

CHRISTOPH KUEFFER

Ökologische Neuartigkeit: die Ökologie des Anthropozäns



Christoph Kueffer (ETH Zürich, Schweiz)
Institut für Integrative Biologie – Pflanzenökologie

Forschungsschwerpunkte:

- Ökologische Folgen von globalem Wandel, insbesondere in Gebirgen und auf ozeanischen Inseln
- Invasionsbiologie
- Funktionelle Pflanzenökologie
- Transdisziplinäre Forschung

Wir leben zunehmend auf einem vom Menschen geprägten Planeten (STEFFEN et al. 2004; *Millennium Ecosystem Assessment* 2005). Klimawandel ist menschengemacht, die anthropogene Komponente von globalen Stoffkreisläufen ist inzwischen größer als die totalen natürlichen Anteile, und über drei Viertel der globalen Landfläche sind durch Landnutzung gekennzeichnet (ELLIS et al. 2010). Diese Veränderungen sind so substanziell, dass Wissenschaftler von einem neuen Zeitalter der Erdgeschichte sprechen: dem *Anthropozän*. Im Jahr 2011 traf sich eine Gruppe von Ökologen, Sozial- und Geisteswissenschaftlern sowie Künstlern auf dem Monte Verita (Tessin, Schweiz), um neue Konzepte für das Verständnis von ökologischen Veränderungen im Anthropozän zu entwickeln. An der Konferenz wurde zur Charakterisierung dieser Veränderungen der Begriff der *ökologischen Neuartigkeit* (*ecological novelty*) geprägt (KUEFFER et al. 2011), welcher zwei wichtige Aspekte der Ökologie des Anthropozäns betont: erstens, die enge Verzahnung vieler parallel ablaufender biologischer, chemischer, physikalischer und sozialer Veränderungen, welche in ihrem Zusammenspiel zu neuen ökologischen Realitäten führen; und, zweitens, die fundamentale Neuartigkeit und Unbekanntheit der Ökologie des Anthropozäns, welche sich durch das enorme Ausmaß und die schnelle Geschwindigkeit der Veränderungen ergibt. Es wurde bewusst auf den oft verwendeten Begriff *globaler Wandel* verzichtet, weil sich der Planet nicht nur auf globaler Skala verändert und insbesondere die lokalen und regionalen Auswirkungen die Lebensqualität von Menschen beeinträchtigen und Entscheidungsträger herausfordern.

Was ökologische Neuartigkeit ist und wie wir damit umgehen können und sollen, beschäftigt Ökologen und Naturschutz-Praktiker erst seit wenigen Jahren intensiv. Ich werde in diesem Artikel einige Elemente der laufenden Diskussionen zusammentragen, die Sprengkraft ökologischer Neuartigkeit für traditionelles Denken in der Ökologie und im Naturschutz aufzeigen und beto-

nen, wie unverzichtbar interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen der Ökologie und den Sozialwissenschaften (in diesem Artikel sind damit die Geisteswissenschaften mitgemeint) ist. Der Essay beginnt mit einer Charakterisierung von ökologischer Neuartigkeit, illustriert anhand des Beispiels invasiver, nicht-einheimischer Arten einige der neuen Herausforderungen im Naturschutz und endet mit einem Ausblick auf einige Fragestellungen, für welche die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Ökologie und Sozialwissenschaften von besonderer Bedeutung ist.

Was ist ökologische Neuartigkeit?

Mindestens sechs wichtige Dimensionen von ökologischer Neuartigkeit lassen sich unterscheiden: die Veränderungen sind 1. menschengemacht, 2. von sehr substanziellem Ausmaß, 3. sehr schnell, 4. vielgestaltig, 5. oft variabel, unbekannt und unvorhersehbar und 6. von globaler Dimension und alle Gebiete der Erde betreffend.

Der Mensch verändert die Natur

Es ist der Mensch, der die Natur verändert. Ohne menschliche Einwirkungen wäre das momentane Zeitalter, das Holozän, eine stabile Periode in der Erdgeschichte. Über drei Viertel der Landflächen der Erde sind inzwischen durch Landnutzung geprägt, und die Tendenz ist weiter steigend. Die restlichen Landflächen befinden sich größtenteils in den unproduktivsten Zonen des Planeten: in Wüsten oder in hohen Breitengraden (ELLIS et al. 2010). Nur etwa 10% der global nutzbaren Netto-Primär-Produktion werden bisher noch nicht durch den Menschen genutzt; und diese verbleibende Biomasse dürfte in den nächsten Jahrzehnten zusätzlich benötigt werden, um das vorausgesagte Bevölkerungswachstum zu kompensieren (RUNNING 2012). Klimawandel ist menschengemacht, die meisten biogeochemischen Kreisläufe (z.B. Wasser, Stickstoff oder Phosphor) wurden durch den Menschen fundamental transformiert, und der Mensch ist die Ursache für ein beginnendes massives Artensterben. Zudem werden tausende künstliche chemische Stoffe (z.B. DDT, Nanotechnologie) und zunehmend künstliche Organismen (Gentechnik und zukünftig synthetische Biologie) in die Umwelt eingebracht.

Die dominante Rolle des Menschen auf dem Planeten hat auch zur Folge, dass es zu immer schnelleren Rückkopplungen zwischen Umweltveränderungen und gesellschaftlichen Reaktionen auf diese Veränderungen kommt. Dabei führen manchmal die Anpassungsmaßnahmen zu größeren Auswirkungen auf ökologische Prozesse als die ursprüngliche Umweltveränderung. Im Fall von Klimawandel ergeben sich solche indirekten Folgen zum Beispiel durch Landnutzungsänderungen, Migrationsbewegungen, den Ausbau erneuerbarer Energien (Wasserkraft, Windturbinen, etc.) oder möglicherweise in Zukunft durch sogenanntes Geoengineering, also die gezielte Manipulation von klimawirksamen Stoff- und Energieflüssen in der Natur mit dem Ziel, die globale Erwärmung zu verlangsamen.

Veränderungen passieren sehr schnell und werden zu fundamental neuen ökologischen Realitäten führen

Ökologische Neuartigkeit stellt eine enorme Herausforderung für Ökosysteme, Gesellschaft und Forschung dar, weil die Veränderungen so fundamental sind: sie passieren in einem dramatischen Ausmaß und in einer Geschwindigkeit, welche Anpassung kaum zulässt. Lokal und in begrenztem Ausmaß beeinflusst der Mensch Ökosysteme seit tausenden von Jahren, aber die umfassenden Veränderungen des Anthropozäns haben erst vor sehr kurzer Zeit begonnen (STEFFEN et al. 2004; *Millennium Ecosystem Assessment* 2005). In einigen Erdregionen und für einige Faktoren haben sub-



stanziale Veränderungen seit der Industrialisierung – also in den letzten 250 Jahren – begonnen, für viele andere Regionen und Faktoren sind Veränderungen aber erst seit wenigen Jahrzehnten im Gang oder beginnen erst. Fast alle Veränderungen beschleunigen sich weiter, und auch die anthropogenen Ursachen – z. B. das Bevölkerungswachstum oder der Ressourcenverbrauch – verlangsamen sich nicht (STEFFEN et al. 2004; *Millennium Ecosystem Assessment* 2005).

Vor 300 Jahren waren z. B. noch etwa 50 % der Fläche der Erde wild, und nur etwa 5 % wurden intensiv genutzt. Inzwischen sind weniger als 25 % wild, und über 50 % der Fläche werden intensiv genutzt (ELLIS et al. 2010). Ein großer Teil dieser Landnutzungsänderungen hat in den letzten Jahrzehnten stattgefunden. Bei einer Erhöhung der globalen mittleren Temperatur von mehr als 3–4° Celsius im Vergleich zu einem vorindustriellen Klima – ein Szenario, welches zunehmend realistisch wird (NEW et al. 2011) – werden sich gemäß IPCC global nur sehr wenige Ökosysteme an die neuen Klimabedingungen anpassen können, und ein großes Artensterben allein aufgrund der neuen Klimabedingungen ist zu erwarten. Diese Erwärmung dürfte bereits in wenigen Jahrzehnten, zwischen 2050 und 2100, erreicht werden (NEW et al. 2011).

In wenigen Jahrzehnten bis wenigen hundert Jahren verändern sich also die Umweltbedingungen auf der Erde fundamental. Hundert Jahre sind eine enorm kurze Zeit für geophysikalische, ökologische und evolutive Prozesse, welche sich über tausende bis Millionen von Jahren entwickeln. Viele Folgen vergangener anthropogener Einflüsse werden deshalb aufgrund von Zeitverzögerungen erst in Zukunft sichtbar werden. Würden wir heute den Ausstoß von Kohlendioxid abrupt stoppen, würde sich das Klima aufgrund des vergangenen Ausstoßes trotzdem für viele Jahrzehnte bis Jahrhunderte weiter verändern. Wegen solcher Zeitverzögerungen dürften auch viele seltene Arten heute noch überleben, welche bereits zum Aussterben verurteilt sind (*extinction debt*).

Die sehr substanziellen und schnellen Veränderungen erschweren ökologische und gesellschaftliche Anpassungen massiv. Rekonstruierte Daten von früheren Perioden in der Erdgeschichte, welche einen Klimawandel erfahren haben, zeigen, dass sich Arten und Ökosysteme nicht in dieser Geschwindigkeit an neue Umweltbedingungen anpassen können. Auch Anpassungen von sozialen Systemen und Landnutzungsformen werden sehr schwierig, weil sich Ökosysteme kontinuierlich und substanziell weiter verändern. Eine gute Anpassung an momentane Veränderung kann eine schlechte Anpassung an die Bedingungen in wenigen Jahrzehnten sein.

Alles ist im Wandel

Es sind aber nicht nur sehr schnelle und substanzielle Veränderungen von einzelnen Umweltbedingungen, z. B. der Temperatur, welche ökologische Neuartigkeit im Anthropozän ausmachen,

Der Morteratsch-Gletscher im Engadin ist ein eindrückliches Beispiel für die Folgen des Klimawandels. Die enorme geschmolzene Eismasse kann anhand der vegetationsfreien Flächen entlang der Seitentäler abgeschätzt werden.

sondern auch die Gleichzeitigkeit vieler verschiedener Veränderungen: die Temperatur, das Niederschlagsregime, die biogeochemischen Kreisläufe, die Biodiversität – sowohl durch Artensterben als auch durch das Einwandern von neuen Arten – und die Landnutzung verändern sich gleichzeitig. Diese parallelen Veränderungen interagieren und führen durch Synergien zu neuen Mustern. Oft ist es sehr schwierig zu verstehen, welche Veränderungen für ein bestimmtes resultierendes Problem verantwortlich sind; und häufig erklärt nur die Kombination verschiedener Faktoren ein Problem. Durch die Interaktion von Faktoren haben die gleichen Veränderungen zum Teil unterschiedliche oder sogar gegensätzliche Auswirkungen in verschiedenen Gebieten.

In vielen Gebieten rund um die Welt werden z. B. Insekten, die Nutzpflanzen bestäuben, selten. Dieser Rückgang betrifft sowohl wilde als auch domestizierte Arten, insbesondere die Honigbiene. Die möglichen Gründe sind vielfältig und umfassen unter anderem Landnutzungsänderungen, Fragmentierung und andere Verschlechterungen der Habitatsqualität, Pestizide, Pathogene, invasive Arten, Klimawandel oder kleine verbleibende genetische Vielfalt der Bestäuber-Populationen sowie die Interaktionen verschiedener dieser Faktoren (POTTS et al. 2010).

Überraschungen werden zum Normalfall

Ökologische Neuartigkeit bedeutet, dass der Mensch zunehmend in einer vom Menschen beeinflussten und geschaffenen Natur lebt, aber viele der Konsequenzen seines Handelns nicht kennt. Viele der Auswirkungen sind nicht voraussehbar und werden möglicherweise erst lange, nachdem sie aufgetreten sind, erkannt. Ein klassisches Beispiel ist die Ozonloch-Problematik. Niemand hat erwartet, dass Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) in der Stratosphäre zu Reaktionen mit Ozon führen würden. Zudem reagieren ökologische Systeme oft nicht-linear auf eine Veränderung einer Umweltbedingung. Wird ein Schwellenwert überschritten, kann es zu schnellen und irreversiblen Dynamiken kommen.

Zu dieser Unvorhersehbarkeit und Neuartigkeit trägt weiter bei, dass sich bei gewissen Umweltbedingungen nicht nur der Mittelwert, sondern auch die Variabilität und Auftretenswahrscheinlichkeit von Extremereignissen verändern. Während zwischen 1961 und 1990 in der nördlichen Schweiz die Sommertemperaturen einzelner Jahre etwa 4° Celsius um das Mittel von 16° Celsius variierten, könnten mit Klimawandel in Zukunft die jährlichen Sommertemperaturen einer 30-Jahr-Periode von 17,5° bis 24,5° Celsius reichen (Variabilität von 7° Celsius) (SCHAER et al. 2004). Diese Veränderung der Variabilität hat zur Folge, dass sich Arten und Ökosysteme nicht an die mittlere Erwärmung von 4,5° Celsius, sondern an die Erwärmung der heißesten Sommer um 6° Celsius auf 24,5° Celsius anpassen müssen, gleichzeitig aber immer noch regelmäßig kühlen Sommerbedingungen von 17,5° Celsius ausgesetzt sein werden. Zu dieser Veränderung der Variabilität zwischen einzelnen Jahren kommen Veränderungen der saisonalen Schwankungen hinzu. Zum Beispiel verändern sich in vielen Regionen Temperatur und Niederschlag in den Sommer- und Wintermonaten unterschiedlich.

Globaler und schwer begrenzbarer Wandel

Schließlich ist das globale Ausmaß der Veränderungen ein wichtiges Charakteristikum von ökologischer Neuartigkeit. Viele Prozesse verändern sich global. Die globale Dimension der Veränderungen hat verschiedene wichtige Konsequenzen. Zunächst bleibt wenig Spielraum für Prävention und Reversibilität. Wird ein Problem in einem Gebiet erkannt, ist es oft auch schon in vielen anderen Gebieten des Planeten aufgetreten. Zweitens sind Ursachen und Folgen oft über sehr große Distanzen verknüpft. Ausstoß von Kohlendioxid in einem Industrieland kann in Afrika zu Dürren führen. Schließlich zeichnen sich diese sich global ausdehnenden Veränderungen dadurch aus, dass sie schwer eingrenzbar sind. Klimawandel, Luftverschmutzung oder invasive

Arten stoppen nicht an den Grenzen von Naturschutzgebieten. Dadurch werden auch die am weitesten abgelegenen Wildnisgebiete zunehmend anthropogen verändert, die Etablierung von Schutzgebieten reicht nicht mehr zur Erhaltung seltener Arten, und Referenzsysteme von nicht-anthropogener Natur gehen verloren.

Die Invasionsproblematik – oder der Versuch, eine anthropogene Biogeographie zu verhindern

Ökologische Neuartigkeit stellt Gesellschaft und Wissenschaft vor riesige Herausforderungen. Nachhaltige Nutzung von natürlichen Ressourcen, gerechte wirtschaftliche Entwicklung, Erhaltung von vielfältigen Ökosystemen und Artenvielfalt: die großen Fragen unserer Zeit werden durch ökologische Neuartigkeit tiefgreifend beeinflusst. Ich werde im Folgenden anhand der Problematik invasiver nicht-einheimischer Arten illustrieren, wie ökologische Neuartigkeit die Grundannahmen des klassischen Naturschutzes erschüttert. Andere Fragestellungen – nachhaltige Entwicklung, Stabilisierung des planetaren Ökosystems, Erhaltung lebensnotwendiger Funktionen von Ökosystemen – sind möglicherweise von höherer Priorität, aber es ist der Naturschutz, welcher in besonderer Weise mit fundamental neuen Herausforderungen konfrontiert ist.

Invasive nicht-einheimische Arten – Arten, welche durch den Menschen in ein neues Gebiet eingeführt wurden (nicht-einheimisch) und sich dort ausbreiten und zu ökologischen Schäden führen (invasiv) – sind ein Aspekt von ökologischer Neuartigkeit, welcher bereits seit über 50 Jahren durch die Forschung systematisch untersucht wird (KUEFFER and HIRSCH HADORN 2008). Traditionell geht Forschung und Problemlösung von drei Annahmen aus: Erstens, es gibt bestimmte Problemarten, welche ökologische und ökonomische Schäden verursachen. Es gilt deshalb zu verstehen, durch welche Eigenschaften sich invasive Arten von nicht-invasiven Arten unterscheiden. Zweitens, nur bei nicht-einheimischen Arten, nicht aber bei einheimischen Arten, besteht ein ausgeprägtes Invasionsrisiko. Drittens, Prävention ist die effektivste Strategie zur Verhinderung von Schäden durch Invasionen. Es gilt aufgrund von Risikoanalysen, nicht-einheimische Arten mit Invasionspotenzial frühzeitig zu erkennen, um deren Transport in neue Gebiete zu regulieren.

Dieser Ansatz, dessen Fundament in den 1950er Jahren durch ein Buch des damals führenden Populationsbiologen gelegt wurde (ELTON 1958), wird im Moment unter Experten heftig diskutiert (DAVIS et al. 2011). Erstens hat es sich als schwieriger als erwartet herausgestellt, Eigenschaften von potenziell invasiven Arten zu identifizieren und Invasionsrisiken zu prognostizieren. Die verlässlichste Grundlage für eine Vorhersage ist die Beobachtung, dass eine bestimmte Art bereits irgendwo invasiv geworden ist. In einer Zeit von schnellem sozialen und ökologischen Wandel ist aber gerade diese Faustregel problematisch (KUEFFER 2010). Die heute beobachteten invasiven Arten wurden unter den spezifischen sozialen und ökologischen Bedingungen der letzten 100 bis 200 Jahre invasiv. In der Zukunft werden aber wahrscheinlich neue Arten mit neuen Eigenschaften zum Problem werden. Insbesondere werden neue Typen von Arten durch den Menschen in nicht-einheimische Gebiete transportiert und dort gezielt gefördert. Zum Beispiel sind nährstoffarme Habitats bisher oft noch weniger von Pflanzeninvasionen betroffen, aber das dürfte damit zusammenhängen, dass oft Arten nur für nährstoffreiche Standorte in neue Gebiete eingeführt wurden. Wegen der zunehmend knapper werdenden wertvollen Agrarflächen weicht Landwirtschaft zunehmend in marginale und oft nährstoffarme Standorte aus. Dafür werden neue Pflanzen eingeführt oder gezüchtet, welche an diese Umweltbedingungen angepasst sind, und diese neuen Typen von Arten können in Zukunft in nährstoffarmen Habitats invasiv werden.

Auch in Gebirgen sind nicht-einheimische Arten bisher selten, aber auch hier dürfte der Hauptgrund sein, dass bisher kaum nicht-einheimische Arten in neue Erdteile transportiert wurden, welche an die Umweltbedingungen in Gebirgen angepasst waren. Zudem führen auch Umweltveränderungen wie der Klimawandel in Zukunft zu neuen Invasionsmöglichkeiten für neue Arten. Präventives Handeln ist also schwierig, weil die Wissenschaft in einer Zeit schnellen ökologischen und sozialen Wandels die Risiken von zukünftigen Invasionen nur bedingt vorhersagen kann. Zudem haben die anthropogen verursachten Artenverschiebungen – ausgelöst durch Umweltveränderungen und die globalisierte Reise- und Handelstätigkeit – ein Ausmaß erreicht, welches eine finanzierbare Regulierung des Transportes von nicht-einheimischen Arten zunehmend erschwert. Es ist als ob der Mensch seine selbst geschaffene neue Artenverteilung – Biogeographie – des Anthropozäns verhindern wollte.

Eine zweite Schwierigkeit ergibt sich für den klassischen Ansatz dadurch, dass durch Umweltveränderungen zunehmend Arten innerhalb des einheimischen Gebietes in Bewegung sind. Diese Artenverschiebungen sind traditionell nicht Thema der Invasionsbiologie, weil sich einheimische Arten bewegen. Zudem werden sich für viele Arten in Zukunft die Klimabedingungen im gesamten bisherigen einheimischen Verbreitungsgebiet der Art so sehr ändern, dass nirgends mehr geeignete Bedingungen vorherrschen werden. Viele Arten werden deshalb in Zukunft in ihrem angestammten geographischen Vorkommensgebiet nicht mehr überleben können, sozusagen in ihrer Heimat nicht-einheimisch werden. Auswandern wird für viele Arten lebensnotwendig, und Artenverschiebungen in nicht-einheimische Gebiete, welche bisher als problematisch eingestuft wurden, werden in Zukunft gezielt gefördert werden, um Arten zu erhalten (*assisted migration*).

Drittens, ist es oft schwierig zu bestimmen, ob eine Invasion tatsächlich zu einem Schaden geführt hat oder möglicherweise sogar zu einer Verbesserung der Habitätsqualität beiträgt. Traditionell war dies im Naturschutz eine wenig diskutierte Frage. Es bestand ein breit akzeptierter Konsens, dass anthropogene Störungen – in diesem Fall das Vorkommen einer nicht-einheimischen Art – rückgängig gemacht werden sollen, um das ursprüngliche Ökosystem wiederherzustellen. Dies ist aber oft nicht mehr möglich oder erwünscht. In der Tat, gewisse seltene Arten oder Funktionen von Ökosystemen können nur in neuartigen, vom Menschen stark beeinflussten Ökosystemen erhalten werden. Im Englischen wird für diese Ökosysteme der Begriff *novel ecosystems* benutzt. In diesen neuartigen Ökosystemen werden nicht-einheimische Arten oft zu wertvollen Elementen. Das Einwandern von neuen Arten wird also in einer Zeit von globalem Wandel für gewisse Ökosysteme und seltene Arten lebensnotwendig.

Illustrative Beispiele für den Wert von nicht-einheimischen Arten in neuartigen Ökosystemen sind von ozeanischen Inseln bekannt. Inseln gelten als Natur-Paradiese, welche sich durch einmalige endemische Arten und unberührte Natur auszeichnen. Aber gerade auf Inseln ist Naturschutz zunehmend auf neuartige Ökosysteme und nicht-einheimische Arten angewiesen. Weite Teile der granitischen Inseln der Seychellen, eine Gruppe von kleinen Inseln mitten im Indischen Ozean, sind zum Beispiel heute von Zimtwald bedeckt. Zimt ist eine Baumart, welche in Indien einheimisch ist, und im späten 18. Jahrhundert für die Gewürzproduktion auf die Seychellen als gebietsfremde Art eingeführt wurde. In vielen Wäldern der Seychellen sind heute zwischen 70 und 90% der Bäume Zimtbäume. Eine solch massive Häufung einer nicht-einheimischen Art wird traditionell als Beispiel einer sehr problematischen Invasion betrachtet, welche bekämpft werden muss. Auch auf den Seychellen wurden Zimtbäume geschlagen, um Raum für die einheimischen Arten zu schaffen. Statt dieser haben aber andere nicht-einheimische Baumarten die Flächen besiedelt, und zudem kam es zu Erosionsproblemen. Im Moment beginnt ein Umdenken, und man versteht Zimt als Teil der Lösung (KUEFFER et al. 2013): Zimt erhöht die Resistenz der Wälder



gegenüber der Invasion von anderen nicht-einheimischen Arten, welche zum Teil zu problematischeren ökologischen Folgen führen würden als Zimt. Zimt stabilisiert den Boden, und für verschiedene einheimische Vogel- und Flughundarten sind Zimtfrüchte zu einer wichtigen Nahrungsquelle geworden, nachdem einheimische Futterpflanzen sehr selten geworden oder ausgestorben sind. Statt Zimt großflächig abzuholzen, besteht nun die Idee, verteilt im Zimtwald kleine Bestände von einheimischen Arten anzupflanzen, welche dank des umliegenden Zimtwaldes vor problematischen Invasionen geschützt sind und von der hohen Dichte an fruchtfressenden Vögeln und Flughunden profitieren. Hätten die Naturschützer auf den Seychellen einen Wunsch frei, sie würden sich einen unberührten Wald wünschen, wie er vor der Ankunft der ersten Siedler bestanden hat. Aber einen solchen einheimischen Seychellen-Wald zu renaturieren wird bestenfalls nur auf sehr kleinen Flächen und mit großem Pflegeaufwand noch möglich sein. Als pragmatische Alternative bleibt die Vision eines Mosaikes von kleinen Beständen von einheimischen Arten verteilt in nicht-einheimischem Zimtwald.

Noch vor wenigen Jahren waren sich Experten einig, wie das Problem invasiver, nicht-einheimischer Arten zu verstehen und lösen sei: breitet sich eine nicht-einheimische Art in einem Naturschutzgebiet aus und wird sehr häufig, dann stellt dies eine Störung des natürlichen Gleichgewichts des Ökosystems dar. Die anthropogene Veränderung, in diesem Fall eine nicht-einheimische Art, muss gezielt entfernt werden. Die Vorstellung einer konstanten und erhaltenswerten nicht-anthropogenen Natur, welche durch punktuelle anthropogene Störungen gefährdet wird, hat den Naturschutz angeleitet. Inzwischen ist diese Vorstellung veraltet, wie das Beispiel der Invasionsproblematik zeigt. Anthropogene Veränderungen passieren nicht mehr punktuell, sondern in großem Ausmaß, und es ist oft unmöglich oder unerwünscht, diese Veränderungen zu verhindern oder rückgängig zu machen: nicht-anthropogene Natur wird zur Illusion, und es bleibt nur die Wahl zwischen verschiedenen Zuständen von anthropogener Natur. Und da kann eine nicht-einheimische Art oft von Nutzen sein.

Interdisziplinarität zwischen Natur- und Sozialwissenschaften wird unverzichtbar

Ökologische Neuartigkeit führt zu fundamental neuen Herausforderungen für die ökologische Forschung und Problemlösung. Insbesondere ist offensichtlich, dass Interdisziplinarität unverzichtbar wird. In diesem letzten Abschnitt werfe ich exemplarisch drei Fragen auf, welche nur durch enge Zusammenarbeit zwischen Natur- und Sozialwissenschaften aufgegriffen werden können.

links

Silhouette: eine der Inseln der Seychellen, welche für 65 Millionen Jahre im Indischen Ozean isoliert waren, bevor sie innerhalb von 250 Jahren durch menschliche Besiedlung fundamental umgestaltet wurden.

rechts

Ein kleiner verbleibender Bestand von einheimischen Palmen und Pandanusbäumen in einem von nicht-einheimischem Zimt dominierten tropischen Wald auf den Seychellen.

Ein neues Verständnis des Zusammenspiels von Natur und Kultur muss sich entwickeln

Die dominante Rolle des Menschen in der Natur hat sehr grundsätzliche Implikationen für die Ökologie und den Naturschutz. Traditionell geht der Naturschutz von der Vorstellung einer vom Menschen nicht beeinflussten Natur als Referenzzustand aus. Das Ziel des Naturschutzes ist es, diesen ursprünglichen Zustand wiederherzustellen. Nicht-einheimische Arten werden kontrolliert, einheimische Arten gefördert. Die Renaturierungsökologie hat das Ziel, die Einflüsse des Menschen rückgängig zu machen, um wieder »Natur herzustellen«. Die Wildnis als vom Menschen unberührte Natur wird als Idealzustand der Natur gesehen, und der Naturschutz hat sich bisher auf die verbleibenden vom Menschen am wenigsten beeinflussten Flächen von »ungestörter« Natur in Schutzgebieten fokussiert. Diese Ansätze funktionieren nicht mehr, und neue Ansätze werden zunehmend prominenter (COLE and YUNG 2010; HOBBS et al. 2009; ROSENZWEIG 2003).

Noch grundsätzlicher sind die Herausforderungen für die ökologische Theorie. Der theoretische Erklärungshorizont der Ökologie – die natürliche Evolution – wird zunehmend relativiert. Ein in der Ökologie prominentes Zitat des Evolutionsbiologen THEODOSIUS DOBZHANSKY lautet: »Nichts in der Biologie ergibt einen Sinn außer im Licht der Evolution.« In der Tat, CHARLES DARWINS Evolutionstheorie hat der Ökologie die Grundlage für die Interpretation und Synthese von Fakten geliefert: die Vielfalt des Lebens und die Struktur der Ökosysteme wird als das Resultat von langfristigen und vom Menschen nicht beeinflussten Prozessen – die Evolution von Arten und die Selbstorganisation von Ökosystemen – verstanden. Dieses konzeptionelle Fundament der Ökologie wird in Zukunft wenig Sinn machen. Die Untersuchungsobjekte der Ökologie werden fast ausschließlich gekoppelte Mensch-Umweltsysteme – sozioökologische Systeme – sein, welche nur noch teilweise als Resultat von langfristigen und vom Menschen nicht beeinflussten Prozessen verstanden werden können.

Es ist offensichtlich, dass Ökologie und Naturschutz lernen müssen, den Menschen und soziale Systeme als Kernelemente in ihr theoretisches Grundverständnis zu integrieren. Naturschutz wird in Zukunft fast ausschließlich in anthropogenen Ökosystemen stattfinden. Die Ökologie wird Theorien anthropogener Natur entwickeln müssen, welche ökologische Gesetzmäßigkeiten formulieren, die sowohl durch natürliche Evolution als auch menschliche Handlungen determiniert sind. Eine Theorie anthropogener Natur und deren Nutzung und Schutz wird nur durch eine Integration ökologischer und sozialwissenschaftlicher Ansätze entstehen können.

Sozioökologische Systeme haben eine Geschichte, aber spielt das in einer Zeit schnellen Wandels eine Rolle?

Eine der wichtigen Einsichten, welche das Werk der Ökonomie-Nobelpreisträgerin ELINOR OSTROM kennzeichnet, ist, dass sich nachhaltige Landnutzung durch eine enge Anpassung an den spezifischen sozialen und ökologischen Kontext auszeichnet. Unterschiedliche Ökosysteme erfordern unterschiedliche Nutzungsformen und institutionelle Rahmenbedingungen (OSTROM 2007). Diese Anpassungen entwickeln sich durch soziales und institutionelles Lernen, und dies erfordert viel Zeit. Ähnlich gibt es für Ökosysteme einen Trend, dass diese durch Selbstorganisation mit der Zeit stabiler, produktiver und diverser werden. Ökosysteme und ihre nachhaltige Nutzung gewinnen also durch ihre Geschichte an Wert, und es macht deshalb Sinn, den historischen ökologischen und sozialen Bedingungen, welche sich an einem Ort entwickelt haben, Sorge zu tragen.

In einer Zeit von ökologischer Neuartigkeit stellt sich aber die Frage, ob diese Qualitäten der langfristigen Selbstorganisation und sozialen Anpassung noch von Nutzen sind. Durch die schnellen und substanziellen Umweltveränderungen können gute ökologische oder soziale Anpassungen zu dysfunktionalen Anpassungen werden. Wie die Qualitäten sozioökologischer Systeme,

welche durch langfristige Selbstorganisation und Lernprozesse entstanden sind, trotz schneller und substanzieller Umweltveränderungen erhalten und dem Wandel angepasst werden können, ist eine wichtige Frage, welche nur durch interdisziplinäre Forschung behandelt werden kann.

Was ist ein guter ökologischer Managementprozess?

Ökosysteme sind sehr komplexe Systeme, welche durch lokale Faktoren geprägt sind. Die ökologische Forschung hat nur begrenzte Mittel zur Verfügung, um ökologische Phänomene in den verschiedenen lokalen Kontexten und über relevante zeitliche und räumliche Skalen zu bearbeiten. Die Möglichkeiten der ökologischen Forschung, verlässliches Wissen zu produzieren, sind beschränkt, und ökologische Neuartigkeit erschwert diese Aufgabe zusätzlich. Der Normalfall wird zunehmend sein, dass die Ökologie viele Aspekte eines Umweltproblems nur unzulänglich bearbeiten kann und viele relevante Aspekte von Problemen nicht kennt. Dieses unsichere Wissen und Nichtwissen wird sich oft in nützlicher Frist nicht reduzieren lassen, und Entscheide werden zunehmend ohne wissenschaftliche Absicherung getroffen werden müssen.

Die Frage, was gute ökologische Managementprozesse trotz Nichtwissen ausmacht, wird deshalb in Zukunft von zentraler Bedeutung sein. Es stellt sich z. B. das Problem, wann Prävention besser als Handeln ist und wann Interventionen in der Natur unabdingbar sind, um experimentell bessere Lösungen für Umweltprobleme in der Realwelt zu entwickeln und testen. Wann besser dem Vorsorge-Prinzip zu folgen ist und wann Realwelt-Experimente gewagt werden sollten, kann selten allein aufgrund von wissenschaftlichen Fakten beantwortet werden. Weltbilder und Wertvorstellungen spielen eine ebenso wichtige Rolle. Was gutes Handeln in der Natur ist, wird deshalb zu einer wichtigen Frage für die interdisziplinäre natur- und sozialwissenschaftliche Forschung.

Schlussfolgerungen

Wir leben zunehmend auf einem Planeten, welcher durch sehr schnelle und substanzielle Umweltveränderungen geprägt ist. Dieser Wandel ist größtenteils durch den Menschen verursacht und von globalem Ausmaß. Die ökologische Forschung und Anwendung erlebt eine Zeit von Grundsatzdiskussionen und überdenkt ihre Grundannahmen, um den Herausforderungen der neuen ökologischen Realitäten des Anthropozäns gerecht zu werden. Bisher erfolgen diese Reflexionen zu einem großen Teil unter naturwissenschaftlich ausgebildeten Ökologen, während intensiver Austausch zu konzeptionellen Fragen zwischen Ökologen und Sozialwissenschaftlern (mit Ausnahmen von Ökonomen) selten ist. Aber dieser interdisziplinäre Dialog ist unverzichtbar für den Umgang mit ökologischer Neuartigkeit und muss daher den *mainstream* in der Ökologie und den Sozialwissenschaften erreichen.

We live in a time of rapid human-driven environmental change, which leads to new ecological realities. Such ecological novelty is characterized by at least six important dimensions: environmental change is 1. man-made, 2. of very substantial magnitude, 3. very fast, 4. multi-dimensional, 5. often variable, unknown and unpredictable, and 6. of global extent and affecting even remote wilderness areas. In this article I explain these six dimensions of ecological novelty, and discuss some of the consequences for ecological research and nature conservation. I end by emphasizing that ecological novelty requires much tighter collaboration between ecology and the social sciences and humanities.

Literatur

- COLE DN, YUNG L (eds) (2010) *Beyond Naturalness. Rethinking Park and Wilderness Stewardship in an Era of Rapid Change*. Island Press, Washington DC
- DAVIS M, CHEW MK, HOBBS RJ, LUGO AE, EWEL JJ, VERMEIJ GJ, BROWN JH, ROSENZWEIG ML, GARDENER MR, CARROLL SP, THOMPSON K, PICKET STA, STROMBERG JC, DEL TREDICI P, SUDING KN, EHRENFELD JG, GRIME JP, MASCARO J, BRIGGS JC (2011) Don't judge species on their origins. *Nature* 474 (7350):153–154
- ELLIS EC, GOLDEWIJK KK, SIEBERT S, LIGHTMAN D, RAMANKUTTY N (2010) Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography* 19 (5):589–606
- ELTON CS (1958) *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. Methuen, London
- HOBBS RJ, HIGGS E, HARRIS JA (2009) Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology and Evolution* 24 (11):599–605
- KUEFFER C (2010) Transdisciplinary research is needed to predict plant invasions in an era of global change. *Trends in Ecology and Evolution* 25 (11):619–620
- KUEFFER C, BEAVER K, MOUGAL J (2013) Management of novel ecosystems in the Seychelles. In: HOBBS RJ, HIGGS ES, HALL CM (eds) *Novel Ecosystems. Intervening in the New Ecological World Order*. Wiley-Blackwell, Oxford, im Druck
- KUEFFER C, HILBECK A, EDWARDS PJ (2011) *Understanding and Managing Ecological Novelty*. International Conference. Monte Verita, Ticino, Switzerland. 4–9 September 2011. ETH Zurich, Zurich, Switzerland
- KUEFFER C, HIRSCH HADORN G (2008) How to achieve effectiveness in problem-oriented landscape research: the example of research on biotic invasions. *Living Reviews in Landscape Research* 2:2. <http://www.livingreviews.org/lrlr-2008-2002>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC
- NEW M, LIVERMAN D, SCHRODER H, ANDERSON K (2011) Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 369:6–19
- OSTROM E (2007) A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (39):15181–15187
- POTTS SG, BIESMEIJER JC, KREMEN C, NEUMANN P, SCHWEIGER O, KUNIN WE (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution* 25 (6):345–353
- ROSENZWEIG ML (2003) *Win-Win Ecology: How the Earth's Species Can Survive in the Midst of Human Enterprise*. Oxford University Press, Oxford, UK
- RUNNING SW (2012) A measurable planetary boundary for the biosphere. *Science* 337:1458–1459
- SCHAER C, VIDALE PL, LUTHI D, FREI C, HABERLI C, LINIGER MA, APPENZELLER C (2004) The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427 (6972):332–336
- STEFFEN W, SANDERSON A, TYSON PD, JÄGER J, MATSON PA, MOORE III B, OLDFIELD F, RICHARDSON K, SCHELLNHUBER HJ, TURNER II BL, WASSON RJ (2004) *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure*. Springer, Berlin, Germany