

1 Die asiatische Braunalge »Sargassum muticum« wurde über Ballastwasser großer Frachtschiffe eingeschleppt und besiedelt nun Muschelbänke im Wattenmeer.

Wie kommt die Chinesische Wollhandkrabbe in die Nordsee?

Computermodelle verbinden Handelsrouten mit der Invasion fremder Arten

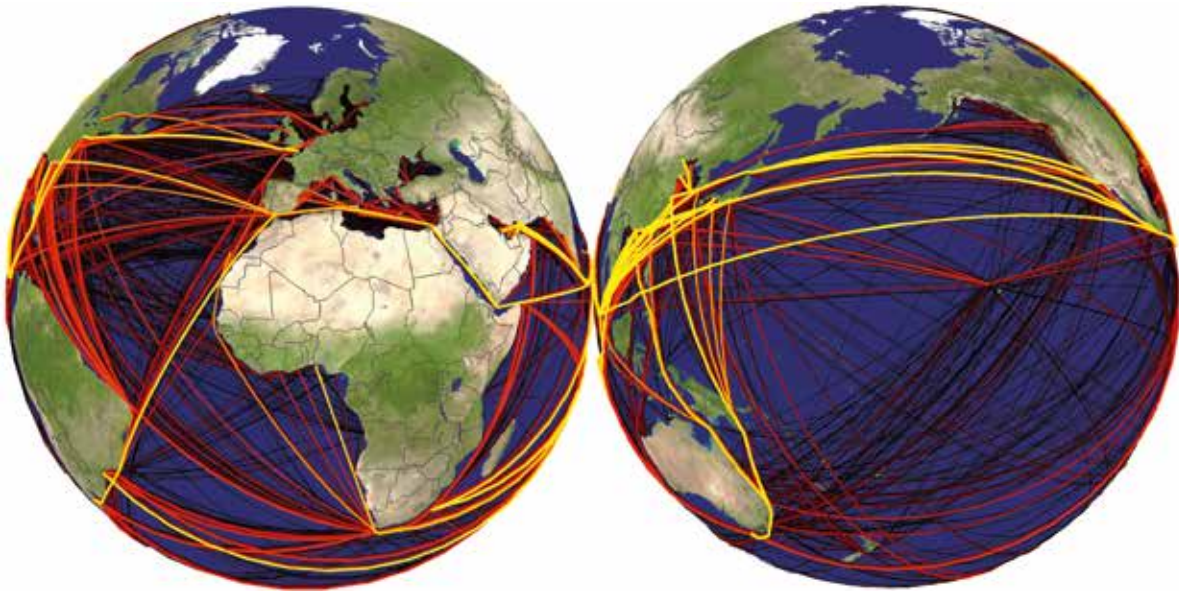
von Hanno Seebens

Die meisten von Menschen in neue Habitate eingeschleppten Arten sind harmlos. Doch einige richten beträchtliche ökologische und ökonomische Schäden an. Rückgängig machen kann man den Prozess nicht, aber vorbeugen sollte man. Computermodelle ermitteln die gefährdeten Knotenpunkte im Handelsnetz und sagen die nächsten Invasoren im marinen Bereich inzwischen zuverlässig voraus.

Man findet sie überall. Am Straßenrand, in Parks, im eigenen Garten, aber auch in Wäldern, Seen, Flüssen und Feldern. Manche sehen sehr hübsch aus, andere wollen wir nicht mehr missen und die allermeisten

fallen uns gar nicht auf: Fremde Tier- und Pflanzenarten, die ursprünglich nicht in Deutschland heimisch waren. Diese sogenannten Neobiota sind Organismen, die vom Menschen aus ihrer Heimat in neue Regionen gebracht wurden. Prominente Beispiele für Neobiota in Deutschland sind der nordamerikanische Waschbär, der mittlerweile in großen Beständen in hessischen Wäldern lebt, der tropische Halsbandsittich, der vor allem in großen Parkanlagen in Städten wie Mainz und Wiesbaden vorkommt, oder das Indische Springkraut, welches die Ufer vieler Flüsse und Bäche säumt.

Die Verbreitung von Arten durch den Menschen nennt man Bioinvasion. Sie ist ein globales Phänomen, das alle Organismengruppen von Bakterien bis zu Elefanten, von Algen bis zu Mammutbäumen betrifft. Das Ausmaß der



2 Die Weltkarte zeigt die Verbreitungswege fremder Arten durch den Schiffsverkehr. Die weißen Linien stellen Schiffrouten dar und die Farben signalisieren, wie wahrscheinlich die Ausbreitung einer fremden Art entlang dieser Route ist. Schwarz repräsentiert eine geringe Wahrscheinlichkeit, gelb eine sehr hohe.

Bioinvasion ist gigantisch. Eine internationale Studie mit Beteiligung des Autors hat ergeben, dass mittlerweile etwa 13 168 fremde Pflanzenarten weltweit außerhalb ihrer ursprünglichen Heimatregion fester Bestandteil der nativen Flora sind. [1] Zum Vergleich könnte man sich vorstellen, dass etwa alle einheimischen Pflanzen in Europa aufgrund menschlichen Handelns nun auch außerhalb Europas vorkommen. In Nordamerika weiß man von über 3 000 fremden Insektenarten, wobei die tatsächliche Zahl auf über 4 000 geschätzt wird. Allein auf Hawaii geht man von über 5 000 fremden Tier- und Pflanzenarten aus. Eine aktuelle Untersuchung eines 45-köpfigen Teams unter Federführung des Autors ergab, dass der Trend für fast alle Tier- und Pflanzengruppen steil nach oben geht, so dass man mit deutlich mehr Arten in den nächsten Jahrzehnten rechnen muss. [2]

Eroberer, Siedler und Pflanzenjäger

Die Ausbreitung von Organismen ist ein natürlicher Prozess, der einen wichtigen Bestandteil zur Erhaltung einer Art darstellt. Die natürliche Ausbreitung ist aber durch Hindernisse wie große Flüsse, Meere oder Gebirge begrenzt. Aufgrund des menschlichen Handelns gelingt es immer mehr Arten, diese natürlichen Barrieren zu überwinden. Solche Bioinvasionen haben eine lange Tradition.

Schon die Römer haben ihre Kulturpflanzen gezielt angebaut, um die Ernährung ihrer Truppen sicherzustellen. So kam die Esskastanie nach Deutschland. Der erste größere Anstieg der Einwanderung fremder Arten erfolgte zwischen dem 16. und 19. Jahrhundert mit den europäischen Entdeckern und Siedlern, die zur Sicherung ihrer Nahrungsgrundlage viele Arten eingeführt haben, aber auch viele Arten unbe-

absichtigt mitbrachten. Eingeschleppte Schweine, Ziegen, Katzen und Hunde, aber auch Mäuse und Ratten konnten sich vor allem auf Inseln bis in die heutige Zeit halten. Umgekehrt brachten die Reisenden viele Tier- und Pflanzenarten mit nach Europa, wodurch es besonders im 19. Jahrhundert zu einem Boom im Gartenbau kam. In dieser Zeit wurde intensiv nach attraktiven Pflanzen für den europäischen Markt gesucht. Einzelne dieser sogenannten Pflanzenjäger (»plant hunters«) brachten weit mehr als 2 000 neue Pflanzenarten nach Europa. In den letzten Jahrzehnten intensivierte sich die Verbreitung fremder Arten noch einmal aufgrund der zunehmenden Globalisierung des Handels und der verstärkten Mobilität der Menschen.

Häfen als Einfallstore

Es gibt so gut wie keinen Flecken auf der Erde – und sei er noch so abgelegen –, auf dem keine fremde Art zu finden ist. Gerade die isolierten Inseln im Atlantik und Pazifik weisen häufig sogar vergleichsweise viele Neobiota auf. Man vermutet, dass dies mit den spezialisierten Lebensgemeinschaften auf diesen Inseln zusammenhängt. Deren Arten haben gegenüber den konkurrenzstarken Einwanderern vom Festland häufig nur wenig Chancen. So fanden die eingeschleppten Katzen und Ratten in den flugunfähigen Vögeln auf Neuseeland eine leichte Beute.

Fremde Arten sind aber nicht homogen über den Globus verteilt, sondern tauchen vor allem in Gebieten auf, die durch den Menschen stark verändert wurden und mit weit entfernten Gebieten in Verbindung stehen. Häfen stellen oft die Einfallstore für fremde Arten dar. Schiffe aus aller Welt laden nicht nur Waren ab, sondern transportieren auch eine große Zahl an

Tier- und Pflanzenarten als blinde Passagiere über die Weltmeere. Muscheln setzen sich zum Beispiel am Schiffsrumpf fest, wodurch sich wiederum andere Arten wie Kleinkrebse festhalten können. Frachtschiffe benötigen große Mengen an Ballastwasser, um jederzeit stabil im Wasser zu liegen, und auch im Ballastwasser kann sich eine Vielzahl fremder Arten befinden. Aufgrund des regelmäßigen Austauschs des Ballastwassers können Arten innerhalb weniger Tage beispielsweise von Japan nach Deutschland gelangen oder umgekehrt. Der globale Handel führt dazu, dass natürliche Hindernisse der Ausbreitung aufgehoben werden und früher isolierte Gebiete nun in kurzer Zeit erreicht werden können.

Bioinvasion mit Konsequenzen

Der größte Anteil der eingeschleppten Arten hat kaum Auswirkungen auf die heimische Flora und Fauna. In einigen Fällen verdrängen sie aber native Arten und können ganze Ökosysteme verändern, indem sie zum Beispiel Nährstoffflüsse verändern, neue Habitats schaffen oder zentrale Positionen in Nahrungsnetzen übernehmen. Solche Arten mit einem negativen Einfluss werden häufig als invasiv bezeichnet. Ihre Einschleppung kann sehr weitreichende Folgen haben. Die Pazifische Auster zum Beispiel, die in den 1960er Jahren in der Nordsee ausgesetzt wurde, bildet ausufernde Muschelbänke im Wattenmeer und verändert damit die Strömungsdynamiken, die Sedimentation und das Erscheinungsbild dieses Ökosystems.

Auf der Auster können sich weitere invasive Arten ansiedeln, wie die asiatische Braunalge *Sargassum muticum*, die sich ohne die Auster nicht im schlackigen Substrat des Wattenmeers halten kann (Abb. 1).

Andere invasive Arten schädigen die Industrie, Agrar- und Forstwirtschaft oder beeinträchtigen die menschliche Gesundheit. So setzt die europäische Zebra- oder Rostmuschel in den Großen Seen der USA und Kanada Wasserrohre zu, wodurch zusätzliche Reinigungskosten von über 500 Millionen US-Dollar jährlich entstehen. Umgekehrt breitet sich die nordamerikanische Ambrosia derzeit in Europa aus. Sie kann heftige allergische Reaktionen bei Menschen auslösen. Die Europäische Union gibt jährlich schätzungsweise 12 Milliarden Euro zur Regulation der fremden Arten aus. So müssen vermehrt Pestizide in Agrar- und Forstwirtschaft eingesetzt werden, Schiffe und Rohre müssen häufiger gereinigt, Dämme ausgebessert und Kanäle frei gehalten werden. Die Schätzungen der Schäden in den USA sind sogar um den Faktor 10 höher.

Die Einführung neuer Arten kann auch positive Effekte haben. Viele Arten aus der Agrar- oder Forstwirtschaft wie die Kartoffel oder Douglasie sind Neobiota, die aber mittlerweile wichtige Kulturpflanzen sind. Das Damwild oder der Waschbär sind beliebte Jagdobjekte geworden, aber auch ökonomisch wenig bedeutsame Arten wie der grasgrüne Halsbandsittich bereichern die einheimische Tier- und Pflanzenwelt, zumindest aus menschlicher Perspektive.

In vielen Studien wurde darauf hingewiesen, dass die Biodiversität, also die Zahl der natürlich vorkommenden Arten, weltweit und regional sinkt. Die Einführung neuer Arten könnte diesen Trend stoppen oder zumindest abschwächen, was tatsächlich regional auch zutreffen kann. Doch global betrachtet führt dies zu einem Artenrückgang, da einheimische Arten verdrängt werden. Hinzu kommt, dass die Artengemeinschaften weltweit durch den Austausch an Arten immer ähnlicher werden und somit die Vielfalt der Gemeinschaften zurückgeht. So konnten wir in einer aktuellen Studie über Schnecken zeigen, dass aufgrund des Artenaustauschs die Artengemeinschaften innerhalb der temperierten beziehungsweise tropischen Klimazone kaum noch regionale Unterschiede aufweisen. [3] Es kommt zu einer globalen Homogenisierung der Artengemeinschaften. Der »Global Biodiversity Outlook«, ein regelmäßig erscheinender Bericht von 196 Ländern zur Lage der globalen Biodiversität, hat daher die Einführung fremder Arten als eine der größten Gefahren für die Biodiversität eingestuft. [4]

Literatur

- 1 van Kleunen, M, Dawson, W, Essl, F, et al. (2015), »Global exchange and accumulation of non-native plants«, *Nature*, 525, 100–103.
- 2 Seebens, H, Blackburn, TM, Dyer, E, et al. (in revision), »No saturation in the accumulation of alien species worldwide«.
- 3 Capinha, C, Essl, F, Seebens, H, Moser, D & Pereira, HM (2015), »The dispersal of alien species redefines biogeography in the Anthropocene« *Science*, 348, 1248–1251.
- 4 Secretariat of the Convention on Biological Diversity, *Global Biodiversity Outlook 4*. Montréal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014.
- 5 Seebens, H, Gastner, M, & Blasius, B (2013), »The risk of marine bioinvasion caused by global shipping«, *Ecol. Lett.*, 16, 782–790.
- 6 Seebens, H, Schwartz, N, Schupp, PJ, & Blasius, B (2016), »Predicting the spread of marine species introduced by global shipping«, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113, 5646–5651.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Inzwischen gibt es so gut wie keinen Flecken auf der Erde, der nicht durch eingeschleppte Arten besiedelt ist. Eine der Hauptursachen ist der internationale Handel.
- Die Bioinvasion richtet beträchtliche ökonomische Schäden an. Allein in Europa werden jährlich schätzungsweise 12 Milliarden Euro aufgewendet, um Schäden durch fremde Arten zu minimieren.
- Bioinvasion führt global zu einem Artenrückgang, da Arten lokal aussterben und die Vielfalt der Artengemeinschaften weltweit verloren geht.
- Computermodelle können die Verbreitung mariner Organismen durch den Schiffsverkehr mit einer Zuverlässigkeit von 76 Prozent vorhersagen.

»Ökologisches Roulette«

Sobald sich eine Art in einer neuen Region etabliert hat, ist es sehr aufwendig und häufig unmöglich, sie wieder zu entfernen. In vielen Fällen bleibt uns nichts anderes übrig, als mit den Konsequenzen zu leben. Die vielversprechendste Strategie, weitere ökologische und ökonomische Kosten zu minimieren, besteht darin, die Einfuhr neuer fremder Arten zu vermeiden, insbesondere derjenigen mit den schwerwiegendsten Konsequenzen. Viele Studien haben versucht, die Eigenschaften zu identifizieren, die eine Art besonders invasiv macht, aber mit nur wenig Erfolg. Die Interaktionen von neuen fremden Arten mit ihrer Umwelt ist zu komplex, um die Konsequenzen vorhersagen zu können. Man spricht auch von einem ökologischen Roulette.

Man kann jedoch die Routen und Einfallstore fremder Arten identifizieren. Viele werden über den Handel eingeschleppt, und das Handelsvolumen eines Landes korreliert stark mit der Anzahl fremder Arten im selben Land. Zusammen mit Kollegen haben wir ein Computermodell entwickelt, das die Anzahl der transportierten Arten zwischen 1469 großen Häfen auf der Welt beschreibt. [5] Das Computermodell basiert auf nahezu 3 Millionen Bewegungen von über 30 000 Frachtschiffen und verbindet diese mit den Umweltbedingungen der jeweiligen Häfen. Die simple Annahme

ist, dass dort, wo besonders viele Frachtschiffe Regionen mit ähnlichen Umweltbedingungen verbinden, auch besonders viele Neobiota zu finden sind.

Tatsächlich stimmen die Vorhersagen des Modells mit der Zahl der Arten, die über Ballastwasser eingeschleppt wurden, sehr gut überein. Es lassen sich damit die globalen »Autobahnen« der marinen Bioinvasion von den »Seitenstraßen« unterscheiden (Abb. 2). In einem weiteren Schritt kann man dieses Modell verwenden, um die Auswirkungen des Klimawandels auf Bioinvasionen zu untersuchen oder um besonders empfindliche Knotenpunkte zu identifizieren, an denen man zur Vermeidung von weiteren Invasionen ansetzen könnte.

Wer sind die nächsten Invasoren?

Die wichtigsten Ausbreitungswege fremder Arten zu kennen, ist eine Voraussetzung dafür, weitere Invasionen effektiv zu vermeiden. Aber noch wichtiger wäre die Kenntnis der nächsten Invasoren, also der Arten, die mit größter Wahrscheinlichkeit bald in eine bestimmte Region einwandern werden. Wir haben daher das Computermodell mit tatsächlichen Verbreitungskarten der Arten kombiniert, um die Gebiete vorherzusagen, die von den Arten mit hoher Wahrscheinlichkeit invadiert werden. [6] Allein mithilfe der Schiffsbewegungen und der Umweltbedingungen konnten wir die Verbreitung fremder Arten durch den Schiffsverkehr mit einer Wahrscheinlichkeit von 76 Prozent vorhersagen. Damit ist es möglich, mit vergleichsweise hoher Zuverlässigkeit für fast jede küstennahe Meeresregion auf der Welt eine Liste der nächsten marinen Invasoren zu erstellen. Für die Nordsee als Fallbeispiel hat sich gezeigt, dass zwei Arten, deren Einwanderung das Computermodell mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhergesagt hat, nun tatsächlich dort zu finden sind. Dies zeigt, dass man mit einfachen Modellen die Ausbreitung mariner Organismen vorhersagen kann.

Vorherzusagen, welche fremden Arten durch Ballastwasser eingeschleppt wurden, ist vergleichsweise einfach, da Ballastwasser ein klar abzugrenzendes Volumen darstellt und die Schiffsbewegungen leicht zu verfolgen sind. Weitaus schwieriger ist die Simulation der Ausbreitung von Arten, die bewusst eingeführt wurden, etwa Säugetiere und Vögel oder viele Garten- und Kulturpflanzen. Eine immer größere Rolle spielt der aufkommende Internethandel, der nur schwer zu kontrollieren und zu simulieren ist. Viele dieser gehandelten Arten werden zwar im Haus oder Garten gehalten, aber es kommt doch regelmäßig zu ungewollten Ausbreitungen. So ist die Ausbreitung von Pflanzen, deren Samen mit dem Wind verbreitet werden, über den Gartenzaun hinweg kaum zu verhindern. Hinzu kommt, dass die Handelsströme häufig nur schwer vorherzusagenden Dynamiken unterliegen, da sich Handelsbeziehungen verändern, wie zum Beispiel der sich intensivierende Handel zwischen China und Europa, oder neue Handelsrouten entstehen, wie eine mögliche Öffnung der Arktis für den Schiffsverkehr. Da der Ansatz zur Vorhersage fremder Arten im marinen Bereich aber erfolgreich ist, hoffen wir, ähnliche Modelle auch für andere Organismengruppen entwickeln zu können. Dies ist unsere Kernaufgabe für die nächsten Jahre. ●



Der Autor

Dr. Hanno Seebens, Jahrgang 1978, studierte Ökologie an der Universität Essen. Nach der Promotion an der Universität Konstanz folgten Postdoc-Tätigkeiten an den Universitäten Oldenburg und Wien, bevor er seine durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanzierte Stelle am Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrum (BiK-F), Frankfurt, antrat. Mithilfe von Computermodellen untersucht er die Ausbreitung von Arten über komplexe Netzwerke wie den internationalen Handel oder den Schiffsverkehr.

hanno.seebens@senckenberg.de

www.bik-f.de/root/index.php?page_id=1070