Jahren in Mitteleuropa stark ausgebreitet. Bei der Identifikation gebietsfremder Arten in der Gattung *Cardamine* kann auf bereits vorhandenes Wissen aus dem Bereich der molekularen Pflanzensystematik zurückgegriffen werden. Von 150 *Cardamine*-Arten sind bereits Sequenzen eines bestimmten für das Barcoding bei Pflanzen gut geeigneten Abschnittes der DNA in öffentlich zugänglichen Genbanken hinterlegt – eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Projekts.

Im Frühjahr 2004 wurde am Bodensee ein bis dahin unbekanntes Schaumkraut entdeckt. Die neu aufgetretenen Pflanzen waren gut an die Hochwasserdynamik des Bodensees (Hochwasser im Sommer) angepasst, sie blühten und fruchteten in den folgenden milden Wintern reichlich. Bis zum Frühjahr 2007 waren 95 Wuchsorte dieser Sippe am Bodensee bekannt geworden. Da eine Beeinträchtigung der gesetzlich geschützten Strandrasen-Gesellschaften nicht ausgeschlossen werden konnte, bestand dringender Handlungsbedarf bei der Identifizierung der unbekannten Sippe. Eine Bestimmung auf Basis morphologischer Merkmale erwies sich jedoch trotz Hinzuziehung von Experten als schwierig. Schließlich wurden von vier Bereichen der DNA Sequenzierungen vorgenommen. Der Vergleich mit bereits in Genbanken veröffentlichten Informationen ermöglichte eine eindeutige Ermittlung der Herkunft der Pflanzen: Es handelt sich um eine südostasiatische Art, die vor allem in Japan als Unkraut in Reisfeldern auftritt. Informationen über die Biologie invasiver Arten im Ursprungsgebiet sind wichtig, um Prognosen über das Ausbreitungspotenzial der Arten im Invasionsgebiet zu treffen. Zurzeit wird keine weitere Ausbreitung des Japanischen Schaumkrautes am Bodensee beobachtet. Da die Art offensichtlich vor allem im Spülsaum verstärkt auftritt, scheint eine Beeinträchtigung der Strandrasen unwahrscheinlich.

In Baumschulen und im Bereich von Gartenbaubetrieben existieren noch weitere kleinblütige *Cardamine*-Sippen, die über den Handel unbeabsichtigt eingeschleppt wurden. So konnten neben dem Japanischen Reisfeld-Schaumkraut am Bodensee noch Hinweise auf zwei weitere in Deutschland vorkommende ostasiatische Arten gefunden werden. Interessanterweise konnten die gleichen Genotypen (DNA-Sequenzen) in Gartenbaubetrieben und Botanischen Gärten in Deutschland, Belgien und den USA identifiziert werden. Dieses weltweite Vorkommen identischer Genotypen dokumentiert die globale Dimension des Phänomens und unterstreicht die Bedeutung des Pflanzenhandels als Vektor für die Ein-



DNA-Sequenzen helfen bei der Identifikation gebietsfremder Arten.

Japanisches Reisfeld-Schaumkraut am Ufer des Bodensees.
Foto: Michael Dienst

Ostasiatisches Schaumkraut in einem Blumentopf in Süddeutschland.
Foto: Wilfried Löderbusch

schleppung gebietsfremder Arten. Die genaue Zuordnung der Pflanzen aus Gartenbaubetrieben und Botanischen Gärten zu asiatischen *Cardamine*-Arten erweist sich jedoch bislang als schwierig, da eine abschließende taxonomische Bearbeitung der Gattung für den ostasiatischen Raum noch aussteht. Eine vollständige Bearbeitung der untersuchten Formenkreise ist jedoch Voraussetzung jeglicher molekularer Ansätze zur Identifizierung von Arten. Auch Ergebnisse aus anderen Projekten zeigen, dass der weltweite Handel mit Pflanzen ein bedeutender Vektor für die Einschleppung gebietsfremder Sippen ist. In der Gattung *Cardamine* besteht ein hohes Risiko der unbeabsichtigten Einfuhr weiterer Unkräuter. Hybridisierungsmöglichkeiten mit nah verwandten heimischen Arten oder anderen gebietsfremden Arten führen zusätzlich zu einem schwer abzuschätzenden Evolutionspotenzial.

Die Ergebnisse des Projekts dokumentieren das Potenzial molekularer Marker bei der Identifizierung gebietsfremder Arten. Das vorhandene Potenzial ist jedoch weitgehend ungenutzt. Es ist davon auszugehen, dass eine konsequente Anwendung moderner Technologien zur Identifizierung zahlreicher weiterer gebietsfremder Pflanzen- und Tierarten in Mitteleuropa führen würde.

An der Durchführung dieses Projekts waren zahlreiche Kolleginnen und Kollegen beteiligt: Michael Dienst und Markus Peintinger von der Arbeitsgemeinschaft Bodenseeufer bzw. der Universität Zürich untersuchten die Morphologie und die Verbreitung von *Cardamine*-Arten am Bodensee. Simone Klausmeyer hat sich in ihrer Examensarbeit mit dem Reisfeld-Schaumkraut beschäftigt. Ivan Hoste (Nationaler Botanischer Garten Belgien) und Wilfried Löderbusch (AG Bodenseeufer) machten uns auf das Vorkommen unbekannter *Cardamine*-Sippen in Gewächshäusern und Baumschulen aufmerksam. ✻

Invasive gebietsfremde Arten im Naturschutzrecht

Wolfgang Köck

Als gebietsfremde Arten werden Tiere und Pflanzen bezeichnet, denen es durch das Wirken des Menschen gelungen ist, ihre natürlichen Ausbreitungsbarrieren zu überwinden und sich auf neuem Terrain auszubreiten. Gesprochen wird in diesem Zusammenhang unter anderem auch von »biologischen Invasionen«, von »invasiven Arten« oder von »invasiven gebietsfremden Arten« (Invasive Alien Species, IAS). Teilweise werden mit diesen Begriffen weitergehende Verständnisse verknüpft. Insbesondere die Verwendung des Adjektivs »invasiv« ist im Kontext der Diskussion um den Schutz der biologischen Vielfalt eindeutig negativ besetzt und bezeichnet eine aggressive Ausbreitung zulasten anderer (einheimischer) Arten, die zum Handeln auffordert.

Die bewusste Einführung, Vermehrung, Züchtung oder Ausbringung von gebietsfremden Arten ist zumeist ökonomisch motiviert: Neue Arten sollen neue Ertragsmöglichkeiten für die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft schaffen und sichern, bzw. neue Bedürfnisse für Hobby, Freizeit und Erholung befriedigen (»exotische Pflanzen und Tiere«). Gebietsfremde Arten gelangen jedoch nicht nur durch bewusste Einführungs- und Ausbringungsaktivitäten des Menschen in neue Gebiete, sondern auch durch vielfältige unbeabsichtigte Einschleppungen, z. B. als Saatgutbegleiter, als Transportbegleiter (u. a. in Holzverpackungen), in Aquakulturen, durch den Schiffsverkehr (z. B. Algen im Ballastwasser), durch neue Ausbreitungswege, die durch den Bau von Kanälen entstanden sind oder durch den Flugverkehr.

Das planmäßige Einbringen gebietsfremder Arten ist nicht nur mit Nutzen verbunden, sondern auch mit Lasten (Risiken und Schäden). Erst recht gilt dies für das unbeabsichtigte Einbringen, weil ein solches Einbringen überhaupt keinen voraussehbaren Nutzen hat. Die Lasten bestehen darin, dass manche gebietsfremde Arten in ihrer neuen Umgebung vielfältige Schäden verursachen, angefangen bei der menschlichen Gesundheit (Krankheitserreger) über die Landwirtschaft (z. B. Ernteverluste durch das unbeabsichtigte Einführen neuer Schadinsekten) bis hin zu Schäden an technischen Anlagen (z. B. Rohrleitungsschäden durch Muschelbefall) und an Verkehrswegen (erhöhte Unterhaltungskosten durch Beseitigungsarbeiten). Jenseits solcher »harten« Wirtschafts- und Gesundheitsschäden werden biologische Invasionen auch für andere Verluste verantwortlich gemacht: Experten weisen darauf hin, dass gebietsfremde Arten weltweit betrachtet – nach der Veränderung von Landnutzungen – den zweitgrößten Gefährdungsfaktor für die biologische Vielfalt bilden. In Mitteleuropa ist zwar noch kein Fall bekannt, in dem die Etablierung einer gebietsfremden Art zum Aussterben einer indigenen Art geführt hätte, doch auch hier zeigen sich vielfältige negative Veränderungen der biologischen Vielfalt, insbesondere auf der lokalen Ebene, z. B. die Verdrängung einheimischer Arten durch Veränderung der Konkurrenzverhältnisse.

Die Problematik invasiver gebietsfremder Arten wird längst nicht mehr nur in den einschlägigen Wissenschaften untersucht und diskutiert, sondern hat viele Staaten zum Handeln veranlasst. Um invasive gebietsfremde Arten in Deutschland präventiv abzuwehren, sind eine Reihe verwaltungsrechtlicher Schutzvorschriften geschaffen worden, die u. a. auch der Erfüllung internationalrechtlicher und europarechtlicher Verpflichtungen dienen. Zu den praktisch wichtigsten Schutzregelungen gehören neben den pflanzenschutzrechtlichen Vorschriften, auf die an dieser Stelle nicht eingegangen werden kann, auch einige Artenschutzvorschriften des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG):

1. die Verpflichtung der Bundesländer, geeignete Maßnahmen zu treffen, um die Gefahren einer Verfälschung der Tier- und Pflanzenwelt der Mitgliedstaaten durch Ansiedlung und Ausbreitung von Tieren und Pflanzen gebietsfremder Arten abzuwehren (§ 41 Abs. 2 Satz 1 BNatSchG). Dazu gehört insbesondere das Genehmigungserfordernis bei der beabsichtigten Ansiedlung von Tieren und Pflanzen gebietsfremder Arten in der freien Natur (§ 41 Abs. 2 Satz 2 BNatSchG), das allerdings u. a. nicht für den Anbau von Pflanzen in der Land- und Forstwirtschaft gilt (§ 41 Abs. 2 Satz 4 BNatSchG);
2. die Besitz- und Vermarktungsverbote für Tiere und Pflanzen, die durch Rechtsverordnung des Bundesumweltministeriums gem. § 54 Abs. 4 BNatSchG bestimmt worden sind (§ 42 Abs. 3 Nr. 2 BNatSchG). Bislang wurde allerdings nur für vier gebietsfremde Tierarten von der Verordnungsermächtigung Gebrauch gemacht.

In der Praxis bereitet die Anwendung dieser Vorschriften Schwierigkeiten. Die Probleme liegen nicht nur in den stets knappen Kapazitäten der Naturschutzverwaltung begründet, sondern haben weitere Ursachen. Zunächst einmal wurden weder bundesrechtlich noch landesrechtlich verbindliche, konkretisierende Normen zur Anleitung der Behördenarbeit zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus besteht nach wie vor eine große fachliche Unsicherheit darüber, welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, um auf eine »Verfälschung der Tier- und Pflanzenwelt« schließen zu können. Des Weiteren wurden insbesondere mit Blick auf die Etablierung des Genehmigungsverfahrens wichtige Aktivitäten von der Anwendung ausgenommen, ohne dass stets eine äquivalente Kontrolle an dessen Stelle tritt. Und schließlich sind auch die vom Gesetzgeber zur Verfügung

gestellten Definitionen zur Handhabung der angesprochenen Normen nicht in jeder Hinsicht sachgerecht. Insbesondere werden vom Rechtsbegriff der »gebietsfremden Art«, so wie er in § 10 Abs. 2 Nr. 6 BNatSchG vom Gesetzgeber definiert worden ist, sogenannte »Sekundärausbringungen« nicht erfasst. Ist eine gebietsfremde Art in einem bestimmten Gebiet etabliert, ist jede weitere Ausbringung rechtlich irrelevant, weil der Rechtsbegriff ausschließlich daran anknüpft, ob eine wildlebende Art in dem betreffenden Gebiet vorkommt. Durch die beschlossene Neuregelung des BNatSchG soll auf der begrifflichen Ebene künftig eine klare Verbesserung erreicht werden, denn das Gesetz zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege vom 29. Juli 2009 regelt in seinem § 7 Abs. 2 Nr. 9 den Begriff der »invasiven Art« und hilft damit dem beschriebenen Dilemma ab.

Aus den Neuregelungen werden sich außerdem einige weitere Verbesserungen zur Bewältigung der IAS-Problematik ergeben: So soll künftig nicht mehr auf »Verfälschung« abgestellt werden, sondern – insoweit eindeutiger auf das Anliegen des Biodiversitätsschutzes zielend – auf die »Gefährdung von Ökosystemen, Biotopen und Arten durch Tiere und Pflanzen nichtheimischer oder invasiver Arten« (§ 40 Abs. 1 BNatSchG-neu). Auch mit Blick auf den Schutz der innerartlichen Vielfalt soll die Gesetzesnovelle Verbesserungen bringen, denn das neue Gesetz wird deutlicher als bisher zum Ausdruck bringen, dass auch das Ausbringen von Gehölzen und Saatgut gebietsfremder Herkünfte dem Genehmigungserfordernis unterliegt (§ 40 Abs. 4 Nr. 4 BNatSchG-neu). Allerdings war gerade diese Regelung heftigen Angriffen des Bundes deutscher Baumschulen ausgesetzt, obwohl die Regelung an der bisherigen Rechtslage nichts ändert, sondern sie lediglich explizit macht. ✽

Der Japanische Staudenknöterich *(Reynoutria japonica)*, eine invasive gebietsfremde Art.
Foto: Walter Bleeker

Veränderung von Lebensräumen durch Invasionen

Rainer Lösch, Guido Dericks, Ulf Schmitz

Die Ausbreitung von Neophyten hat die Anzahl der in Mitteleuropa vorkommenden Pflanzenarten und damit die regionale α-Diversität deutlich erhöht. Die Bewertung dieses Faktums kann unterschiedlich ausfallen. Allergiker werden die *Ambrosia*-Ausbreitung als erhebliche Gesundheitsgefahr ansehen. Ebenso wird jemand, dessen Haut Berührungsschäden durch den phototoxisch wirkenden Riesenbärenklau erfahren hat, die Einführung dieser attraktiven Pflanze aus den kaukasischen Hochstaudenfluren in die Gärten Deutschlands missbilligen. Dagegen wird sich z. B. der Spaziergänger am Niederrheinufer erfreut an den Früchten der dortigen Tomatenpopulationen bedienen, nicht ohne eventuell kritisch zu überlegen, dass die dort sich ebenfalls ausbreitenden Stechapfel, Giftbeere, Hanf und Schlafmohn – allesamt mit halluzinogenen Inhaltsstoffen – bei aller Schönheit ihrer Blüten vielleicht doch nicht so begrüßenswert sind. Und der Verantwortliche des Städtischen Gartenamtes, der zur Beseitigung der in den Parkgewässern wuchernden exotischen Tausendblattarten erheblich Geld aufwenden muss, dürfte von dieser Bereicherung der Gewässerflora auch nicht begeistert sein. Aber, hat all diese Ausbreitung von botanischen Neubürgern auch Konsequenzen für die ökologischen Gegebenheiten in den betroffenen Lebensräumen?

Aus anderen Weltgegenden gibt es klassische Beispiele für ökosystemare Veränderungen durch zufälligen Eintrag und nachfolgende Ausbreitung von standortfremden Pflanzenarten. Eine Broschüre des neuseeländischen Umweltministeriums deklariert die Gemeine Waldrebe aus Europa *(Clematis vitalba)* als »state enemy no. 1«: Die in Europa heimische und in ihren Auswirkungen harmlose Liane überwuchert dort ganze Wälder, sodass manche Neuseeland-Endemiten durch sie in ernstliche Existenznot geraten. Ähnlich dramatisch entwickelte sich die Einschleppung des Kanarischen Gagelbaums *(Myrica faya)* auf Hawaii: In ihrer Heimat als Element der reliktischen Lorbeerwälder sogar unter Naturschutz gestellt, hat sich die Art auf einigen Inseln Hawaiis fast zur Landplage entwickelt, deren Ausbreitung wichtige endemische Baumarten nicht gewachsen sind: Die Gagelgewächse besitzen Luftstickstoff fixierende Strahlenpilze, deren Stoffwechsel zu einer massiven Stickstoffaufdüngung des Bodens führt – eine Veränderung der Habitatqualität, der die nährstoffgenügsamen hawaiianischen Pflanzen ebenso wenig gewachsen sind wie mitteleuropäische Pflanzen nährstoffarmer Standorte, die hier dem landesweiten Stickstoffeintrag aus der Landwirtschaft weichen mussten.

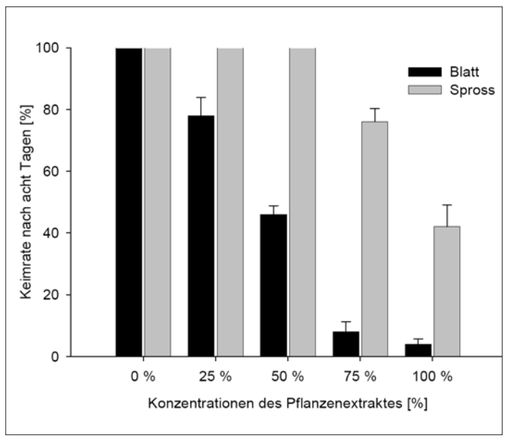
Eine Steigerung des Nährstoffangebots in unserer Vegetation durch entsprechende Neophyten ist kaum mehr möglich. Aber auch in ihren Ausbreitungsräumen in Deutschland können Neophyten erhebliche Verschiebungen im Ökosystem bewirken, wenngleich es keinen Fall gibt, bei dem nachweislich eine einheimische Art durch Raumkonkurrenz oder andere direkte Einwirkungen eines sich in den Beständen ausbreitenden Neophyten verdrängt wurde. Aber ein Wanderer, z. B. im Bayerischen Wald, wird mit Betroffenheit sehen, wie das dort vor zwei Jahrzehnten noch kaum bekannte Drüsige Springkraut *(Impatiens glandulifera)* inzwischen jede Lichtung im Bergwald dominiert, während von der ehemals artenreichen Staudenflur vielerorts nur noch kümmerliche Reste zu finden sind. Der Spaziergänger in den Auen am Niederrhein wird dagegen die Farbenfülle der Blüten verschiedener neophytischer *Impatiens*-Arten als ästhetisch positiv werten – im Vergleich mit der »ökologisch korrekten« Brennnessel-Flur. In beiden Fällen aber nimmt die aus dem Himalaya stammende Art Einfluss auf

***Impatiens glandulifera*, Drüsiges Springkraut, Heimat Himalaya.**
Foto: Rainer Lösch

***Impatiens-glandulifera*-Bestand im Buchen-Tannen-Fichten-Wald bei Lam / Bayerischer Wald.** Foto: Rainer Lösch

***Impatiens-glandulifera*-Bestand im Silberweidenwald bei Düsseldorf / Niederrhein.**
Foto: Ulf Schmitz

die ökosystemaren Gegebenheiten der Standorte. Die hohe Samenproduktion dieser einjährigen Art führt auch dort zu starker Individuenvermehrung, wo per Zufall zunächst nur eine einzelne Pflanze aufwuchs, denn der Schleuder-Mechanismus der Früchte erlaubt von solchen Brückenkopfstandorten aus eine weiträumige Ausdehnung der Vorkommen (die einzige einheimische Art der Gattung heißt bezeichnenderweise »Rühr-mich-nicht-an« *Impatiens noli-tangere*). Innerhalb einer Vegetationsperiode wird eine beträchtliche Biomasse produziert: durchschnittlich knapp 0,3 kg Trockenmasse / m². Diese nimmt im Zuge ihrer Verrottung im Herbst Einfluss auf die standörtlichen Gegebenheiten: Aus allen Teilen der Pflanze, vor allem aber aus ihren Blättern, werden Inhaltsstoffe (Naphthochinon-Derivate) freigesetzt, welche die Keimung anderer Pflanzensamen behindern können. Diese »chemische Kriegsführung« (Allelopathie) gehört für viele, auch einheimische Pflanzen, zur Existenzbehauptung im Unterwuchs der Auenwälder (z. B. Bärlauch *Allium ursinum*, Knoblauchsrauke *Alliaria petiolata*), während andere faziesbildende Sippen (z. B. Brennnessel *Urtica dioica*) den Standort über ein dichtes Rhizomgeflecht behaupten. In der Bergwaldflora ist Allelopathie weit weniger auffällig – hier besitzt der floristische Neuankömmling eine Konkurrenzfähigkeit, auf welche die bodenständige Flora weit weniger gut eingerichtet ist.



Wirkung unterschiedlich verdünnter Blatt- und Sprossrohextrakte von *Impatiens glandulifera* auf die Keimung von Kressesamen.
Dericks 2006, Dissertation Düsseldorf

Nicht nur der Bodenchemismus eines Habitats kann Veränderungen durch einen veränderten Pflanzenbestand erfahren – ebenso können die ökosystemaren Stoffkreisläufe modifiziert werden. Auch dies kann am Beispiel der *Impatiens-glandulifera*-Bestände in den Auenwäldern dokumentiert werden: Die Blattmasse einer Brennnessel- und einer Springkrautfazies der Weichholzaue ist mit durchschnittlich je 40 g Trockengewicht / m² in etwa gleich, der Blattflächenindex (Blattfläche / Grundfläche) bei *Impatiens glandulifera* jedoch etwa drei Mal größer. Über diese Fläche aber erfolgt die transpirative Wasserabgabe der Pflanzen, geregelt im Tagesgang durch die variablen Öffnungsweiten der Stomata. Bei der Brennnessel ist diese Kontrolle der Blatt-Wasserabgabe relativ effizient. Springkräuter aber regeln ihren Blatt-Wasserumsatz nur wenig, sodass sie unter hoher Verdunstung im Sonnenschein stark welken, sich davon aber problemlos erholen können. Für den Verbrauch der standörtlichen Bodenwasservorräte bedeutet dies, dass von der *Impatiens*-Fazies im Silberweidenwald pro Tag 4 bis 5 Liter Wasser vom Boden an die Atmosphäre abgegeben werden, während eine vergleichbare *Urtica*-Fläche gut ein Drittel weniger Wasser umsetzt. Wenngleich in einem Weidenauwald Wasser im Prinzip kein limitierender Standortfaktor ist, kann jedoch extreme Transpiration des Neophytenunterwuchses in spätsommerlichen Trockenphasen, wie sie nach den Klimaprognosen unter Global Change verstärkt auftreten werden, auch hier zu standörtlichem Wasserstress führen, auf den hin die hier etablierten Arten im Zuge ihrer Evolution nicht spezifisch selektioniert worden sind.

Nicht jeder Floren-Neubürger muss auffällige Einwirkungen auf das besiedelte Ökosystem haben. Im Detail nimmt aber jede Pflanze in spezifischer Weise Einfluss auf den von ihr besiedelten Standort, dessen Eigenschaften dadurch subtil modifiziert werden für andere, das gleiche Habitat besiedelnde Sippen. Solche Effekte müssen für die Standortkonkurrenten nicht immer vitalitätsmindernd sein – die moderne Ökologie erfasst zunehmend die Bedeutung, welche die wechselseitige Erleichterung der Existenz am gegebenen Standort (»Facilitation«) für das ökosystemare Zusammenspiel hat, z. B. durch Stoffausscheidungen, durch Minderung der Verdunstungsbelastung, durch spezifische Strukturen, die im Gesamtbestand vor Tierfraß schützen usw. Aber selbstverständlich kann auch das Gegenteil eintreten, also die Schwächung von Mitbewerbern um den Standort durch entsprechende Eigenschaften des Eindringlings in das ökosystemare Gefüge. Dies hat dann Konsequenzen, z. B. in einer allmählich verschobenen Artenzusammensetzung, der Ausbildung von Dominanzen, ja selbst einer Veränderung des gesamten Erscheinungsbildes des Bestandes, seiner Physiognomie, wenn mit dem Wechsel der Artenzusammensetzung ein Wechsel der dominierenden Wuchsformen verbunden ist. Gut etablierte, in ihrem Bestand stabile Pflanzengemeinschaften (Klimax- und Subklimax-Gesellschaften) sind gegenüber solchen Störungen ziemlich resistent. Dies ist auch bei Pionier-Gesellschaften der Fall, deren gesamte Ökologie ihre Prägung durch die ständig hohe Wahrscheinlichkeit standörtlicher Störungen erhält. Am empfindlichsten gegenüber den Einflüssen stärkerer floristischer Verschiebungen erweisen sich meist Pflanzengemeinschaften auf intermediärem Sukzessionsniveau. Hier kann das Hinzukommen neuer, noch wenig in das ökosystemare Gefüge eingepasster Arten erhebliche Auswirkungen auf die Weiterentwicklung zu verschiedenen Endstadien des Vegetationsschlusses haben. Mitunter wird dieser Prozess dann sogar zurückgesetzt auf frühere Stadien im langfristigen Entwicklungszyklus einer Vegetation, die typischerweise einen stärkeren Ruderalcharakter aufweisen, Lebensräume, deren auffälligstes Attribut die starke Prägung durch den Menschen ist. ❊

Turgorverlust (Welke) von *Impatiens parviflora* unter dem Einfluss eines halbstündigen Sonnenflecks im Waldunterwuchs (Hildener Heide, Hilden).
Foto: Rainer Lösch

Hybridisierung und Genfluss als Folge biologischer Invasionen

Walter Bleeker, Ulf Schmitz, Frank Buschermöhle

Biologische Invasionen gelten weltweit neben Habitatzerstörung durch Landnutzungsänderungen und Klimawandel als eine der wichtigsten Gefährdungsursachen der biologischen Vielfalt. In Mitteleuropa sind es jedoch nur wenige invasive Pflanzenarten, die zu einer Verdrängung einheimischer Arten oder zu einer negativen Beeinflussung der besiedelten Ökosysteme führen. Ein häufig verkanntes und schwer quantifizierbares Problem ist die Beeinflussung des Genpools heimischer Arten durch Hybridisierung und Genfluss. Durch die beabsichtigte Einfuhr oder unbeabsichtigte Verschleppung gebietsfremder Arten oder gebietsfremder Herkünfte heimischer Arten werden vorher existierende Isolationsbarrieren überwunden. Im Hinblick auf eine potenzielle Beeinflussung der genetischen Ressourcen von Wildpflanzen kann zwischen interspezifischer Hybridisierung (zwischen verschiedenen Arten) und intraspezifischer Hybridisierung (zwischen verschiedenen Herkünften der gleichen Art) unterschieden werden. Eine weitere mögliche Folge von Hybridisierung unter Beteiligung von Neophyten ist die Entstehung neuer, potenziell invasiver Arten.

Bislang sind insgesamt 136 interspezifische Hybride zwischen 83 Neophyten und 111 heimischen Arten der deutschen Flora bekannt. 78 dieser Hybride wurden bereits in Deutschland nachgewiesen. Die übrigen 58 wurden bislang nur im europäischen Ausland gefunden, obwohl beide Elternarten in Deutschland vorkommen. Interspezifische Hybridisierung zwischen Neophyten und einheimischen Arten kann zu einer Gefährdung der heimischen Art führen. Dabei sind zwei Prozesse voneinander zu unterscheiden: Zum einen kann die Befruchtung von Samenanlagen heimischer Arten mit Gameten von Neophyten den Samenansatz und damit den Fortpflanzungserfolg der heimischen Art vermindern (Auskreuzdepression). Dies ist vor allem dann zu erwarten, wenn der Neophyt wesentlich häufiger ist als die heimische Art. Zum anderen kann es im Falle der Bildung fertiler Hybride zu Rückkreuzungen mit den Elternarten kommen, die bewirken, dass durch die Übertragung von Fremdgenen mit fortschreitender Anzahl von Generationen immer weniger »reine« Individuen der Elternarten existieren (Introgression). Eine im Rahmen der BIOLOG-Forschung durchgeführte detaillierte Analyse der deutschen Flora im Hinblick auf eine mögliche Gefährdung heimischer Arten durch Hybridisierung mit Neophyten kam zu dem Ergebnis, dass 17 heimische Arten durch Hybridisierung mit Neophyten gefährdet sein könnten. Das bekannteste Beispiel ist der Kulturapfel *(Malus domestica)*, der regelmäßig als Neophyt in der freien Landschaft auftritt und mit dem Wildapfel *(Malus sylvestris)* hybridisiert.

Rorippa austriaca wurde als Modell zur Untersuchung genetischer Interaktionen zwischen invasiven und einheimischen Pflanzenarten genutzt. Eine gezielte Suche nach Hybriden in den Ausbreitungszentren von *R. austriaca* führte zur Lokalisation mehrerer Hybridzonen zwischen der invasiven *R. austriaca* und der einheimischen *R. sylvestris*. Überraschenderweise wurden die beiden Elternarten nicht an allen Wuchsorten des Hybriden, der als *R. x armoracioides* in die botanische Literatur eingegangen ist, vorgefunden. Insbesondere an der mittleren Elbe bildet der Hybrid große Populationen ohne die Elternarten. Mit dem Ziel der Analyse der ablaufenden Evolutionsprozesse wurden die unterschiedlichen Hybridpopulationen mit morphologischen, cytologischen und molekularen Methoden untersucht. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass Hybride zwischen *R. austriaca* und *R. sylvestris* unterschiedlich fit sind und dass es zu Introgression von Merkmalen der invasiven Art in das Genom der einheimischen Art kommt. Die Fitness der Hybride hängt entscheidend von der Ploidiestufe (triploide, tetraploide und pentaploide Hybride wurden gefunden) und von den jeweiligen Umweltbedingungen ab. Unter experimentellen Bedingungen waren insbesondere tetraploide Hybride von der Elbe besonders konkurrenzstark. Möglicherweise ist dieser Genotyp des Hybriden den Eltern in bestimmten Habitaten überlegen. Die Ergebnisse der Fallstudie *Rorippa* beleuchten das durch Hybridisierung zwischen invasiven und einheimischen Arten hervorgerufene Evolutionspotenzial.

***Rorippa x armoracioides* (Mitte) ist der morphologisch intermediäre Hybrid zwischen der invasiven *R. austriaca* (links) und der einheimischen *R. sylvestris* (rechts).**

Hybridisierung und Introgression zwischen gebietsfremden und gebietsheimischen Herkünften können auch innerhalb von Arten zu einer Gefährdung genetischer Ressourcen führen. Zahlreiche experimentelle Studien belegen, dass gebietsheimische Herkünfte in ihrem jeweiligen Habitat eine höhere Fitness aufweisen als gebietsfremde Herkünfte der gleichen Art. Prinzipiell sind bei Hybridisierung innerhalb von Arten jedoch auch positive Effekte denkbar, z. B. wenn die urwüchsigen Populationen unter einer genetischen Verarmung leiden (Inzuchtdepression). Die Detektion und Abgrenzung gebietsfremder Herkünfte innerhalb einer definierten Region ist in der Praxis problematisch, da häufig keine morphologischen Merkmale für die Abgrenzung zur Verfügung stehen. Wenn morphologische Merkmale nicht zur Verfügung stehen, können molekulare Marker zur Identifizierung gebietsfremder Arten und Herkünfte herangezogen werden. Für eine ganze Reihe von Zierpflanzen ist es schwierig, zwischen indigener Biodiversität und potenziell gebietsfremden Kulturflüchtlingen zu unterscheiden. Die Akelei *(Aquilegia vulgaris)* ist hier geradezu ein Paradebeispiel. Da die Akelei in Kultur zahlreiche Samen ausbildet und eine starke Neigung zur Verwilderung zeigt, muss man davon ausgehen, dass Gartenflüchtlinge der Akelei einen Einfluss auf die heute in der freien Landschaft realisierte Vielfalt haben. Anhand von zwölf Akelei-Populationen im Osnabrücker Land wurde getestet, inwieweit molekulare Marker als Werkzeuge zur Unterscheidung von urwüchsigen Populationen und Gartenflüchtlingen und zur Analyse von Hybridisierungsvorgängen geeignet sind. Als molekulare Marker kamen Mikrosatelliten zum Einsatz, die Analyse von acht Primerkombinationen lieferte 91 variable Merkmale. Ein Vergleich der Ergebnisse der molekularen Daten und der Fundorte erlaubte die Abgrenzung urwüchsiger Populationen von Populationen unbekannter Herkunft (potenzielle Gartenflüchtlinge). Im nördlichen Teutoburger Wald konnten drei indigene Populationen identifiziert werden. In zwei dieser Populationen konnten Hinweise auf Hybridisierung und Introgression mit Gartenflüchtlingen gefunden werden. In diesen Populationen kommt es also zu einer Beeinflussung genetischer Ressourcen durch Einkreuzung von Neophyten (Gartenflüchtlingen). Neben Veränderungen der Waldnutzung und einem hohen Nährstoffeintrag sind die noch vorhandenen urwüchsigen Akelei-Populationen im Osnabrücker Land möglicherweise zusätzlich durch Hybridisierung mit Gartenflüchtlingen gefährdet. Die tatsächlichen Folgen von Hybridisierung für die urwüchsigen Populationen – ob positiv oder negativ – lassen sich nur durch experimentelle Studien ermitteln. ✽

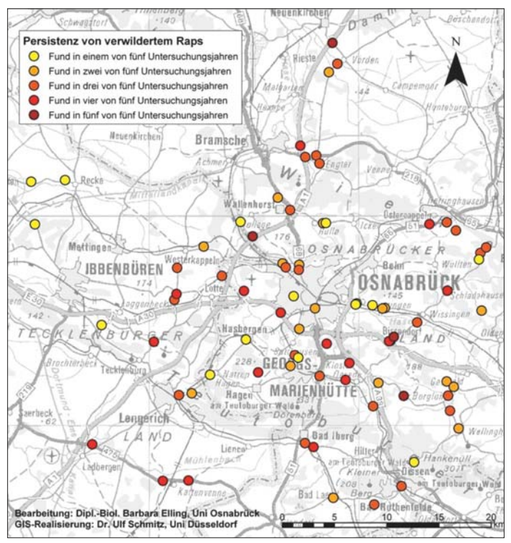
Gartenflüchtlinge der Akelei im Osnabrücker Land. Molekulare Marker belegen Hybridisierung und Genfluss mit urwüchsigen Populationen. Fotos: Walter Bleeker

Verwilderter Raps im Osnabrücker Land: ausdauernd und auskreuzungsfreudig

Barbara Elling, Maren Hochkirch, Walter Bleeker, Barbara Neuffer, Herbert Hurka

Kulturpflanzen, die aus dem Anbau verwildern, sind eine wichtige Quelle für Neophyten. Zahlreiche Kulturpflanzen kreuzen außerdem mit wilden Verwandten. Die möglichen Folgen dieses Genflusses sind vor allem hinsichtlich des Anbaus transgener Sorten umstritten. Dieser Studie lag die Fragestellung zugrunde, ob verwilderte Populationen von Raps über mehrere Jahre bestehen bleiben und somit als Trittstein für (Trans-)Genfluss in nah verwandte Arten dienen können.

Raps *(Brassica napus)* wird zurzeit in Deutschland auf ca. 1,46 Millionen Hektar angepflanzt und ist die wichtigste Ölpflanze in Europa. Er gehört zur Familie der Kreuzblütler (Brassicaceae) und ist aus einer spontanen Kreuzung aus Rübsen *(B. rapa)* und Kohl *(B. oleracea)* hervorgegangen. Echte Wildvorkommen von Raps sind nicht bekannt, allerdings führen Samenverluste bei Ernte und Transport zu zahlreichen verwilderten Populationen auf Äckern und in ruderalen Habitaten wie z. B. Straßenrändern, Baugebieten oder Gleisanlagen. Diese Populationen werden in der floristischen Kartierung oft nicht erfasst, und zu Verbreitung und Grad der Einbürgerung von verwildertem Raps gibt es wenige Daten. Raps kann mit zahlreichen nah verwandten Arten bei Handbestäubung kreuzen. Dieser genetische Austausch wird besonders hinsichtlich des möglichen Anbaus transgener Rapssorten in Deutschland kontrovers diskutiert. Es wird befürchtet, dass sich die transgenen Eigenschaften in verwilderten oder wilden Verwandten außerhalb des Anbaus etablieren. Wenn transgene Eigenschaften die Fitness von Populationen erhöhen, könnte daraus ein erhöhtes Invasionspotenzial von Raps oder kreuzkompatibler Arten in landwirtschaftlichen oder natürlichen Habitaten resultieren.



Wiederfund der verwilderten Rapspopulationen im Osnabrücker Land.

Verwilderter Raps

Insgesamt wurden 78 verwilderte Rapspopulationen zwischen 2004 und 2008 im Osnabrücker Land kartiert. Auf 80 % der untersuchten Fundorte wurde in mehr als einem Untersuchungsjahr verwilderter Raps gefunden. Etwa die Hälfte der Populationen eines Jahres wurden im Folgejahr wieder aufgefunden. Die Wiederfundrate und der Samenansatz (im Mittel 43 %) waren höher als in vergleichbaren Studien. Molekulare Untersuchungen identifizierten mehrfache Einschleppungen unterschiedlicher Sorten als wichtigste Quellen für die genetische Vielfalt verwilderter Rapspopulationen. Genetische und weitere Merkmale, die von denen der untersuchten Sorten abweichen (Blühbeginn, Blütenfarbe), deuten auf zusätzliche Quellen für die genetische Vielfalt verwilderter Rapspopulationen hin, wie das Auftreten nicht untersuchter Sorten und die Überdauerung alter Sorten im Bodensamenspeicher. Hybride zwischen den untersuchten Sorten zeigen, dass sich verwilderte Populationen selbst reproduzieren können. Zusammengenommen ergeben die Fähigkeiten zur Überdauerung und Selbsterhaltung, die hohe genetische Vielfalt sowie die Möglichkeit, mit verwandten Arten zu hybridisieren, dass verwilderte Rapspopulationen ein höheres Potenzial zu evolutionären Entwicklungen besitzen können als vormals angenommen.

Potenzielle Kreuzungspartner

Acht verwandte Arten, die als Kreuzungspartner von Raps diskutiert werden, wurden an denselben Standorten wie Raps im Osnabrücker Land aufgefunden, sechs davon in gemischten Beständen mit Raps.

Verwilderter Raps am Straßenrand (links) und Raps benachbart zu verwildertem Rettich (rechts) im Osnabrücker Land. Fotos: Barbara Elling

Hierzu gehören die Kulturpflanzen Rübsen, Kohl, Rettich *(Raphanus sativus)* und weißer Senf *(Sinapis alba)* sowie die beiden Wildarten Ackersenf *(S. arvensis)* und Hederich *(R. raphanistrum)*. Im Osnabrücker Land sind Rübsen und Hederich die beiden Arten, die am wahrscheinlichsten von Hybridisierung und Introgression (die Aufnahme von Genen von einer Art in den Genpool der anderen durch Rückkreuzung von Hybriden mit einem Elter) mit Raps betroffen sind. Hederich wurde an nur einem einzigen Fundort im Untersuchungsgebiet kartiert und blühte dort überschneidend mit seinen beiden potenziellen Hybridisierungspartnern Raps und Rettich. In Niedersachsen ist Hederich selten und steht auf der roten Liste als gefährdete Pflanzenart.

Rübsen wird im Osnabrücker Land kultiviert und verwildert aus dem Anbau. Die Samenfarbe einer Rübsenpopulation deutet außerdem auf einen Bestand der Wildrübe *(B. rapa* ssp. *campestris)*, der wilden Ausgangsform der europäischen Kulturformen des Rübsens, im Untersuchungsgebiet hin. In zwei gemischten Beständen von Raps (tetraploid) und Rübsen (diploid) konnten zwischenartliche Hybridnachkommen (F_1, triploid) nachgewiesen werden, mehrere davon in der Nachkommenschaft des potenziellen Wildrübenbestandes. Neben diploiden Rübsen wurden tetraploide Rübsen (gezüchtete Sorten mit doppeltem DNA-Gehalt) in zahlreichen kultivierten und verwilderten Beständen im Osnabrücker Land kartiert. Hinsichtlich des Hybridisierungspotenzials von Raps mit Rübsen wurden Unterschiede in der Ploidie bisher nicht beachtet. Ein Feldversuch im Botanischen Garten der Universität Osnabrück zeigte, dass Raps und tetraploider Rübsen miteinander kreuzen und die resultierenden Nachkommen lebensfähig und fertil sind. Tetraploide Rübsensorten werden als Zwischenfrüchte angebaut und sind Bestandteil verschiedener Saatgutmischungen für Blühstreifen und mehrjährige Wildäcker. In diesen Mischungen können unterschiedliche Sorten von Rübsen (Rüben- und Blattformen, diploid und tetraploid), Raps (Ölraps, Futterraps, Steckrübe), Futterkohl, weißem Senf und Ölrettich sowie weitere Futterpflanzen enthalten sein.

Genaustausch und transgener Raps

Zwischen Wildarten, Unkräutern und nah verwandten Kulturformen besteht vermutlich seit Beginn des Anbaus ein Austausch von Genen. Ob dies für die genetische Integrität verwandter Arten problematisch ist, hängt vor allem von ihrer Häufigkeit ab und damit von der Fähigkeit, ein gewisses Maß an Genaustausch kompensieren zu können. Hybridisierungen können zur evolutionären Entwicklung von Hybridarten mit neuen Eigenschaften führen. Eine mögliche Bedrohung der Biodiversität besteht, wenn die neuen Hybridarten Dynamiken und Strukturen natürlicher Gemeinschaften beeinflussen, z. B. konkurrenzfähiger sind und andere Arten verdrängen. Unkrautprobleme durch Genfluss zwischen Kultur- und Wildpflanzen konnten bei zahlreichen Arten beobachtet werden und sind auch eine mögliche Folge des transgenen Anbaus. Beim Anbau von gentechnisch verändertem Raps im Untersuchungsgebiet werden sich die transgenen Eigenschaften in verwilderten Rapspopulationen außerhalb des Anbaus etablieren, mit hoher Wahrscheinlichkeit in nah verwandte Arten (wie Rübsen) auskreuzen und in ihnen überdauern. Mehrere Studien haben gezeigt, dass transgene Herbizidresistenzen die Fitness des Trägers in natürlichen Habitaten (ohne Herbizideinsatz) nicht erhöhen. Andere Transgene, die Selektionsvorteile wie eine gesteigerte Resistenz gegen Krankheiten, Schädlinge oder abiotischen Stress (z. B. Dürre-, Salztoleranz) vermitteln, können eher zu einem erhöhten Invasionspotenzial in natürlichen Habitaten führen. Das Hybridisierungspotenzial von Raps im Untersuchungsgebiet könnte reduziert werden, wenn er nicht mit nah verwandten Arten gemeinsam in Saatgutmischungen Verwendung finden würde. ✽

Neophyten als Indikatoren des globalen Wandels

Ulf Schmitz, Rainer Lösch

Der Begriff »Globaler Wandel« umfasst neben der Klimaerwärmung auch weitere anthropogen beeinflusste Änderungen im Naturgeschehen. Dazu zählen der steigende Floren- und Faunenaustausch durch die Zunahme des weltweiten Handels ebenso wie Landnutzungsänderungen und von Menschen verursachte Änderungen in Wasser- und Nährstoffkreisläufen. Viele Neophyten können gleich in mehrfacher Hinsicht von solchen Auswirkungen des globalen Wandels profitieren. So haben exotische Arten, die zuvor durch Handelsaktivitäten absichtlich eingeführt oder unabsichtlich eingeschleppt wurden, es oftmals leichter, sich in den durch Menschen veränderten Lebensräumen der Kulturlandschaft auszubreiten als in naturnahen Habitaten.

Wie sich die Erwärmung des Klimas auf die Einbürgerung von Neophyten auswirkt, konnte am Beispiel der überwiegend neuweltlichen Gattung *Amaranthus* (Fuchsschwanz) gezeigt werden. Zahlreiche neophytische Arten dieser Gattung finden sich in Mitteleuropa mit unterschiedlichem Grad der Einbürgerung. Die Einbürgerungsgeschichte dieser Arten zeigt, dass zwar alle in Mitteleuropa gefundenen Arten bereits im 19. Jahrhundert erstmals nachgewiesen wurden, doch nur einer einzigen Art – dem aus Regionen mit gemäßigtem bis mediterran-subtropischem Klima stammenden *Amaranthus retroflexus* – gelang es, sich unmittelbar nach der ersten Einschleppung einzubürgern, d. h. sich aus eigener Kraft fortzupflanzen und auszubreiten. Einer Gruppe weiterer Arten, darunter *Amaranthus powellii* und *Amaranthus albus*, gelang die Einbürgerung erst in den 1980er bis 1990er Jahren, also erst etwa einhundert Jahre nach ihrer ersten Einschleppung. Diese Arten stammen aus Regionen mit mediterran-subtropischem Klima. Einer dritten Gruppe von Arten aus Regionen mit noch wärmerem, tropischem Klima ist es bis heute nicht gelungen, sich einzubürgern. Erneute Nachweise dieser unbeständigen (ephemeren) Arten sind ausschließlich auf erneute Einschleppungen zurückzuführen. Der Klimawandel hat also bereits bewirkt, dass sich thermophile Arten der zweiten Gruppe in Mitteleuropa einbürgern konnten, nachdem das Klima in den 1980er und 1990er Jahren ein geeignetes Wärmeniveau erreicht hatte. Experimentelle Untersuchungen zeigten, dass solche Einbürgerungsprozesse dadurch beschleunigt werden, dass schon geringe Erhöhungen der Durchschnittstemperatur in der Größenordnung von 0,5 °C zu erheblichen Steigerungen in der Wuchshöhe und der Samenproduktion solcher wärmeliebenden neophytischen Arten führen können.

Nachdem das Klima in den 1980er Jahren warm genug geworden war, konnte sich *Amaranthus powellii* am Rheinufer einbürgern. In den vorangegangenen einhundert Jahren war die Art zwar immer wieder eingeschleppt worden, kam jedoch nur unbeständig vor.
Foto: Ulf Schmitz

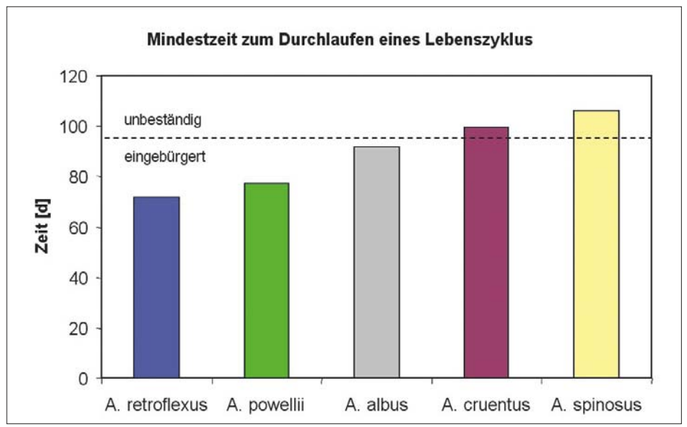
Die Erwärmung des Klimas bewirkt eine Verlängerung der Vegetationsperiode, die dazu geführt hat, dass eine wärmeliebende Art wie *Amaranthus cruentus* es seit wenigen Jahren immer wieder schafft, in Mitteleuropa reife Samen zu bilden.
Foto: Ulf Schmitz

Weitere Untersuchungen zeigten, dass der Einbürgerungsgrad von *Amaranthus*-Arten mit der benötigten Zeit zum Durchlaufen eines Entwicklungszyklus korreliert. Ihre Entwicklungsmöglichkeit an Flussufern, ihren (noch) bevorzugten Standorten, beginnt mit dem sommerlichen Rückzug des Hochwassers von den Uferrändern und wird später im Jahr durch den Einbruch der kalten Jahreszeit begrenzt. Je länger die Pflanzen unter mitteleuropäischen Klimabedingungen brauchen, um von der Keimung zur Produktion eigener Samen zu gelangen, desto geringer ist der Einbürgerungsgrad der entsprechenden Art. Der Unterschied zwischen eingebürgerten Arten *(Amaranthus albus)* und unbeständigen Arten *(Amaranthus cruentus)* liegt dabei in der Größenordnung von nur einer Woche. Eine durch Klimaveränderungen bedingte Verlängerung der Vegetationsperiode kann also auf diese Weise die Etablierung bislang unbeständiger Arten ermöglichen. Aufgrund dieser Befunde wurde zu Beginn des Jahrtausends prognostiziert, dass die nächste Fuchsschwanz-Art mit Einbürgerungstendenzen *Amaranthus cruentus* sein würde. Diese Prognose hat sich inzwischen bewahrheitet, da diese Art schon wenige Jahre später in größerer Anzahl auf den Sand- und Kiesbänken entlang des Rheins nachgewiesen werden konnte. Zuvor hatten sich Funde von *Amaranthus cruentus* fast ausschließlich auf ephemere Vorkommen in Hafenanlagen beschränkt.

Die zunehmende Etablierung wärmeliebender und kälteempfindlicher Arten zeigt, dass sich der Klimawandel schon im Zeitraum weniger Jahrzehnte in der Zusammensetzung von Flora und Vegetation bemerkbar machen kann. Die weiter fortschreitende Erwärmung des Klimas wird in Zukunft die Einbürgerung vieler weiterer thermophiler Arten begünstigen. Die meisten dieser Arten stellen keine Bedrohung für hiesige Ökosysteme dar, da sie recht konkurrenzschwach sind und nur in offenen und lückigen Habitaten gedeihen können, in denen einheimische Arten wenig Konkurrenz bieten.

Andererseits kann durch das Auftreten von Neophyten, wie im Fall der Beifußblättrigen Ambrosie *Ambrosia artemisiifolia*, die sich derzeit in der Initialphase ihrer Etablierung befindet, ein medizinischer und ökonomischer Schaden entstehen. Durch die Verlängerung der Vegetationsperiode ist es dieser Art in Mitteleuropa inzwischen problemlos möglich, reife Samen zu bilden. Die Einbürgerung solcher thermophiler Arten ist ein Symptom einer sich ändernden Umwelt. In einzelnen Fällen können sie Ursache von Entwicklungen werden, die für den Menschen oder die Natur negativ sind, doch in der Mehrheit sind die Floren-Neubürger vor allem auffällige Indikatoren der sich verändernden Umweltbedingungen. ✽

Der Einbürgerungsgrad neophytischer *Amaranthus*-Arten korreliert mit der benötigten Entwicklungsdauer von der Keimung bis zur Samenbildung. Schon eine geringe Verlängerung der Vegetationsperiode kann zur Einbürgerung weiterer Arten führen.



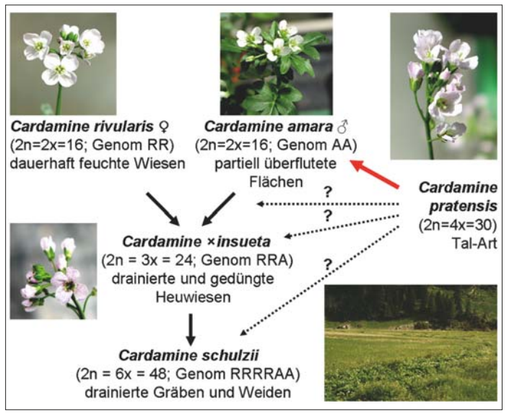
Arealausbreitung entlang von Höhengradienten – Wiesenschaumkraut am Urnerboden

Barbara Neuffer, Ulrich Mönninghoff, Herbert Hurka

Die Auswirkungen des ablaufenden Klimawandels werden zunehmend sichtbar. Dies führt in Gebirgslagen zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode, wodurch es zu einem Höherwandern von Pflanzenarten kommt. Diese Pflanzen können sich etablieren und heimische Arten aus ihren Lebensräumen verdrängen. Ebenso kann es auch zu Hybridisierungen zwischen einwandernden und nativen Arten kommen. Das Wiesenschaumkraut ist vor 15 Jahren auf dem Urnerboden angekommen.

Die Situation auf dem Urnerboden (Schweiz) ist komplex. Das Plateau des Urnerbodens hat eine Länge von etwa 5,5 Kilometern und befindet sich auf 1.310 bis 1.430 Meter NN. Im Winter ist die Fläche rund 6 Monate schneebedeckt. Das Plateau wird schon seit vielen Jahrhunderten als Weideland genutzt – der Beginn dieser Nutzung ist nicht bekannt. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts waren die Landwirte nur von Mai bis Oktober auf dem Urnerboden, da Überwintern aus politischen Gründen nicht erlaubt war. Im Winter ist die Hochebene nicht erreichbar, die Hänge zum Tal sind lawinenträchtig. Seit dem Bau einer Kirche auf dem Urnerboden im Jahr 1877 ist den Landwirten das Überwintern erlaubt.

Fundstellen der invasiven *Cardamine pratensis* und der indigenen Schaumkrautarten auf dem Urnerboden (2001). Foto: Ulrich Mönninghoff



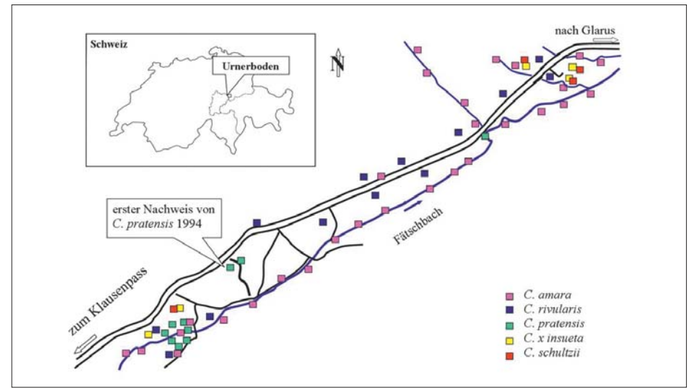
Hybridisierungsgeschehen zwischen Schaumkrautarten am Urnerboden.

Ursprünglich gab es auf dem Urnerboden zwei indigene *Cardamine*-Arten: die diploide *C. rivularis* und die diploide *C. amara.* Die Situation am Urnerboden wird seit etwa 40 Jahren von Kristina Urbanska und Elias Landolt (ETH Zürich) beobachtet. Der Artbildungsprozess ist cytologisch und molekular von der Züricher und der Osnabrücker Gruppe gut untersucht. 1994 wurde von Landolt erstmalig die tetraploide Talart der *C. pratensis* kartiert, und diese begann sich auszubreiten. Die Invasion und Ausbreitung der Talart auf dem Urnerboden hat bereits zur Bildung von Kontaktzonen mit den indigenen Arten geführt. Dies könnte sowohl indirekte als auch direkte evolutionäre Konsequenzen haben. Ein natürliches Evolutionsexperiment hat auf dem Urnerboden begonnen: Wir haben die seltene Möglichkeit, die Einwanderung einer Art entlang von Höhengradienten und die daraus resultierenden Konsequenzen zu beobachten.

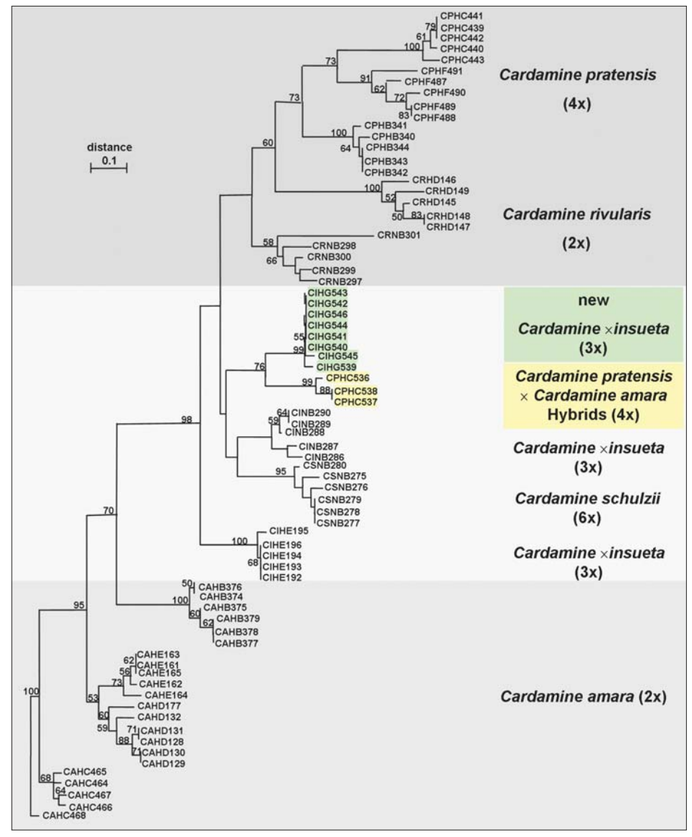
Die Ausbreitung der Tieflandart auf dem Urnerboden wurde mit Felduntersuchungen und Vegetationsanalysen beobachtet. Konsequenzen wie Hybridisierung mit den indigenen Arten und Introgression konnten morphologisch nicht festgestellt werden. Mit molekularen Untersuchungsmethoden jedoch, z. B. mit dem AFLP-Fingerabdruckverfahren, haben wir molekulare Merkmale nachweisen können, die von der tetraploiden Tieflandart *Cardamine pratensis* in die indigene *C. amara* einwandern. Dies ist der erste Nachweis des postulierten Genflusses zwischen nativen und invasiven Taxa auf dem Urnerboden.

Recherchen bezüglich der Wiesenbewirtschaftung ergaben, dass manchen Bauern Wiesen sowohl auf dem Urnerboden als auch in tieferen Tallagen gehören. Natürlich werden zur Mahd die gleichen Geräte verwendet. An den Schneideblättern bleiben Pflanzenreste hängen, so kann das auch mit Rhizomen oder Saatgut von *Cardamine pratensis* passieren. *C. pratensis* kann sich sowohl durch Rhizome als auch durch Saatgut vermehren. Solange die Vegetationsperiode am Urnerboden zu kurz war, konnte sich die Talart nicht etablieren. Dies hat sich mit einer deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode um mindestens 14 Tage geändert. Eine konsequente Reinigung oder der Einsatz unterschiedlicher Geräte könnte solchen Arealverschiebungen zwar bis zu einem gewissen Grade vorbeugen, doch der Veränderung der Arealgrenzen von Pflanzenarten im Zuge von klimatischen Veränderungen ist kaum dauerhaft vorzubeugen.

In der Fallstudie der Schaumkräuter am Urnerboden können zum einen die Konsequenzen der globalen klimatischen Veränderungen für die Vegetation direkt beobachtet werden, und zum anderen ist diese Fallstudie eine Möglichkeit, Evolutionsvorgänge in der Natur zu beobachten. ✻



Kartierung auf dem Urnerboden (Stand 2001).



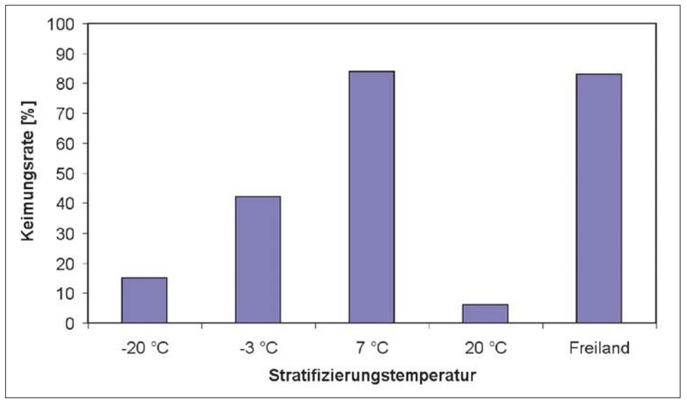
Die Neighbor-joining-Analyse von 76 AFLP-Phänotypen zeigt drei potenzielle Hybride zwischen der einwandernden Talart *C. pratensis* und der indigenen *C. amara*. Die grün unterlegten *C. x insueta*-Individuen wurden 2003 erstmals neu kartiert.

Ökologische Ansprüche von *Ambrosia*

Rainer Lösch, Marion Leiblein, Ulf Schmitz

Ambrosia artemisiifolia, Traubenkraut, ist ein aus Nordamerika stammender einjähriger Neophyt. In Europa eingeschleppt, breitete er sich zunächst vor allem in sommerwarmen, aber nicht übermäßig sommertrockenen Regionen aus (Südfrankreich, Po-Ebene, Ungarische Tiefebene) und zeigt in jüngerer Zeit Ausbreitungstendenzen in den temperaten Klimabereich. Das Vordringen erfolgt hier nicht in breiter Front, sondern von vielen Einzellokalitäten aus, im Sinne einer Guerillastrategie der Raumerschließung. Ursache hierfür ist das immer wieder erfolgende unbeabsichtigte Einbringen der *Ambrosia*-Früchte nach Mitteleuropa als Verunreinigung von Vogelfutter, welches in Ländern mit umfangreichen Invasivvorkommen der Art produziert wird. Da eine einzelne Pflanze typischerweise etwa 4.000 einsamige Früchte produziert (die aus Kanada berichtete und in der Literatur kolportierte Zahl von 62.000 ist ein untypischer Extremwert), deren Auskeimen durch mäßige Winterkälte sogar gefördert wird, können sich im Laufe von Jahren, ausgehend von einer Einzelpflanze, große Lokalpopulationen entwickeln. Nach Keimung im späten Frühjahr dauert die Jungpflanzenphase relativ lange, und kräftiges Höhen- und Verzweigungswachstum erfolgt erst im Hochsommer. *Ambrosia* kommt nur im Kurztag zur Blüte, sodass die generative Phase in den mitteleuropäischen Herbst fällt. Ihre Pollen sind stark allergen, weshalb das Traubenkraut als unerwünschter invasiver Neophyt gilt. Die Ausbildung reifer Früchte muss vor der Frostperiode beendet sein. Das Zeitfenster der saisonalen Entwicklung ist also durch Photoperiode und den Beginn der kalten Jahreszeit begrenzt – der Temperaturanstieg unter veränderten Klimabedingungen war förderlich für das Vordringen der Art nach Mitteleuropa und wird dies weiter intensivieren.

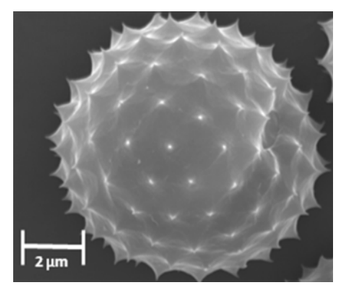
***Ambrosia artemisiifolia,* Traubenkraut.** Foto: Ulf Schmitz



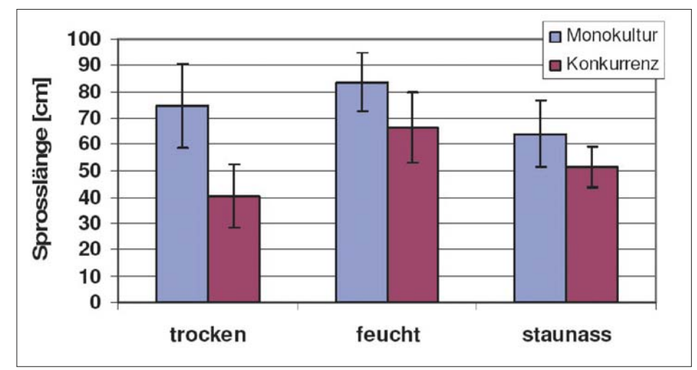
Keimung von *Ambrosia*-Achänen nach mehrwöchiger Lagerung unter Kälte- bzw. Raumtemperaturbedingungen sowie nach Überdauern der Wintermonate unter Freilandbedingungen.

Experimentelle Untersuchungen im Rahmen des BIOLOG-Programms zeigten, dass *Ambrosia* optimal auf feuchtem, aber gut durchlüftetem Boden wächst. Besondere Ansprüche an basische oder saure Bodenreaktion bestehen nicht. Auf nassem Substrat kümmern die Pflanzen und zeigen bis zu 50 % reduzierte Photosyntheseraten. Dies resultiert zum Teil aus dem unter solchen Bedingungen geringeren Chlorophyllgehalt, der auch bei Anzucht auf trockenem Boden vermindert ist (staunass: durchschnittlich 6 mg Chlorophyll / g Trockenmasse; trocken: 7 mg / g; feuchter, gut durchlüfteter Boden: 8 mg / g). Die maximalen Assimilationsraten liegen bei Wuchs auf feuchtem Gartenboden bei 30 µmol CO_2-Aufnahme / m^2 Blattfläche und Sekunde, auf trockenem Boden nur bei 20 µmol m^{-2} s^{-1}, unter Staunässe bei 15 µmol m^{-2} s^{-1}. Die Lichtansprüche hierfür sind bemerkenswert gering, da schon bei Vormittagshelligkeiten von Sonnentagen (rund 300 µmol Photonen m^{-2} s^{-1}) eine Sättigung der photosynthetischen CO_2-Aufnahme erreicht ist. Die optimalen Lufttemperaturen für maximale Photosynthese liegen mit 20 bis 30 °C für Pflanzen im temperaten Klimaraum relativ hoch, können aber an vielen Sommertagen in Mitteleuropa durchaus erreicht werden. Eine weitere Klimaerwärmung am Kontinent wird sich hierfür weiter positiv auswirken. Weniger zuträglich für Wachstum und Gesamtvitalität der *Ambrosia*-Pflanzen erwiesen sich höhere Bodentemperaturen. Die Art kann zwar kurzzeitige Bodenerwärmung bis zu 45 °C noch ohne Schaden überstehen, doch stärkeres Wachstum erfolgt vor allem bei Bodentemperaturen unter 20 °C. Die höchste Biomasse-Entwicklung kommt zustande, wenn die Pflanzen ohne stärkere Konkurrenz – durch andere Arten ebenso wie durch Individuen der eigenen Art – wachsen können, d. h. in lückigen Beständen, wie sie typischerweise an Ruderalstandorten und auf anderen Pionierflächen der Vegetationsentwicklung gegeben sind (Sand- und Kiesbänke der Flussufer, frühe Sukzessionsstadien nach Störungen, Äcker und Felder). Gleichwohl kamen im Monokulturexperiment die dann ziemlich niedrig wachsenden Pflanzen selbst bei einer Individuendichte von 200 Pflanzen / m^2 noch zu Blüten- und Fruchtansatz.

Die im Experiment aufgezeigte Existenzamplitude von *Ambrosia artemisiifolia* legt den Schluss nahe, dass die weitere Ausbreitung der Art in Deutschland sehr wahrscheinlich ist. Durch ein recht tief reichendes Wurzelsystem (im Experiment bis zur 70 cm-Tiefe der Kulturgefäße noch sehr stark entwickelt) ist es ihr durchaus möglich, auch etwas trockenere und vor allem nährstoffärmere Standorte intensiv zu nutzen. Eine hohe photosynthetische Leistungsfähigkeit auch bei nur geringer Einstrahlung erlaubt den Wuchs auch an Halbschattenstandorten. Allerdings zeigt *Ambrosia* Schwierigkeiten, sich bei Keimung in dicht geschlossener Vegetation hinreichend kräftig zu entwickeln. Individuenarme Populationen, die in solchen Habitaten aufkommen, erlöschen meist nach wenigen Jahren. Standorte mit weniger dichtem Bestandsschluss aber bieten der Art langfristig gute Etablierungschancen – und dies gilt gerade auch im menschlichen Siedlungsumfeld. Die weitere Steigerung des hier generell etwas wärmeren Temperaturklimas durch die langfristige Klimaerwärmung wird es *Ambrosia* ermöglichen, sich über ihre derzeitigen, durch Regionalklima und Substrat ausgezeichneten Massierungsräume – vor allem in der nördlichen Oberrhein-Ebene, der Lausitz und Südost-Bayern – hinaus großflächig in Deutschland auszubreiten. Die Beseitigung von Einzelpflanzen und Kleinpopulationen in bisher von der Art noch nicht großflächig besiedelten Gegenden kann diese Entwicklung jedoch wirkungsvoll verzögern, während eine Wiederausrottung von in hoher Individuenzahl vorhandener und damit in der Jahresabfolge reichlich Samennachschub produzierender Bestände kaum noch erfolgreich sein dürfte. ✽



Pollenkorn von *Ambrosia artemisiifolia*.
Foto: G. Schuster, R. Lösch



Sprosswachstum von *Ambrosia artemisiifolia* in einer Vegetationsperiode unter Monokultur und in Konkurrenz mit *Artemisia vulgaris*.

Ambrosia: Vom Vogelfutter zum Risikomanagement

Uta Berghöfer, Felix Rauschmayer

Mit der aus Nordamerika stammenden Ambrosie *(Ambrosia artemisiifolia)* stellt eine in Deutschland vermehrt aufkommende Pflanze die Gesellschaft vor eine große Herausforderung, denn über ihre allergieverursachenden Pollen stellt sie eine Bedrohung für die menschliche Gesundheit dar. In ihrem Herkunftsgebiet Nordamerika ist sie der häufigste Allergieauslöser. Der Mensch eröffnet der Ambrosie immer wieder neue Flächen wie gemähte Straßenränder, Neubaugebiete oder Ackerbrachflächen. Vor allem aber werden durch menschliche Aktivitäten ständig neue Samen eingebracht. Dies geschieht hauptsächlich über mit Ambrosiasamen verunreinigtes Vogelfutter. Vermutlich begünstigt zudem der Klimawandel die weitere Ausbreitung der Ambrosie.

Mit Samen der Beifuß-Ambrosie verunreinigtes Sonnenblumenkerne-Vogelfutter.
Foto: B. Alberternst, S. Nawrath

Die Ambrosie stellt eine neue Art von Gesundheitsrisiko dar. Das Risiko, das durch Pollen einheimischer Pflanzen (z. B. Birke oder Gräser) verursacht wird, wird als gegeben hingenommen; das Vorkommen dieser Pflanzen wird nicht infrage gestellt. Hier werden lediglich adaptive und kurative Maßnahmen ergriffen (Polleninformationsdienst, Desensibilisierung, Milderung von allergischen Symptomen durch Antiallergika), wobei der Handlungsfokus auf der individuellen Ebene liegt. Die Kosten jedoch werden sowohl individuell als auch von der Allgemeinheit getragen (direkte und indirekte Gesundheitskosten). Erst bei der Ambrosie als gebietsfremder Art wird überhaupt diskutiert, inwieweit es möglich und sinnvoll ist, bereits die Ausbreitung der Pflanze zu verhindern. Insofern besteht bei der Risikowahrnehmung und -politik eher eine Parallele zu »menschengemachten« Stoffen wie chemischen Stoffen oder genveränderten Organismen. Es werden Maßnahmen diskutiert, die das Vorkommen der Pflanze eindämmen oder verhindern sollen, was den Fokus von der individuellen auf die gesellschaftliche Ebene verlagert und den Staat als Akteur in den Vordergrund bringt.

Mit gebietsfremden oder invasiven Arten beschäftigen sich üblicherweise Naturschutz und Landwirtschaft. In der Landwirtschaft wird die Ambrosie bislang als Unkraut behandelt, das keiner besonderen Handhabe bedarf. Handlungsbedarf besteht jedoch vonseiten der Verbraucher- und Gesundheitspolitik, wo aber die rechtlichen Grundlagen fehlen. Im Umgang mit der Ambrosie ergeben sich folglich besondere Herausforderungen, da sich die schädlichen Pflanzenbestandteile (Pollen) von den Bestandteilen unterscheiden, über die der Eintrag erfolgt (Samen) und über die eine Bekämpfung möglich ist (die Pflanze selbst), siehe Tabelle:

Pflanzenbestandteil Ambrosie	Gesundheits-problem	Naturschutz-problem	Landwirtschaftliches Problem	Eintragsweg über	Lösungsansätze
Samen	Nein	Nein	Nein	Ja	Samenausbringung verhindern
Pflanze	Bedingt	Nur Ausnahmen	Bedingt (wenn große Bestände)	Bedingt (wenn große Bestände)	Bestände bekämpfen durch Ausreißen, Mahd und Herbizideinsatz
Pollen	Ja	Nein	Nein	Nein	Adaptive und kurative Maßnahmen

Die Prävention der weiteren Einbringung durch Vogelfutter und Saatgut obliegt anderen Akteuren als die Bekämpfung der Pflanzenbestände. Da der Samen als solcher nicht gesundheitsschädlich ist, findet sich im Futtermittelrecht bislang keine hinreichende Begründung für das Verbot von Ambrosiasamen in Vogelfutter. Bislang wird lediglich an die freiwillige Kontrolle der Hersteller appelliert, was aufgrund der Produktions- und Firmenstruktur jedoch nur sehr begrenzt erfolgreich ist. Auch die Pflanze, welche zwar den Pollen erzeugt, ist selbst nur bedingt problematisch (Kontaktallergie), und daher greift auch das Pflanzenschutzrecht nicht, durch das eine Bekämpfung der Pflanze verordnet werden könnte.

Für eine politische Regelung in Deutschland ergeben sich daraus folgende Handlungsoptionen:

1. Beschränkung auf Aufklärungsarbeit (adaptive Lösung wie bei Birke, Gräsern usw.)
2. Zusammenarbeit jenseits eindeutiger rechtlicher Aufträge
3. Änderung der Rechtsgrundlagen (langwierig, und für Einzelfälle unangemessen)

Die Langwierigkeit von Gesetzesänderungen hängt zudem damit zusammen, dass – anders als in der Schweiz, wo sowohl eine Melde- und Bekämpfungspflicht für die Ambrosie verordnet wurde als auch Ambrosiasamen im Vogelfutter verboten wurden – Rechtsänderungen oft nur auf europäischer Ebene erfolgen können. Soll in Deutschland das Vorkommen der Ambrosie ohne langwierige Gesetzesänderungen eingedämmt oder verhindert werden, ist folglich eine freiwillige Zusammenarbeit der verschiedenen Sektoren notwendig.

Bisherige Aktivitäten in Deutschland

Auf der deutschen Bundesebene gibt es keine koordinierte Strategie. Einzelne Bereiche (Futtermittel, Pflanzenschutz) sind damit beschäftigt, die Rechtsgrundlagen zu prüfen, zum Teil auf EU-Ebene. Vonseiten des Naturschutzes ist diese Prüfung bereits negativ abgeschlossen: Der Naturschutz beobachtet das Thema nach wie vor, lehnt eine Handlungspflicht jedoch ab, da es zu keiner Verdrängung von einheimischer Flora durch Ambrosia kommt. Auffällig ist, dass bislang keine Aktivitäten des Bundesgesundheitsministeriums bekannt sind. Im Gesundheitsbereich reagierten der Deutsche Wetterdienst sowie die Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst: Ambrosia ist mittlerweile auf den vier regionalen Pollenflugkalendern und in einer Übersicht für Gesamtdeutschland registriert.

Auf Initiative von Wissenschaftlern wurde 2005 die bundesweite »Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Ambrosia« unter Federführung des Julius-Kühn-Instituts gegründet. Diese Arbeitsgruppe dient vor allem als Informationsplattform für die verschiedenen Akteure aus Wissenschaft und Politik.

Bayern

Die Reaktionen der deutschen Bundesländer sind sehr unterschiedlich. Während einige Länder kaum oder gar nicht reagieren – zum Teil auch wegen geringen Problemdrucks – hat am anderen Ende der Skala Bayern mit einem umfassenden Aktionsprogramm jenseits neuer rechtlicher Grundlagen reagiert. Ende 2006 wurde unter Federführung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) eine Arbeitsgruppe ins Leben gerufen, zu der drei weitere Ministerien eingeladen waren. Bereits 2007 hat diese interministerielle Arbeitsgruppe ein Aktionsprogramm erarbeitet, das ein umfassendes Melde-, Monitoring- und Bekämpfungssystem vorsieht.

Brandenburg

Anders jedoch gestaltet sich die Problematik in Brandenburg als dem Bundesland mit dem größten Ambrosiavorkommen in Deutschland. Eine Initiative zur Klärung der Zuständigkeiten, die vom Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz ausging, hat Anfang 2009 zur Einrichtung der Arbeitsgruppe Ambrosie für das Land Brandenburg geführt. Vertreten sind Referenten von vier Ministerien und fünf Fachbehörden. Weitere Gespräche und die Erarbeitung eines Aktionsprogramms für Brandenburg sind geplant. Im Vergleich zu Bayern stellt sich die Lage hier jedoch schwieriger dar: Während die Probleme deutlich größer sind – Experten gehen von 1.000-mal mehr Pflanzen in Brandenburg als im deutlich größeren Bayern aus – , waren die zur Verfügung stehenden Ressourcen schon vor der Finanzkrise deutlich kleiner. Zudem ist der ministerielle Zuschnitt schwieriger, da das Gesundheitsministerium von Landwirtschaft und Umwelt, die mit dem Verbraucherschutz das MLUV bilden, getrennt ist.

Außerdem gibt es in Brandenburg ein Gebiet (Niederlausitz und Region Cottbus), in dem die Ambrosie bereits großflächige Bestände bildet. Eine angemessene Bekämpfungsstrategie muss deshalb von Anfang an langfristig geplant werden, da sich die Bestände auch ohne weiteren Eintrag von Samen ausbreiten und außerdem die bereits vorhandenen Samenbanken im Boden sehr langlebig sind (bis zu 40 Jahre). Erschwerend kommen weitere Zielkonflikte hinzu:

a) Herbizideinsatz versus Ökolandbau: Das großflächige Vorkommen der Ambrosie kann nur mit großflächigem und wiederholtem Einsatz von Herbiziden verringert werden. Dies steht im Gegensatz zum umwelt- und naturschutzpolitisch erwünschten ökologischen Landbau.
b) Effektives Mähen versus Eindämmen des Pollenflugs: Versuche in Bayern haben gezeigt, dass der Mahdzeitpunkt nach dem (gesundheitspolitisch unerwünschten) Pollenflug liegen muss, um die Samenproduktion der Ambrosie überhaupt reduzieren zu können.
c) Verstärkte Öffentlichkeitsarbeit versus Tourismus: Es wird befürchtet, dass der Tourismus durch eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit gefährdet sei.

Die Beispiele Bayern und Brandenburg zeigen deutlich, dass eine politische Reaktion jenseits eindeutiger rechtlicher Grundlagen nur unter besonderen Bedingungen effektiv möglich ist. Es ist jedoch fraglich, ob eine Bekämpfung der Ambrosia auf freiwilliger Basis der Langfristigkeit des Problems gerecht werden kann. ❊

Gesundheitskosten durch die Beifuß-Ambrosie

Wanda Born

Ökonomische Schäden durch invasive Arten rücken seit einigen Jahren immer stärker in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses. Aktuelle Zahlen belegen, dass Kosten, die durch eingebrachte und hier natürlicherweise nicht vorkommende Arten verursacht werden, immens sind. Für Europa werden Kosten von jährlich mindestens 9,6 Milliarden € geschätzt. Weltweite Zahlen belaufen sich sogar auf 137 Milliarden $, wobei Kosten durch fremde Krankheitserreger (z. B. Aids) mit einbezogen wurden. Für Europa und insbesondere für Deutschland liegen bisher nur unzureichende Schätzungen über Gesundheitskosten durch eingeschleppte Tier- und Pflanzenarten vor, obwohl es bereits zahlreiche Neubürger gibt, die aufgrund ihrer Schäden für die Gesundheit bekannt sind (z. B. Riesenbärenklau).

Eine weitere bekannte Art ist die Beifuß-Ambrosie. Dieses aus Nordamerika eingeschleppte Kraut ist in Deutschland auf dem Vormarsch. Bereits eine geringe Pollenkonzentration in der Luft kann Symptome von Heuschnupfen bis hin zu schwerem Asthma verursachen. In Sachsen und Bayern wurden bereits Allergien auf die Beifuß-Ambrosie festgestellt. Ein noch weit größeres Problem stellt die Sensibilisierungsrate dar, d. h. die Zahl derer, die bereits Antikörper auf das Allergen gebildet haben, jedoch nicht zwangsweise Symptome feststellt. Bei sensibilisierten Personen kann jederzeit eine Allergie auftreten, wenn der Körper erneut mit dem Allergen in Kontakt kommt. Neben den vielfältigen Krankheitsbildern sind Kreuzreaktionen ebenfalls problematisch: Die Pollenstruktur der Beifuß-Ambrosie ähnelt der des einheimischen Beifußes sehr, sodass Patienten mit Beifußallergie oft auch auf die Beifuß-Ambrosie allergisch reagieren.

Bereits 1996 kostete die Behandlung von Allergien mehr als 6,2 Milliarden DM. Da sich die Beifuß-Ambrosie in den kommenden Jahren in Deutschland weiter ausbreiten wird, stellt sich die Frage, welche zusätzlichen Gesundheitskosten durch die Beifuß-Ambrosie entstehen werden. Eine Studie, die am Department Ökonomie des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) in Zusammenarbeit mit dem AllergieZentrum München durchgeführt wird, soll dazu erste Hinweise liefern.

In der Studie werden Allergiepatienten im Raum München mithilfe eines Fragebogens befragt. Ziel der Untersuchung ist eine umfassende Ermittlung der Kosten von Allergien, die durch die Pflanze ausgelöst werden. Dabei werden sogenannte »direkte Kosten«, die durch Arztbesuche und Krankengeldzahlungen der Krankenkasse sowie durch Kuren und Arzneimittelaufwendungen entstehen, betrachtet. Produktionseinbußen aufgrund von Asthma und Heuschnupfen – beides bekannte Folgen von Allergien – werden ebenfalls ermittelt. Diese Einbußen entstehen nicht nur durch Krankschreibungen, sondern auch durch einen teilweise erhöhten Zeitaufwand in der Therapie, gerade bei einer Hyposensibilisierung. Es entstehen Warte- und Behandlungszeiten beim Arzt, in denen Berufstätige nicht produktiv tätig sein können. Weiterhin bedeutsam sind die sogenannten »intangiblen« Kosten, die den Verlust von Lebensqualität betreffen. Studien belegen, dass gerade langwierige Beschwerden aufgrund von Heuschnupfen einen maßgeblichen Einfluss auf Wohlbefinden und Lebensqualität der Betroffenen haben.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen Aufschluss darüber geben, inwieweit es bereits jetzt sinnvoll wäre, auf ein beschleunigtes und effizientes Management der Pflanze zu setzen, um ihre weitere Ausbreitung zu stoppen. Gelder, die nach einer Invasion der Beifuß-Ambrosie für die Behandlung von Allergiepatienten ausgegeben werden müssten, könnten stattdessen bereits heute in Bekämpfungs- und Aufklärungsmaßnahmen investiert werden, um die Bevölkerung vor Allergien auf die Beifuß-Ambrosie zu schützen. Aus ökonomischer Sicht ist es sinnvoller, heute präventiv vorzugehen, als morgen die schädlichen Auswirkungen einer solchen Invasion zu behandeln. ✽

Vermeidung von biologischen Invasionen durch die Verwendung von regionalem Pflanz- und Saatgut heimischer Wildpflanzen

Walter Bleeker

Die Ergebnisse von BIOLOG Europa zeigen, dass die genetischen Ressourcen heimischer Wildpflanzen durch Neophyten beeinträchtigt werden. Vor dem Hintergrund des beobachteten und prognostizierten Klimawandels und des zunehmenden Ressourcenbedarfs unserer Gesellschaft ist langfristig von einer Verschärfung der Problematik auszugehen. Wenn wir die genetischen Ressourcen unserer heimischen Wildpflanzen langfristig schützen und erhalten wollen, müssen wir heute tätig werden. Maßnahmen zur Bekämpfung unerwünschter Neophyten beinhalten die Vermeidung der Ausbringung und Etablierung neuer Neophyten und das Management sowie die Vermeidung der erneuten Ausbringung weiterer Genotypen bereits etablierter Neophyten. Handlungsmöglichkeiten bestehen vor allem dort, wo Pflanz- und Saatgut gezielt in der freien Landschaft ausgebracht wird.

Öffentliche Bewusstseinsbildung ist eine entscheidende Voraussetzung für einen sachgerechten Umgang mit Neophyten. Eine hohe Verantwortung tragen insbesondere Privatpersonen und Berufsgruppen, die mit Pflanzenmaterial umgehen oder durch Transport und Handel zur Verbreitung von Neophyten beitragen können. Das Hauptproblem liegt dabei in der Regel in der Unkenntnis über die Identität und die Herkunft des verwendeten Pflanz- oder Saatgutes. In der Schweiz wird bereits seit einigen Jahren eine intensive Aufklärungsarbeit über den Umgang mit exotischen Problempflanzen geleistet, z. B. über Broschüren, die in Baumärkten ausliegen. Neben den Akteuren, die bei der Ausbringung von Neophyten beteiligt sind, ist der Handel eine weitere Zielgruppe bei der Umsetzung präventiver Maßnahmen. Zwei Beispiele für invasive Neophyten, die nach wie vor vom Handel angeboten und in großer Stückzahl umgesetzt werden, sind die Kartoffel-Rose *(Rosa rugosa)* und die Späte Traubenkirsche *(Prunus serotina)*. Haftung und regulatorische Kontrollinstrumente sind zwar wichtige Handlungsmittel, doch in ihrer Reichweite sind sie begrenzt. Daher kommt branchenbezogenen Präventionskonzepten wie Verhaltenskodizes oder Selbstverpflichtungen eine wichtige Rolle zu. In Deutschland haben bislang der Gartenbau und die Botanischen Gärten freiwillige Verhaltensregeln zu invasiven Arten entwickelt. In vielen Bereichen, z. B. bei den Baumschulen, besteht jedoch noch Handlungsbedarf.

Eine Bekämpfung invasiver Neophyten nach ihrer Etablierung ist in der Regel kostenaufwendig und wenig nachhaltig. Vor diesem Hintergrund es ist sinnvoll, das Augenmerk vor allem darauf zu richten, die Ausbringung und Etablierung von Neophyten zu verhindern. Da eine Prognose des Invasionspotenzials gebietsfremder Arten auf Basis artspezifischer Merkmale unsicher ist und häufig erst Evolutionsprozesse nach erfolgter

Glatthaferwiese. Foto: Walter Bleeker

Dreschen einer artenreichen Glatthaferwiese zur Gewinnung von Wiesendrusch.
Fotos: Walter Bleeker

Etablierung den weiteren Ausbreitungsverlauf determinieren, sollte grundsätzlich auf eine Verwendung gebietsfremder Arten in der freien Landschaft verzichtet werden. Um einen besseren Schutz der genetischen Ressourcen heimischer Wildpflanzen zu gewährleisten, sollten die Aktivitäten ausdrücklich auch die Vermeidung der Ausbringung gebietsfremder Genotypen heimischer Arten umfassen. Eine der einfachsten Maßnahmen zur Verhinderung der Ausbringung von Neophyten ist die Verwendung von heimischen Wildpflanzen regionaler Herkunft. Voraussetzung sind detaillierte Kenntnisse über die Identität und die Herkunft des verwendeten Saat- bzw. Pflanzgutes. Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts wurde eine Karte mit 22 Herkunftsregionen für Regiosaatgut entwickelt, die mit den zuständigen Länderbehörden abgestimmt wurde (DBU-Projekt »Entwicklung und praktische Umsetzung naturschutzfachlicher Mindestanforderungen an einen Herkunftsnachweis für gebietseigenes Wildpflanzensaatgut krautiger Pflanzen«, Förderkennzeichen: Az 23931, Prasse, R. / Kunzmann, D. / VWW 2008). Damit liegt ein verlässlicher Standard für Produzenten und Anwender vor. Für Regiosaatgut gibt es derzeit zwei voneinander unabhängige Zertifizierungsmodelle. Das Zertifikat RegioZert® wird vom Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter (BDP) für Wildpflanzensaatgut aus gesicherten regionalen Herkünften auf Basis der 22 Herkunftsregionen vergeben. Das Siegel VWW Regiosaaten® des Verbandes deutscher Wildsamen- und Wildpflanzenproduzenten e. V. wird für Einzelsaaten oder Saatgutmischungen vergeben, deren Arten zu mindestens 50 % aus einer Region stammen.

Wenn gebietsheimisches Saat- und Pflanzgut verwendet werden soll, muss es vorher identifiziert und lokalisiert werden. Bereits heute ist es für einige Arten schwierig, indigene genetische Ressourcen zu identifizieren und abzugrenzen. Vor dem Hintergrund der globalen und lokalen Klimaveränderungen sowie Landnutzungsänderungen besteht dringender Handlungsbedarf, die heute vorhandenen genetischen Ressourcen unserer Wild- und Kulturpflanzen zu identifizieren und für die Nachwelt zu erhalten. Bei der Identifizierung und Abgrenzung indigener genetischer Ressourcen können molekulare Marker wichtige Hilfsmittel sein (s. Bleeker / Buschermöhle, S. 7 – 8; Bleeker / Schmitz / Buschermöhle, S. 14 – 15). Es sollte ein bundesweit flächendeckendes Netz von Spenderflächen für Regiosaatgut und Wiesendrusch ausgewiesen werden, auf das je nach Bedarf zurückgegriffen werden kann. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, da es in einigen Regionen Deutschlands bereits heute kaum noch Mähwiesen gibt. Es ist fraglich, ob der aktuell praktizierte Flächennaturschutz einen ausreichenden Schutz der indigenen genetischen Ressourcen gewährleistet. Daher sollten In-situ-Maßnahmen durch Ex-situ-Maßnahmen unterstützt werden (s. Neuffer / Hurka, S. 29 – 31).

Brachen und Ruderalflächen z. B. in Industriegebieten oder entlang von Verkehrswegen gehören zu den Habitaten, in denen sich invasive Neophyten etablieren können und von wo aus eine weitere Ausbreitung erfolgt. Durch ein konsequenteres Flächenmanagement könnten die Etablierungs- und Ausbreitungsmöglichkeiten von Neophyten eingeschränkt werden. Eine Möglichkeit wäre die gezielte Förderung von Ökosystemtypen, in denen Neophyten sich nicht etablieren können, dazu gehören z. B. artenreiche Glatthaferwiesen. Autochthone Glatthaferwiesen können als Spenderflächen für die Begrünung über Wiesendrusch oder Regiosaatgut dienen. Nach erfolgter Begrünung ist allerdings eine regelmäßige Pflege zur Erhaltung notwendig (zweimaliges Mähen), und auch die Nutzung des Mähgutes muss geklärt werden. Ein solches konsequenteres Flächenmanagement auf Brachen und entlang Verkehrswegen würde auch einer weiteren Ausbreitung der heimischen Giftpflanze Jakobs-Kreuzkraut *(Senecio jacobea)* entgegenwirken. ✻

Ex-situ-Erhaltung von Wildpflanzensaatgut in der Loki-Schmidt-Genbank am Botanischen Garten der Universität Osnabrück

Barbara Neuffer, Herbert Hurka

»Biodiversität« und »Nachhaltigkeit« sind heute Schlüsselbegriffe – aber auch Modeworte – in Wissenschaft und Politik. Der derzeitige Umbau der Biosphäre ist mit einem erheblichen Schwund der unverzichtbaren, aber begrenzten Ressource Biodiversität verbunden. Hohe Aussterberaten und die Zerstörung ganzer Ökosysteme gefährden die Funktionsfähigkeit der Biosphäre. Als größte Bedrohung für die Artenvielfalt in den nächsten einhundert Jahren gelten Habitatveränderungen durch Landnutzung, gefolgt vom Klimawandel. Stickstoffüberdüngung und invasive Arten sind weitere Hauptfaktoren für den Verlust der biologischen Vielfalt. Maßnahmen zur Erhaltung der Biodiversität sind angesichts der fortschreitenden Zerstörung unserer Umwelt unumgänglich und Diskussionen hierüber von besonders hoher Aktualität.

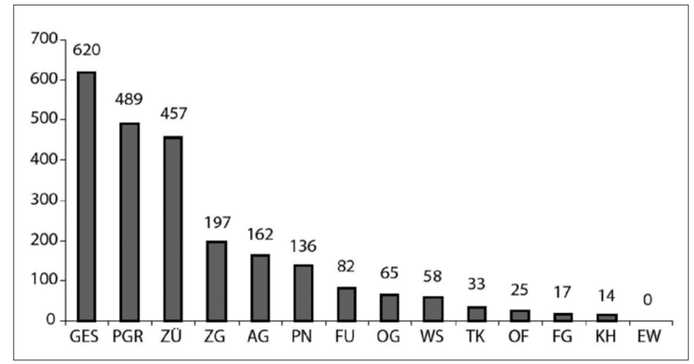
In-situ-Maßnahmen (z. B. Einrichtung von Naturschutzgebieten) wird dabei eine hohe Priorität zugesprochen, doch Ex-situ-Maßnahmen (z. B. Langzeitaufbewahrung von Saatgut in Genbanken) werden immer dringender und zwar insbesondere im Hinblick auf den Erhalt genetischer Variabilität auf Populationsebene. Botanische Gärten sind durch ihre traditionell großen Sammlungen und Ausstellungen als Standardinstitutionen für eine Ex-situ-Erhaltung prädestiniert. Der Wert und die Bedeutung dieser Sammlungen für den Erhalt der natürlichen genetischen Variabilität ist jedoch beschränkt. Wir plädieren daher mit Nachdruck für Saatgut-Genbanken für Wildpflanzen. Diese Vorgehensweise wird in mehreren Ländern bereits herangezogen – in Deutschland aber nicht. Saatgut-Genbanken sind die einfachste und preis-

Saatgutaufbewahrung in vakuumverschweißten Alu-Polyethylen-Verbundbeuteln.
Foto: Peter Borgmann

günstigste Ex-situ-Strategie zum Erhalt der pflanzengenetischen Vielfalt. Saatgutgenbanken für Wildpflanzen haben das Ziel, natürliche pflanzengenetische Ressourcen zu schützen und zu erhalten. In Kombination mit In-situ-Maßnahmen haben sie große Bedeutung für den Naturschutz, z. B. im Rahmen von Wiederbesiedlungsmaßnahmen.

In Deutschland ist keine Genbank offiziell für die einheimischen Wildpflanzenarten zuständig. Am Botanischen Garten der Universität Osnabrück wurde aber im Jahr 2003 die »Loki-Schmidt-Genbank für Wildpflanzen« als ein Pilotprojekt etabliert. Unter Beachtung der rechtlichen Bestimmungen und internationaler Standards für Saatgut-Genbanken wird Saatgut aus natürlichen Populationen von Wildpflanzen tiefkühlgelagert. Wir konzentrieren uns zunächst auf Nordwestdeutschland und speziell auf die Küstenregionen. Übergeordnetes Ziel unserer Initiativen ist der Aufbau eines dezentralen Netzwerkes regionaler Genbanken für Wildpflanzen in Deutschland. Botanische Gärten erscheinen für diese Aufgaben prädestiniert, da sie über die fachliche Kompetenz für Phytodiversität verfügen und bereits große Sammlungen unterhalten.

Datenblatt der Loki-Schmidt-Genbank für Wildpflanzen.



Anteil der Wildpflanzenarten (Gesamtartenzahl 620) in der Loki-Schmidt-Genbank (Stand 10/2007), die als Pflanzengenetische Ressourcen entsprechend dem Nationalen Fachprogramm (BMVEL, 2002) einzustufen sind.
GES = Gesammelte Arten insgesamt; PGR = Pflanzengenetische Ressourcen; ZÜ = Züchtung und Züchtungsforschung; ZG = Zier- und Grünpflanzen; AG = Arznei- und Gewürzpflanzen (einschließlich Gift-, Heil- und Zauberpflanzen, Genussmittel, Stimulanzien); PN = Pollen- und Nektarspender; FU = Futterpflanzen; OG = Obst und Gemüse; WS = Windschutz- und Schattenbäume (einschließlich Erosionsschutz, Bodendecker); TK = Technische Kulturen (Energie-, Färbe- und Faserpflanzen; Gründünger, nachwachsende Rohstoffe außer Holz); OF = Öle und Fette liefernde Pflanzen; FG = Forstgehölze; KH = Kohlenhydrate liefernde Pflanzen (Stärke, Insulin, Zucker); EW = Eiweiß liefernde Pflanzen

Entsprechend muss die Programmstellung folgende Aspekte berücksichtigen:

1) Erfassung und Dokumentierung der genetischen Vielfalt auf Populations- und Artebene,
2) Bereitstellung von Material für Wiederausbringungsprogramme einschließlich der Stabilisierung gefährdeter natürlicher Populationen durch Verstärkung mit geeigneten Genotypen aus der Genbank,
3) Erhalt und Bereitstellung von Material für Forschungszwecke und Züchtungsprogramme.

Die Loki-Schmidt-Genbank am Botanischen Garten der Universität Osnabrück ist eine Genbank für Wildpflanzen, die insbesondere Saatgut von Gefäßpflanzenarten Nordwestdeutschlands unter trockenen Bedingungen bei minus 20 °C in speziellen Alu-Polyethylenfolien aufbewahrt. Gegenwärtig befinden sich 1.800 Saatgutproben von 620 Wildpflanzenarten aus 65 Pflanzenfamilien in der Genbank. In einer Access basierten Datenbank ist jeder Beleg online abrufbar (www.wildpflanzen-genbank.de) und im Herbarium »OSBU« der AG Botanik als Belegexemplar hinterlegt.

Die 620 Arten verteilen sich auf 65 Pflanzenfamilien, innerhalb derer die meisten Belege der Familie der Asteraceen mit 96 Arten zuzuordnen sind, gefolgt von den Poaceen mit 73 Arten und den Brassicaceen mit 57 Arten. Bislang wurde Saatgut von 97 Arten der Roten Liste eingelagert.

Mit dem fortschreitenden Verlust der Artenvielfalt und der innerartlichen genetischen Variabilität gehen auch genetische Ressourcen verloren. Insbesondere die mit den Kultur- und Nutzpflanzen verwandten Wildarten (crop wild relatives, CWR) sind eine wichtige Quelle für pflanzengenetische Ressourcen. Ihr Genpool wird seit Jahrtausenden von der Menschheit genutzt, und spontane Kreuzungen zwischen Kulturpflanze und ihren verwandten Wildarten haben von Beginn des Ackerbaues an eine bedeutende Rolle gespielt.

Prüft man die gesammelten Akzessionen hinsichtlich ihrer Bedeutung als »Pflanzengenetische Ressource« (PGR), so sind 79 % des Arteninventars als solche PGR festzustellen. Den größten Anteil Pflanzengenetischer Ressourcen nehmen 457 Arten ein, die für die Züchtung bzw. Züchtungsforschung von Bedeutung sind. ✽

Wir danken Peter Borgmann und Nikolai Friesen für Informationen und Fotos zur Loki-Schmidt-Genbank für Wildpflanzen.

Agrimonia eupatoria

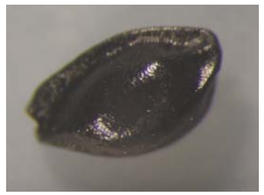
Allium vineale

Ammophila arenaria

Andromeda polifolia

Anthyllis vulneraria

Aquilegia vulgaris



Armeria maritima

Saatgut.
Fotos: Peter Borgmann

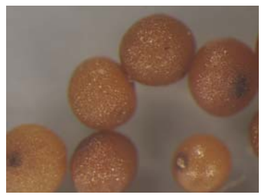
Aster tripolium

Bidens tripartita

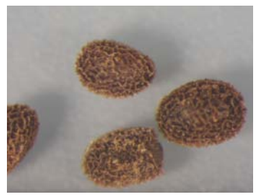
Cakile maritima

Cardamine pratensis

Carlina vulgaris



Gentianella germanica



Kickxia spuria

Thlaspi calaminare

Das Invasionspotenzial gentechnisch veränderter Pflanzen und die Kontrolle von Biodiversitätsrisiken durch das Gentechnikrecht

Katja Rath, Wolfgang Köck

Raps *(Brassica napus)* ist eine Kulturpflanze, die mit nah verwandten Arten hybridisieren kann.
Foto: Barbara Elling

I. Der Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen kann negative Auswirkungen für die Biodiversität mit sich bringen. Dazu zählt neben den potenziell negativen Wirkungen der gentechnisch veränderten Pflanze auf Nichtzielorganismen wie Schmetterlinge oder Käfer auch das Risiko des Gentransfers durch Auskreuzung. Kulturpflanzen, bei denen aufgrund des Vorkommens verwandter Wildarten die Möglichkeit einer Auskreuzung besteht, sind Raps und Zuckerrüben. Die Einkreuzung eines modifizierten Genkonstruktes in eine nah verwandte Wildart ist mit Blick auf die innerartliche Vielfalt als Teilbereich der Biodiversität problematisch, vor allem dann, wenn die Einkreuzung mit einem Fitnessvorteil verbunden ist. Die Erlangung sogenannter »invasiver« Eigenschaften durch Einkreuzung modifizierter Genkonstrukte könnte langfristig zur dauerhaften Verdrängung der wilden Artverwandten und damit zum lokalen und möglicherweise auch großräumigen Verlust an biologischer Vielfalt führen. Durch ein präventives Kontrollverfahren soll sichergestellt werden, dass sich die angesprochenen Risiken für die Biodiversität durch den Anbau von gentechnisch veränderten Organismen in der Umwelt nicht realisieren.

II. Rechtsgrundlage der Kontrolle gentechnisch veränderter Organismen in Deutschland ist das Gentechnikgesetz (GenTG). Es beruht in seiner heutigen Form auf internationalen Vereinbarungen (Cartagena Protokoll) und insbesondere auch auf europarechtlichen Vorschriften, wie etwa der Freisetzungsrichtlinie aus dem Jahr 2001. Will man gentechnisch veränderte Organismen experimentell freisetzen oder EU-weit in Verkehr bringen, ist eine vorherige Genehmigung nötig. Voraussetzung für die Erteilung der Genehmigung ist u. a., dass nach dem Stand der Wissenschaft im Verhältnis zum Zweck der Freisetzung unvertretbare schädliche Einwirkungen auf die Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge bzw. auf Tiere oder Pflanzen nicht zu erwarten sind (§ 16 Abs. 1 Nr. 3 GenTG). Unvertretbar ist eine Einwirkung dann, wenn die Schwelle des hinnehmbaren Risikos überschritten wird. Diese allgemeine Umschreibung der Hinnehmbarkeitsschwelle wird näher konkretisiert durch eine Risiko-Nutzen-Bewertung. Dabei sind die »Risiken« die zu erwartenden schädlichen Einwirkungen auf die Schutzgüter des Gentechnikgesetzes, während der »Nutzen« der Zweck der Freisetzung, etwa die Herbizidresistenz oder Schädlingsresistenz von gentechnisch verändertem Mais, ist.

Zur Abschätzung, ob eine unvertretbare Einwirkung auf die Umwelt vorliegt, stehen der zuständigen Behörde europäische Leitlinien für eine Umweltverträglichkeitsprüfung zur Verfügung. Grundprinzipien dieser Leitlinien sind das step-by-step-Verfahren, also die Genehmigung einer EU-weiten Freisetzung erst nach ausreichender Wissensgenerierung im Labor, im Gewächshaus und bei einer experimentellen Freisetzung, sowie das case-by-case-Verfahren, also das Prinzip der Einzelfallentscheidung. Ziel der Leitlinien ist die einheitliche Bestimmung der direkten und indirekten, sofortigen oder späteren Risiken für die Umwelt. Ein Beispiel für ein späteres Risiko ist ein im Labor oder Gewächshaus beobachtetes invasives Verhalten eines gentechnisch veränderten Organismus, das sich in der freien Natur aber erst mehrere Generationen nach der absichtlichen Freisetzung entwickeln könnte.

Die Risikobewertung verläuft in mehreren Schritten, zu denen die Bewertung möglicher Folgen, die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Folgen, ein mögliches Risikomanagement zur Beschränkung der Folgen und die Bestimmung des Gesamtrisikos gehören. Bei jedem Schritt wird eine Bewertung von »zu vernachlässigen« bis »schwerwiegend« getroffen, um dann aus einer Kombination der Risiken einschließlich der kumulativen Auswirkungen ein Ergebnis zu erlangen. Eine wesentliche Methode zur Bestimmung des Risikos auf den einzelnen Stufen ist der Vergleich mit gentechnisch unveränderten Pflanzen (sogenannte substanzielle Äquivalenz). Der Vorgang der Risiko-Nutzen-Bewertung erfordert schon wegen der verschiedenen betroffenen Schutzgüter des Gentechnikgesetzes die Beteiligung anderer Fachbehörden wie auch die Einbeziehung wissenschaftlichen Sachverstandes. Neben der Beteiligung des Bundesamtes für Naturschutz, des Julius-Kühn-Instituts und zuständiger Landesbehörden werden auch die Empfehlungen der Zentralen Kommission für Biologische Sicherheit (ZKBS), eines Sachverständigengremiums, dem u. a. Mikrobiologen, Genetiker, Ökologen angehören, berücksichtigt.

Bei der Risikobewertung spielen auch Vorsorgeüberlegungen eine Rolle, denn wenn unvertretbare Einwirkungen »nicht zu erwarten sein dürfen«, ist damit vom Gesetzgeber ein hoher Sicherheitsmaßstab vorgegeben, der die Anwendung des Vorsorgeprinzips gebietet und dazu führt, dass verbleibende Unsicherheiten bei der Risikobewertung zulasten des Antragstellers gehen müssen, also zulasten desjenigen, der gentechnisch veränderte Organismen freisetzen oder in Verkehr bringen möchte. Der Antragsteller muss das Vorliegen der Genehmigungsvoraussetzungen beweisen. Das Vorsorgeprinzip ermöglicht es der Behörde, im Zweifel für die Sicherheit zu entscheiden. Es ist aber kein »Freifahrtschein« für behördliche Eingriffe. Vorsorge darf nicht »ins Blaue hinein« oder mit bloßen Floskeln, wie etwa »was heute noch ungefährlich erscheint, kann morgen schon gefährlich sein«, betrieben werden, sondern bedarf tragfähiger Gründe, die insgesamt – unter Berücksichtigung der Unsicherheiten – auf ein unangemessenes Risiko schließen lassen. Dies können tatsächliche Anhaltspunkte für ein Risiko oder auch theoretische Anhaltspunkte sein, wenn diese theoretischen Annahmen ernsthaft in der Wissenschaft diskutiert werden und insofern am »Stand der Wissenschaft« teilhaben.

III. Die Ausführungen zur Vorsorge zeigen, dass die Risikokontrolle bei der Grünen Gentechnik nicht mit der Zulassungsentscheidung enden darf. Auch während und nach dem Anbau müssen die Wirkungen des freigesetzten gentechnisch veränderten Organismus beobachtet werden. Ein solches Monitoring wird regelmäßig von den Behörden angeordnet bzw. ist bei der Inverkehrbringensgenehmigung schon durch den Gesetzgeber selbst vorgeschrieben (§ 16c GenTG) und dient der Generierung weiteren Risikowissens. Außerdem kann das Monitoring Ausgangspunkt für behördliche Eingriffe in bereits genehmigte Tätigkeiten sein. Einen solchen nachträglichen Eingriff stellt etwa die Anordnung des Ruhens der europaweiten Inverkehrbringensgenehmigung im Rahmen des europäischen Schutzklauselverfahrens dar. In Deutschland hat im Frühjahr 2009 das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit als zuständige Behörde aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkung von Mon810-Mais auf Nichtzielorganismen vorübergehend den Anbau des gentechnisch veränderten Organismus verboten (Art. 20 GenTG, Art. 23 Freisetzungsrichtlinie). Deutlich wird durch die verpflichtende Durchführung eines Monitorings und der Befugnis, nachträglich in bestehende Verwaltungsentscheidungen einzugreifen, dass wegen der noch bestehenden Ungewissheit im Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen ein reflexives Risikomanagement notwendig ist, das die einmal getroffene Entscheidung unter steter Kontrolle hält. Nur so lassen sich die Integrität der Schutzgüter und die Angemessenheit des Eingriffs in Grundrechte der Gentechnikproduzenten gewährleisten.

IV. Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass in Europa insgesamt wie auch in Deutschland im Besonderen ein Kontrollsystem errichtet worden ist, um den potenziellen Risiken der Grünen Gentechnik zu begegnen. Wichtige Instrumente zur Risikoabwehr sind das abgestufte Kontrollverfahren (Labor, Gewächshaus, Freisetzung, Inverkehrbringen) unter Beteiligung anderer Fachbehörden sowie sachverständiger Gremien wie der ZKBS und auch das anbaubegleitende Monitoring zur weiteren Wissensgenerierung. Sie zeigen, dass auch eine Risikoverwaltung Umwelt- und Gesundheitssicherheit nur in der Zeit gewährleisten kann. Insofern ist die weitere Risikowissensgenerierung ein integraler Baustein der Gentechnikkontrolle. Die Defizite im Risikowissen weisen darüber hinaus darauf hin, dass auf die Anwendung des Vorsorgeprinzips bis auf Weiteres nicht verzichtet werden kann. ✻

Autorinnen und Autoren

Berghöfer, Uta
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
uta.berghoefer@ufz.de

Bleeker, Walter PD Dr.
Universität Osnabrück, Abteilung Botanik
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück
bleeker@biologie.uni-osnabrueck.de

Born, Wanda Dr.
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
wanda.born@ufz.de

Buschermöhle, Frank
Universität Osnabrück, Abteilung Botanik
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück
buschermoehle@biologie.uni-osnabrueck.de

Dericks, Guido
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Abteilung Geobotanik
Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf

Elling, Barbara Dr.
Universität Osnabrück, Abteilung Botanik
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück
elling@biologie.uni-osnabrueck.de

Hochkirch, Maren
Universität Osnabrück, Abteilung Botanik
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück

Hurka, Herbert Prof. i. R. Dr.
Botanischer Garten der Universität Osnabrück
Albrechtstraße 29, 49076 Osnabrück
hurka@biologie.uni-osnabrueck.de

Köck, Wolfgang Prof. Dr.
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
wolfgang.koeck@ufz.de

Leiblein, Marion
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Abteilung Geobotanik
Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf

Lösch, Rainer Prof. i. R. Dr.
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Abteilung Geobotanik
Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf
loesch.rainer@t-online.de

Mönninghoff, Ulrich
Universität Osnabrück, Abteilung Botanik
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück

Neuffer, Barbara Apl. Prof. Dr.
Universität Osnabrück, Abteilung Botanik
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück
neuffer@biologie.uni-osnabrueck.de

Rath, Katja, Ass. jur.
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
katja.rath@ufz.de

Rauschmayer, Felix Dr.
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
felix.rauschmayer@ufz.de

Schmitz, Ulf Dr.
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Abteilung Geobotanik
Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf
ulf.schmitz@uni-duesseldorf.de

Ausgewählte Publikationen aus dem Verbund

Bleeker, W.; Matthies, A. (2005): Hybrid zones between invasive *Rorippa austriaca* and native *R. sylvestris* (Brassicaceae) in Germany – Ploidy levels and patterns of fitness in the field. *Heredity* 94, 664–670.

Bleeker, W. (2003): Hybridization and *Rorippa austriaca* (Brassicaceae) invasion in Germany. *Molecular Ecology* 12, 1831–1841.

Bleeker, W. (2004): Hybridization between invasive and native plant species: a case study in *Rorippa* (Brassicaceae). In: Den Nijs, H.C.M.; Bartsch, D.; Sweet, J. (eds.): *Introgression from genetically modified plants into wild relatives and its consequences*. CAB International, Oxon, UK, 27–39.

Bleeker, W. (2005): Hybridisierung im Fokus moderner Biodiversitätsforschung. Praxis Naturwissenschaften, *Biologie in der Schule* 54 (4), 18–21.

Bleeker, W. (2007): Hybridization in *Rorippa*: patterns and processes. *Systematics and Biodiversity* 5, 311–319.

Bleeker, W.; Klausmeyer, S.; Peintinger, M.: Dienst, M. (2008): DNA sequences identify invasive alien *Cardamine* at Lake Constance. *Biological Conservation* 141, 692–698.

Bleeker, W.; Schmitz, U.; Ristow, M. (2007): Interspecific hybridization between alien and native plant species in Germany and its consequences for native biodiversity. *Biological Conservation* 137, 248–253.

Born, W. (2009): Ecological-economic assessment of biological invasions : a conceptual contribution on the basis of the concept of ecosystem services, UFZ-Dissertation 1/2009.

Dericks, G.; Lösch, R. (2004): Biomass and nutrient contents of riparian woodland neophyte stands. In: Kühn, I. & Klotz, S. (eds.) 2004: Biological Invasions: Challenges for Science. *Neobiota* 3: 101–102.

Elling, B.; Hochkirch, M.; Neuffer, B.; Bleeker, W. (2009): Hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and tetraploid *Brassica rapa* under field conditions. *Flora*, im Druck.

Elling, B.; Neuffer, B.; Bleeker, W. (2009): Sources of genetic diversity in feral oilseed rape populations. *Basic and Applied Ecology* 10, 544–553.

Hurka, H.; Bleeker, W.; Neuffer, B. (2003): Evolutionary processes associated with biological invasions in the Brassicaceae. *Biological Invasions* 5, 281–292.

Hussner, A.; Lösch, R. (2005): Alien aquatic plants in a thermally abnormal river and their assembly to neophyte-dominated macrophyte stands (River Erft, Northrhine-Westphalia). *Limnologica* 35: 18–30.

Köck, W. (2008): Prävention gegen die Einbringung invasiver gebietsfremder Arten durch Haftungsrecht, branchenbezogene Verhaltenskodizes und Selbstverpflichtungen am Beispiel der Botanischen Gärten und des Gartenbaus. *Natur und Landschaft* 83, 425–428.

Köck, W.; Möckel, S. (2009): Naturschutzrecht im Zeichen des Klimawandels. In: *Natur und Recht* 31, 318–325.

Lösch, R.; Schmitz, U.; Dericks, G. (2007): Neophyten und Global Change – am Beispiel der Stromtalaue des Rheins. *Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege* 56 (1): 128–137.

Ortner, D. (2009): Der Schutz der Biodiversität vor den Gefährdungen durch gebietsfremde invasive Arten – Regelungsbestand und Reformüberlegungen, UFZ-Dissertation 5/2009.

Rath, K. (2008): The potential of green gene technology in biomass production. A legal examination. In: Breckling, B.; Reuter, H.; Verhoeven, R. (2008): Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales. *Theorie in der Ökologie* 14, 163–168.

Rath, K. (2009): The location of release, within the meaning of the first indent of Article 25(4) of Directive 2001/18/EC-Annotations on Case C-552/07 (Commune de Sausheim v Pierre Azelvandre), *Journal for European Environmental & Planning Law* (JEEPL), Heft 2, 271–275.

Schmitz, U.; Lösch, R. (2005): Neophyten und C_4-Pflanzen in der Auenvegetation des Niederrheins. *Decheniana* 158, 55–77.

Schmitz, U. (2002): Untersuchungen zum Vorkommen und zur Ökologie neophytischer Amaranthaceae und Chenopodiaceae in der Ufervegetation des Niederrheins. *Dissertationes Botanicae* 364.

Schmitz, U. (2006): Increase of alien and C_4 plants in annual river bank vegetation of the river Rhine. *Phytocoenologia* 36 (3), 393–402.

Schmitz, U.; Ristow, M.; Bleeker, W. (2008): Hybridisierung zwischen Neophyten und einheimischen Pflanzenarten in Deutschland – Untersuchungen zur Häufigkeit und zum Gefährdungspotential. *Natur und Landschaft* 83, 444–451.