

UNIPRISMA spezial

Das Wissenschaftsmagazin der Universität Koblenz-Landau



INSTITUT FÜR
UMWELTWISSENSCHAFTEN
LANDAU

Molekül – Ökosystem – Gesellschaft



Inhalt

4 **Editorial**
Prof. Dr. Roman Heiligenthal

 **DAS INSTITUT FÜR UMWELTWISSENSCHAFTEN LANDAU**

6 **Starkes Profil**
Prof. Dr. Ralf Schulz

8 **Forschen mit Vision**
Prof. Dr. Andreas Lorke

10 **Zahlen und Fakten**

12 **Umweltanalyse heute: Ein Rundgang durchs Labor**
Kerstin Theilmann

 **STRESSOREN DER UMWELT**

14 **Pestizide in Ökosystemen: Stummer Frühling im Gewässer?**
Jun.-Prof. Dr. Ralf Schäfer

18 **Chemikalien in der Umwelt: Risiken verringern**
Prof. Dr. Ralf Schulz und Dr. Mirco Bundschuh

22 **Pestizide in Agrarlandschaften: Lebensvielfalt schützen**
Dr. Carsten Brühl

26 **Abwasser aus Olivenölproduktion: Dünger oder Gift?**
Benjamin Peikert und Prof. Dr. Gabriele E. Schaumann

30 **Nanopartikel in der Umwelt: Unerwartet mobil**
Prof. Dr. Gabriele E. Schaumann und Prof. Dr. Ralf Schulz

34 **Materialforschung: Vielversprechende Kombinationen**
Jun.-Prof. Dr. Katrin Schuhen

ÖKOSYSTEMDIENSTLEISTUNGEN

- 36 **Natürliche Schädlingskontrolle: Die unterschätzten Dienstleistungen der Natur**
Prof. Dr. Martin Entling
- 40 **Natur und Geld: Was kostet die Umwelt?**
Prof. Dr. Oliver Frör

GENETIK UND UMWELT

- 44 **Unbekannter Lebensraum Grundwasser: Risiken frühzeitig erkennen**
Prof. Dr. Klaus Schwenk
- 46 **Komplexe Verwandtschaftsverhältnisse: Gibt es eine Pfälzer Bachforelle?**
Dr. René Gergs, Dr. Kathrin Theissingen und Prof. Dr. Ralf Schulz
- 50 **Gebietsfremde Pflanzen: Invasion in Rheinland-Pfalz**
Dr. Constanze Buhk

KLIMAGASE

- 54 **Treibhausgase aus Binnengewässern: Sind Stauseen Klimasünder?**
Prof. Dr. Andreas Lorke und Andreas Mäck
- 58 **Wandel der Landnutzung: Früher Regenwald – heute Ackerfläche**
Prof. Dr. Hermann Jungkunst

AUTOREN UND ARBEITSGRUPPEN

- 62 **Autoren**
- 66 **Arbeitsgruppen**
- 68 **Impressum**



„Die noch jungen Umweltwissenschaften sind dank ihrer dynamischen Entwicklung in kurzer Zeit zu einem Kernbereich der Universität Koblenz-Landau herangereift.“

Liebe Leserin, lieber Leser,

Ende der 1990er Jahre stellte die Universität die Weichen in Richtung Umweltwissenschaften am Campus Landau. Zunächst ist ein interdisziplinärer Studiengang eröffnet worden, 2004 folgte dann die Gründung des Instituts für Umweltwissenschaften Landau. Heute lehren und forschen mehr als 90 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut. Das Studienangebot besteht inzwischen aus drei Bachelor- und Masterstudiengängen.

Diese dynamische und außerordentlich erfolgreiche Entwicklung haben die noch vergleichsweise jungen Umweltwissenschaften rasch zu einem Kernbereich im Profil des Campus Landau und der Universität Koblenz-Landau reifen lassen. Für die Universität Koblenz-Landau als eine mittelgroße Universität ist die Konzentration auf sorgfältig ausgewählte Schwerpunkte in Lehre und Forschung der geeignete Weg zur nachhaltigen Profilierung innerhalb der Wissenschaftslandschaft. Die Umweltwissenschaften stehen exemplarisch für den Erfolg dieser Strategie.

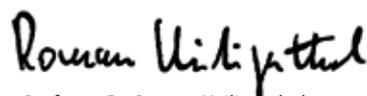
Dieser wird auch in der Entwicklung der Forschung an der Universität deutlich. Strategisches Ziel ist der Aufbau von Forschungsstrukturen, die es ermöglichen, auf nationaler und internationaler Ebene mit Forschergruppen und Graduiertenkollegs dauerhaft aufzutreten. Dabei setzt die Universität seit einigen Jahren auf die schon beschriebene Bildung von Schwerpunkten. Aktuell zählen dazu neben der

Bildungsforschung, den Geistes- und Gesellschaftswissenschaften sowie der Informatik und dem Bereich „Kommunikation, Medien und Politik“ die Umweltwissenschaften. Innerhalb von vier Jahren konnten die Drittmiteinnahmen für die Forschung an der Universität mehr als verdoppelt werden.

Seit 2011 besteht die erste von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Forschergruppe an der Universität. Sie ist aus dem Schwerpunkt Umweltwissenschaften hervorgegangen. Bei „INTERNANO“, so der Name der Gruppe, arbeiten Umweltwissenschaftler der Universität mit Fachkollegen aus anderen Wissenschaftsinstitutionen zusammen.

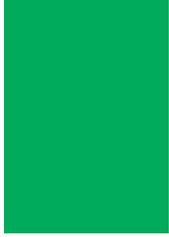
Die vorliegende Spezial-Ausgabe unseres Wissenschaftsmagazins „Uniprisma“ informiert über die Arbeit der Gruppe „INTERNANO“ und über Forschungsprojekte auf den Gebieten Ökosystemdienstleistungen, Klimagase, Genetik und Umwelt sowie Schadstoffe in Boden und Wasser. Sie zeigt auch die Entwicklung und die Struktur des Instituts für Umweltwissenschaften Landau, dessen technische Ausstattung einmalige Versuchsanordnungen erlaubt.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen des „Uniprisma spezial Umweltwissenschaften“, das Ihnen einen Einblick in die vielfältige wissenschaftliche Arbeit am Institut für Umweltwissenschaften Landau vermittelt.



Professor Dr. Roman Heiligenthal

Präsident der Universität Koblenz-Landau



*„Das Institut für Umweltwissenschaften Landau
ist eines der größten universitären Umweltinstitute
in Deutschland.“*

Starkes Profil

Wir stehen heute vor der Aufgabe, komplexe Umweltfragen zu lösen – sie reichen von der Verschmutzung von Wasser, Boden und Luft über den Verlust der Artenvielfalt bis hin zu den Auswirkungen des Klimawandels. Diese komplexen Fragen erfordern das Zusammenspiel verschiedener Disziplinen, nicht nur aus den Natur-, sondern auch aus den Sozialwissenschaften. Bereits im Jahr 2004 hat die Hochschulleitung der Universität Koblenz-Landau deshalb das interdisziplinär arbeitende Institut für Umweltwissenschaften Landau eingerichtet.

Das Institut hat sich seither dynamisch entwickelt: Die anfänglich zwei Professuren sind mittlerweile auf neun angewachsen. Vertreten sind nicht nur die naturwissenschaftlichen Fächer Chemie, Physik und Biologie, sondern auch die Ökonomie. Über 90 Mitarbeiter forschen und lehren derzeit am Institut. Rund 500 Studierende sind in den Studiengängen Bachelor und Master, im englischsprachigen Master „Ecotoxicology“ und im auslaufenden Diplomstudiengang eingeschrieben. Das Institut für Umweltwissenschaften Landau ist heute eines der größten universitären Umweltinstitute in Deutschland, vor allem hinsichtlich der vielen wissenschaftlichen Disziplinen, die es unter einem Dach vereint.

Begünstigt wurde die rasante Entwicklung durch die Umstrukturierung des Landauer Fachbereichs 7, der eine Fokussierung auf die Umweltwissenschaften mit sich brachte und es ermöglichte, die Umweltchemie mit Professorin Dr. Gabriele E. Schaumann und die Umweltphysik mit Professor Dr. Andreas Lorke von Koblenz nach Landau zu verlagern. Hinzu kommt, dass umweltwissenschaftliche Fragen immer stärker in den Fokus der Öffentlichkeit rücken, Hochschulleitung

und Politik für die Bedeutung und Tragweite umweltwissenschaftlicher Forschung sensibilisiert sind und den Ausbau des Instituts engagiert unterstützen.

Anteil an der positiven Entwicklung der vergangenen Jahre hat auch eine konsequente Netzwerkarbeit: Schon zwei Jahre nach seiner Gründung richtete das Landauer Institut für Umweltwissenschaften die Jahrestagung der deutschsprachigen Sektion der „Society of Environmental Toxicology and Chemistry“ aus. Mit dieser Tagung gelang es, das Landauer Institut in den Fachkreisen bekannt zu machen und viele Kontakte zu Wissenschaft, Wirtschaft und Behörden zu knüpfen. Heute pflegen die Wissenschaftler des Instituts für Umweltwissenschaften Landau enge Kontakte zu Universitäten und Forschungseinrichtungen im In- und Ausland und arbeiten mit ihren Kollegen in zahlreichen umweltrelevanten Projekten zusammen.

Parallel zur Netzwerkarbeit erfolgte der strukturelle Ausbau des Instituts: Laborräume wurden renoviert, Analyse-Großgeräte und moderne Mikroskope angeschafft und eine neue Versuchsanlage im Freiland gebaut. Noch bessere Forschungsbedingungen wird der Laborneubau auf dem Campus Landau bieten, der im Jahr 2015 fertig gestellt sein soll. Landau ist auf dem Weg zu einem wichtigen Standort systemorientierter umweltwissenschaftlicher Forschung in Rheinland-Pfalz. Von dieser Entwicklung profitieren die Universität, aber auch die Stadt und die Region. Entlang der Queich, eines Nebenflusses des Rheins, betreibt das Institut für Umweltwissenschaften Landau beispielsweise Feldlaboratorien, um die Entwicklung der regionalen Gewässer zu beobachten und Renaturierungsmaßnahmen vorzunehmen.



Professor Dr. Ralf Schulz

Vizepräsident für Forschung, Wissenstransfer, wissenschaftlichen Nachwuchs, Internationalisierung

Gründungsmitglied des Instituts für Umweltwissenschaften Landau



„Mit unserer eng verzahnten Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung haben wir die Wechselwirkung von Umwelt und Gesellschaft im Blick.“

Forschen mit Vision

„Vom Molekül zum Menschen“ – das ist der Leitsatz des Instituts für Umweltwissenschaften Landau. Denn will man die Zusammenhänge und komplexen Prozesse in der Natur verstehen und das Wissen konkret auf aktuelle Umweltfragen anwenden, muss man wissen, was im Kleinen wie im Großen in den Ökosystemen dieser Erde passiert. Nur dann sind eine profunde Risikobewertung, ein sinnvolles und nachhaltiges Umweltmanagement und verlässliche Aussagen über die Folgen des globalen Klimawandels möglich. Mit ihrer eng verzahnten Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung haben die Mitarbeiter des Instituts für Umweltwissenschaften Landau vor allem die Wechselwirkung zwischen Umwelt und Gesellschaft im Blick. Denn der nachhaltige Schutz von Natur und Umwelt im Einklang mit wirtschaftlichem Wachstum ist eine der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts.

Im Zentrum der Landauer Umweltforschung stehen die Auswirkung von anthropogenen Stressoren auf die Umwelt, Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Stressoren sowie deren Rückkopplungen auf den Menschen. Beispiele hierfür sind chemische Einträge in die Umwelt wie Pflanzenschutzmittel oder synthetische Nanopartikel, aber auch physikalische Stressoren wie der Ausbau von Fließgewässern oder unterschiedliche Formen der Landnutzung. Synthetische Nanopartikel sind eine neue Klasse von Stressoren, über deren Effekte in der Umwelt noch sehr wenig bekannt ist.

Die arbeitsgruppenübergreifende Forschung am Institut für Umweltwissenschaften Landau konzentriert sich überwiegend auf die Übergangszonen unterschiedlicher, traditionell oft getrennt erforschter Umweltsysteme. Der gemeinsame

Forschungsschwerpunkt AuFLAND beispielsweise widmet sich der Schnittstelle der Ökosysteme Fließgewässer und Land. Gerade die Übergangsbereiche zwischen Ökosystemen tragen erheblich zur regionalen Biodiversität bei und sind für viele ökologische und biochemische Prozesse sogenannte Hotspots mit einer besonders großen Artenvielfalt. Darüber hinaus stellen die Schnittstellen eine Vielzahl ökosystemarer Dienstleistungen wie Hochwasserschutz, Retention und Abbau von Schadstoffen sowie den Erhalt von Biodiversität und Erholungslandschaften bereit und sind damit von hoher sozio-ökonomischer Bedeutung. Gleichzeitig sind diese Gebiete besonders sensibel gegenüber Umweltveränderungen, beispielsweise durch Veränderungen der Überflutungsdynamik als Folge von menschlicher Nutzung oder globaler Klimaveränderung.

Das Institut für Umweltwissenschaften Landau verfügt über eine umfangreiche und moderne analytische und experimentelle Ausstattung. Damit eröffnen sich unter anderem auch neue Kooperationsmöglichkeiten mit der Wirtschaft und somit auch für die praktische Anwendung der wissenschaftlichen Erkenntnisse.

Im Jahr 2012 erfolgte die erste Ausgründung aus den Umweltwissenschaften, REE-Mix (Regionaler Erneuerbarer Energien-Mix), die Kommunen bei der Entscheidung für neue Energiekonzepte unterstützen soll. Dazu werden regionale Eigenheiten einer Kommune beleuchtet und somit passgenaue Konzepte geliefert. Gerade vor dem Hintergrund der Veränderung und Dezentralisierung der Energieerzeugung im Zuge der Energiewende kann dieser Ansatz Kommunen eine wichtige Hilfe sein.



Professor Dr. Andreas Lorke

Leiter des Instituts für Umweltwissenschaften Landau



Der Campus Landau der Universität Koblenz-Landau. Hier wurde im Jahr 2004 das Institut für Umweltwissenschaften Landau gegründet. Es hat sich in kurzer Zeit zu einem Kernbereich der Universität entwickelt. (Foto: Uschi Schmidt)

Zahlen und Fakten



Institutsgründung:	2004
Arbeitsgruppen:	9
Mitarbeiter:	rund 100 (davon 50 Doktoranden)
Studiengänge:	Bachelor- und Masterstudiengang Umweltwissenschaften, englischsprachiger Masterstudiengang „Ecotoxicology“
Studierende:	rund 500
Drittmittelvolumen:	2,1 Millionen Euro (eingeworben im Jahr 2012)
Forschungsschwerpunkte:	Globaler Wandel, Klimawandel, Treibhausgase, Biodiversität, Nachhaltigkeit, Landnutzung, Ökosystemfunktionen, Ökosystemdienstleistungen, Stoffkreisläufe, Schadstoffe in der Umwelt, Ökotoxikologie, Nanopartikel

Umweltanalyse heute:

Ein Rundgang durchs Labor

Die Umweltforschung muss stets am Puls der Zeit sein. Dazu benötigt sie moderne Analysemethoden. Das Institut für Umweltwissenschaften Landau verfügt über neueste Geräte und Verfahren für die analytische wie experimentelle Forschung – ein Laborrundgang.

Kerstin Theilmann

Analyse von Nanopartikeln

Die Nanoanalytik in Landau setzt auf moderne Verfahren wie Partikelrennung, dynamische Lichtstreuung, Nanotrackinganalyse und hoch auflösende Mikroskopie. Die Kombination dieser Methoden ist in der Umweltforschung noch selten. Doch nur die Methodenvielfalt ermöglicht es, Nanopartikel umfassend zu betrachten. Denn anders als bei chemischen Substanzen genügt es bei Nanopartikeln nicht, die Molekülstruktur zu kennen. Um zu verstehen, wie Nanopartikel in der Umwelt agieren, sind zusätzliche Informationen über deren Größe und Aufbau, Oberflächenladung und Zusammensetzung erforderlich.

Um Nanopartikel zu analysieren, kombinieren die Landauer Forscher herkömmliche chromatographische Verfahren mit der modernen Massenspektrometrie. Auf diese Weise können die Partikel zunächst ihrer Größe nach getrennt und dann auf ihre Bestandteile hin untersucht werden. Die dynamische Lichtstreuung und die Nanotrackinganalyse zeigen schließlich die Größenverteilung und Bewegung der Partikel.

Laborausstattung:

- Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)
- Hydrodynamische Chromatographie (HDC)
- Rasterelektronenmikroskop (ESEM)
- Rasterkraftmikroskop (AFM)
- Dynamische Lichtstreuung (DLS)
- Nanotrackinganalyse (NTA)
- Ultrazentrifuge

Fließrinnenanlage

Forschung vom kleinen Becherglas im Labor bis hin zu Ökosystemen in der freien Natur erlaubt die Kombination klimatisierter Expositionskammern mit Fließrinnen im Freiland. Das ermöglicht in Landau Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die es im Umweltbereich in dieser Form in anderen Forschungseinrichtungen weder national noch international gibt: In den klimatisierten Expositionskammern können verschiedene Klimaszenarien, etwa große Dürre oder extreme Hitze, simuliert werden; die Fließrinnenanlage im Freiland erlaubt es, die Untersuchungen nahe an den realen Bedingungen von Ökosystemen fortzusetzen. Die Fließrinnenanlage besteht aus 16 unabhängigen Rinnen, die 45 Meter lang, 40 Zentimeter breit und einen halben Meter tief sind. Sie können im Freiland mit unterschiedlichen Pflanzen in verschiedener Dichte bepflanzt werden. Auf diese Weise lassen sich zahlreiche Umwelt- und Klimaszenarien anhand veränderbarer Parameter wie der Fließgeschwindigkeit des Wassers oder der Konzentration der chemischen Belastung nachstellen. Die Kombination aus Labor und Freiland erlaubt es, Umweltstress wie Klimawandel, Belastung durch chemische Einträge oder Nanopartikel gezielt zu prüfen und die Auswirkungen zu bewerten.



Organische Schadstoffanalyse

Im Labor für Organische Schadstoffanalytik werden Stoffe aus Umweltproben extrahiert und identifiziert. Ein Beispiel ist die Belastung einer Bodenprobe mit Pestiziden. Die Wissenschaftler nutzen dazu Verfahren wie die Gas- und Flüssigkeitschromatographie sowie verschiedene Detektoren. Im Mittelpunkt der Analytik steht ein hochauflösender Massenspektrometer. Kombiniert mit der Ultrahochleistungschromatographie gelingt es damit, noch minimalste Unterschiede der Molekülmassen aufzuzeigen und organische Stoffe – beispielsweise enthaltene Pestizide – sehr genau zu identifizieren.

Darüber hinaus verfügen die Landauer Forscher über ein Isotopenspektrometer, das auch für die Prozessanalytik genutzt wird. Das Gerät ermöglicht es, Umweltprozesse bis ins Detail nachzuvollziehen. Typische Fragen, die damit beantwortet werden können, sind: Woher stammt die Nahrung, die Organismen zu sich nehmen? Womit war eine Bodenprobe bepflanzt? Wie lange ist eine Bodenprobe mit einem Schadstoff belastet?

Laborausstattung:

- LC-MS (Exactive, Orbitrap) mit Ultrahochleistungsflüssigchromatographie (UPLC)
- Isotopen-Massenspektrometer

Anorganische Schadstoffanalyse

Wie stark ist ein Boden mit Schadstoffen wie Schwermetallen oder anderen anorganischen Stoffen belastet? Das herauszufinden, ist die Aufgabe der Anorganischen Schadstoffanalytik. Herzstück des Labors ist das Massenspektrometer für induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie und die „Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma“. Mithilfe des Massenspektrometers lassen sich Bodenproben in ihre atomaren Bestandteile zerlegen; kombiniert mit einer modernen chromatographischen Methode – der „Hydrodynamischen Radiuschromatographie“ – lassen sich selbst kleinste Teilchen, sogenannte Kolloide, der Größe nach auftrennen. Das macht es möglich, das Verhalten von Nanopartikeln in der Umwelt nachzuvollziehen.

Laborausstattung:

- Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS)
- Induktiv gekoppelte Plasma-Optische Emissionsspektrometrie (ICP-OES)
- Atomabsorptionsspektrometer (Flamme und Graphitrohr als Atomisierungseinheit)
- Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC)

Prozesse in der Umwelt

Dringt Wasser nach einem Regenguss leicht in den Boden ein oder fließt es oberflächlich ab? Das ist eine von vielen Fragen der Prozessanalytik, die sich mit Abläufen in der Umwelt befasst.

Um die Frage zu beantworten, analysieren die Wissenschaftler zunächst, wie sich die Bodensubstanz zusammensetzt. In nachfolgenden Schritten untersuchen sie die Eigenschaften der Grenzflächen von Boden und Wasser sowie deren Wechselwirkungen und messen den Kontaktwinkel zwischen Wassertropfen und Bodenprobe. Aus den Ergebnissen können die Forscher ableiten, in welcher Weise das Wasser in den Boden eindringt.

Mit ihren modernen chemisch-physikalischen Ansätzen wollen die Wissenschaftler die Kluft schließen, die bislang noch zwischen der Kenntnis der Zusammensetzung des Bodens und der Funktion der in ihm enthaltenen Substanzen besteht. Ein Durchbruch in der Bodenforschung ist eine neue Analysemethode, für die Landauer Forscher die sogenannte Thermogravimetrie mit der Massenspektrometrie kombinieren. Die Thermogravimetrie kann bis auf das Mikrogramm genau bestimmen, wie sich eine Bodenprobe zusammensetzt; dazu werden die Proben zuvor mittels Verbrennung, Verdampfung oder Pyrolyse erhitzt. Anschließend wird der Gewichtsverlust gemessen. Das Massenspektrometer analysiert anschließend die entstehenden Gase. Die Analysemethode gibt Auskunft über die Zusammensetzung der Probe und die Qualität der organischen Substanz. Darüber hinaus lässt sie beurteilen, welcher Zusammenhang besteht zwischen der thermischen Qualität der organischen Substanz und ihrer ökologischen Funktion, etwa der Fähigkeit, Wasser zu speichern oder Klimagase freizusetzen.



Foto: Karin Hiller

Laborausstattung:

- Differenzial Scanning Kalorimetrie (DSC)
- Protonen-NMR-Relaxometer von Bruker (Bruker Minispec 7.5 MHz)
- Inverse Gaschromatographie (IGC)
- Analyse der spezifischen Oberflächen (BET)
- Thermogravimetrie gekoppelt mit DSC und Massenspektrometer
- Dynamische Kontaktwinkeltensiometrie
- Summenparameter: Elementarzusammensetzung (CHNS), gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), Anionen- und Kationenchromatographie

Pestizide in Ökosystemen

Stummer Frühling im Gewässer?

Fließgewässer erbringen für den Menschen wichtige Dienstleistungen. Doch Pestizide gefährden das einzigartige Ökosystem. Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Quantitative Landschaftsökologie konnten jüngst zeigen, dass Pestizide im Wasser lebende Organismen selbst noch unterhalb der als unbedenklich geltenden Schwelle schädigen. Um den bedeutenden Lebensraum der Fließgewässer langfristig zu erhalten, ist es dringend erforderlich, die Pestizideinträge zu reduzieren.

*Jun.-Prof. Dr. Ralf Schäfer (AG Quantitative Landschaftsökologie); Kontakt: schaefer-ralf@uni-landau.de
www.landscapeecology.uni-landau.de*

Vor 50 Jahren veröffentlichte Rachel Carson ihr Buch „Silent Spring“, zu Deutsch „Der stumme Frühling“. Die amerikanische Biologin machte darin erstmals darauf aufmerksam, wie landwirtschaftlich genutzte Pestizide Tiere und Menschen schädigen. Die Bedeutung des im Jahr 1962 erschienenen Buches ist kaum zu überschätzen: Es gilt heute als eines der einflussreichsten Bücher des 20. Jahrhunderts und war ein Ausgangspunkt der Umweltbewegung. Carson veranlasste mit ihrer Publikation, dass der Einsatz von Pestiziden in der Landwirtschaft erheblich strenger kontrolliert und viele der chemischen Substanzen, die Lebewesen gefährden, verboten wurden. Inwiefern die Umwelt – und mit ihr der Mensch – auch heute noch von Pestiziden bedroht ist, ist ein Schwerpunkt der Forschung unserer Arbeitsgruppe Quantitative Landschaftsökologie am Institut für Umweltwissenschaften Landau. Wir interessieren uns vor allem für Fließgewässer. Doch wie kommen Pestizide, die doch hauptsächlich auf dem Land ausgebracht werden, überhaupt in die Gewässer hinein?

Pestizide können in Gewässer gelangen, wenn sie der Wind vom Land während des Ausbringens in angrenzende Gewässer abdriften lässt. Wesentlich bedeutsamer noch als die

Abdrift sind starke Regenfälle, die Pestizide von Pflanzen oder aus dem Boden auswaschen und sie dann in das Gewässer schwemmen. Die Einträge sind episodisch, so dass es punktuell zu Belastungsspitzen kommt. Die Messmethoden müssten an die episodischen Einträge angepasst werden – was bei der Gewässerbeobachtung durch die Behörden nur selten der Fall ist. Diese nehmen aufgrund begrenzter personeller und finanzieller Ressourcen oftmals nur alle ein bis drei Monate Proben.

Sensibler Lebensraum

Unsere Forschungsarbeit zur aktuellen Bedeutung von Pestiziden für Mensch und Umwelt lässt zunächst eine gute Nachricht verkünden: Die unmittelbare Gefahr für Wirbeltiere, etwa Fische, aufgrund des Eintrags von Pestiziden in unsere Gewässer ist gering. Das war das Ergebnis einer Studie, für die wir die Pestizidbelastung großer norddeutscher Flüsse über zehn Jahre hinweg analysierten. Leider gibt es jedoch auch eine schlechte Nachricht: Die Konzentrationen der Pestizide erreichten Größenordnungen, die unter Laborbedingungen Gewässerorganismen wie Wasserflöhe oder Algen drastisch schädigen würden. Wir müssen des-



Der Landauer Biologe Ralf Schäfer entnimmt Proben aus der Schlenze, einem Nebenfluss der Saale. Hier fließen getrübbte landwirtschaftliche und klare Minenabwässer zusammen. (Foto: Peter von der Ohe, UFZ)



Forschung ist auch Arbeit im Freiland: Mit einem Kescher fangen die Landauer Wissenschaftler wirbellose Tiere aus dem Gewässer. (Foto: Bonny Krell)

Limnephilus lunatus, frisch geschlüpft: Die im Wasser lebenden Insekten reagieren besonders empfindlich auf Pestizideinträge. (Foto: Mikhail Beketov, UFZ)



halb davon ausgehen, dass wirbellose Tiere und Pflanzen in Gewässern sehr wohl durch Pestizide gefährdet sind. Und das hat Folgen für das Ökosystem. Denn beide Organismengruppen haben wichtige Funktionen im Gewässer: Sie tragen zur Reinigung des Wassers bei, sie stellen durch das Zerkleinern von Pflanzenmaterial Nahrung für Gewässerorganismen bereit oder sind die Nahrungsgrundlage für Tiere, die außerhalb des Gewässers leben, etwa Fledermäuse. Mit anderen Worten: Eine Schädigung von Wirbellosen und Pflanzen kann nicht nur Folgen für Wirbeltiere haben, die im und außerhalb des Gewässers leben, sondern letztlich auch die „Dienstleistungen“ verringern, die das Ökosystem für den Menschen erbringt.

Unbedenkliche Schwellenwerte?

Die Europäische Union hat für die Zulassung von Pestiziden sogenannte Effektschwellen festgelegt: Das Vorkommen von Pestiziden unterhalb dieser Schwellen soll für das Fließgewässerökosystem gefahrlos sein. Aktuelle Forschungsergebnisse lassen jedoch daran zweifeln, dass die derzeitigen Effektschwellen tatsächlich geeignet sind, Gewässer wirksam zu schützen. Gemeinsam mit anderen Wissenschaftlern aus Deutschland, Dänemark und Australien haben wir die Effekte von Pestiziden geprüft und dazu acht Studien aus sechs Ländern in Europa, aus Sibirien und Australien ausgewertet. Insgesamt betrachten diese Studien 111 unterschiedliche Fließgewässer. Aus den Ergebnissen der Einzelstudien leiteten wir eine Konzentrations-Wirkungs-Kurve ab und stellten damit einen Zusammenhang her zwischen der Toxizität eines Pestizids und der Anzahl der wirbellosen Tiere im Gewässer. Dabei zeigte sich: Die von der Europäischen Union für die Zulassung von Pestiziden genannten, bislang als unbedenklich geltenden Effektschwellen, reduzieren das Vorkommen empfindlicher wirbelloser Tiere um 27 bis 61 Prozent. Besonders bedenklich ist, dass wir auch schädigende Effekte auf eine sehr bedeutende Ökosystemfunktion, das Zerkleinern von Pflanzenmaterial, nachweisen konnten: Organismen, die in der Lage sind, Pflanzen zu zerkleinern, machen anderen Lebewesen des Gewässers Nahrung nutzbar. Ohne die zerkleinernden Organismen aber gibt es keine Nahrung, damit reduzieren sich auch die Anzahl der darauf angewiesenen Lebewesen und damit das Fischvorkommen. Unserer Studie nach müssten die bislang geltenden Effektschwellen um den Faktor 10 bis 100 abgesenkt werden. Nur dann können ein Verlust der Artenvielfalt und eine Verringerung von Ökosystemdienstleistungen verhindert werden. Mit diesem Ergebnis widersprechen wir einer früheren wissenschaftlichen Arbeit, die die Effektschwellen der Europäischen Union als ausreichend bewertete. Ein Grund für diesen Widerspruch ist, dass die ältere Studie auf den Resultaten experimenteller Systeme basiert, in denen einzelne Substanzen getestet wurden. Die Gewässer im Freiland sind

„Die derzeit für Pestizide geltenden Effektschwellen können Gewässer nicht wirksam schützen.“

Bevor die Gewässerprobe auf Pestizide überprüft werden kann, wird sie zur Aufreinigung in einen Hochleistungsflüssigkeitschromatographen injiziert. (Foto: Ralf Schäfer)



jedoch aufgrund wiederholter Exposition nicht einzelnen, sondern einem Cocktail verschiedener Pestizide ausgesetzt. Hinzu kommt, dass im Freiland verschiedene Stressoren zusammenwirken. Man weiß beispielsweise, dass wirbellose Tiere bei großer Hitze und niedrigen Wasserständen empfindlicher auf Pestizide reagieren. Auch die Begradigung von Gewässern oder der Eintrag von Düngemitteln spielen als zusätzliche Stressoren eine Rolle. Die im Freiland beobachtbaren niedrigeren Effektschwellen könnten also das Resultat einer Gewässerbelastung durch das Zusammenwirken unterschiedlicher menschlich verursachter, sprich anthropogener Einflüsse sein. Insgesamt ist bei der derzeitigen landwirtschaftlichen Praxis davon auszugehen, dass der „gute ökologische Zustand“, den die Europäische Union in ihrer Wasserrahmenrichtlinie fordert, in vielen europäischen Gewässern bis zum Jahr 2015 nicht erreicht werden kann.

Was ist zu tun?

Damit stellt sich die Frage, welche Maßnahmen geeignet sind, die derzeitig unbefriedigende Situation zu verändern. An erster Stelle ist hier ein verringerter Einsatz von Pestiziden zu nennen. Aber es gibt noch weitere Maßnahmen für einen besseren Gewässerschutz: Uferstreifen können beispielweise vergrößert oder Waldflächen in der Nähe landwirtschaftlich beeinträchtigter Flüsse ausgeweitet werden. Damit lässt sich verhindern, dass Pestizide von landwirtschaftlich genutzten Flächen in Fließgewässer gelangen.

Auch sogenannte Ausgleichshabitate oder bepflanzte Wasserrückhaltebereiche können zu einem verringerten Eintrag von Pestiziden in Gewässer beitragen. Das legen Studien unserer Kollegen aus der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt nahe (siehe Beitrag „Chemikalien in der Umwelt: Risiken verringern“ auf Seite 18).

Während unserer künftigen Forschungsarbeiten wollen wir noch intensiver untersuchen, wie Pestizide zusammen mit anderen Stressoren Gewässerorganismen schädigen und Maßnahmen aufzeigen, die zur Erholung belasteter Gewässerökosysteme beitragen.

Ausgewählte Literatur:

Schäfer, R. B., Von der Ohe, P., Rasmussen, J., Kefford, J. B., Beketov, M., Schulz, R. & Liess, M. 2012. Thresholds for the effects of pesticides on invertebrate communities and leaf breakdown in stream ecosystems. *Environmental Science & Technology*, 46, 5134-5142.

Schäfer, R. B., Von der Ohe, P., Kühne, R., Schüürmann, G. & Liess, M. 2011. Occurrence of 331 organic pollutants in four rivers of North Germany between 1994 and 2004 and risk assessment for algae, invertebrates and fish. *Environmental Science & Technology*, 45, 6167-6174.

Schäfer, R. B., Van Den Brink, P.J. & Liess, M. 2011. Impacts of pesticides on freshwater ecosystems. pp. 111-137 in F. Sanchez-Bayo & P. Van Den Brink & R. M. Mann, editors. *Ecological impacts of toxic chemicals*. Bentham, Bussum, NL.



Umweltchemikalien können Ökosysteme erheblich belasten. Die Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt wollen verstehen, wie Pflanzenschutzmittel und Mikroschadstoffe Gewässerorganismen beeinträchtigen. Das Ziel der Forscher ist es, Risiken präzise zu bewerten und Maßnahmen aufzuzeigen, mit denen sich Gefährdungen effektiv verringern lassen.



*Der Bachflohkrebs *Gammarus fossarum* spielt eine Schlüsselrolle beim Laubabbau: Aus der Laubfraßrate der Tiere können die Wissenschaftler schließen, wie wirksam Abwässer durch Ozonierung gereinigt werden. (Foto: Uschi Schmidt)*

Chemikalien in der Umwelt:

Risiken verringern

Prof. Dr. Ralf Schulz (AG Ökotoxikologie und Umwelt); Kontakt: schulz@uni-landau.de

Dr. Mirco Bundschuh (AG Ökotoxikologie und Umwelt); Kontakt: bundschuh@uni-landau.de

www.ecotox-environment.uni-landau.de

Chemikalien werden heute rund um den Globus großflächig eingesetzt. In besonderem Maße gilt das für Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft, für die bis zum Jahr 2050 eine Produktionssteigerung um den Faktor 2,7 vorhergesagt wurde. Gelangen Pestizide in sogenannte Nichtzielökosysteme – beispielsweise Gewässer – können die Folgen für die Zusammensetzung der Arten, die „Biodiversität“, schwerwiegend sein (siehe Beitrag „Pestizide in Ökosystemen: Stummer Frühling im Gewässer“ auf Seite 14).

Unsere Arbeitsgruppe untersucht weltweit, wie stark Oberflächengewässer mit Insektiziden belastet sind. Für dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Projekt haben wir aus mehr als hunderttausend Studien rund tausend herausgefiltert, die Insektizide, die nach landwirtschaftlicher Anwendung in Gewässer gelangten, mithilfe chemischer Analysen quantifizieren konnten. Vergleicht man die in diesen Studien festgehaltenen Insektizidmengen mit den Konzentrationen, die der Gesetzgeber als maximal zulässig vorsieht, lässt sich beurteilen, wie stark ein Gewässer belastet ist. Mit globalen Clusteranalysen und einem speziell entwickelten mathematischen Modell können die Informationen der überall auf der Welt verteilten Messstellen auch auf diejenigen Gewässer übertragen werden, für die bislang keine konkreten Messergebnisse vorliegen. Diese Arbeiten erfolgen im Mathematischen Umweltlabor unserer Universität.

Eine zentrale Frage, mit der wir uns beschäftigen, ist, worauf die hohe Insektizidbelastung eines Gewässers zurückzuführen ist. In einer kürzlich publizierten Arbeit konnten wir zeigen, dass die Modelle, die zurzeit in der Europäischen Union für die Prüfung von Insektiziden verwendet werden, nicht imstande sind, die im Freiland tatsächlich bestehenden Insektizidkonzentrationen korrekt vorherzusagen. Mehr noch: Sie unterschätzen die Insektizidkonzentrationen bisweilen sogar erheblich. Wir wollen die gegenwärtige landwirtschaftliche Praxis aus Sicht der Umweltwissenschaft beurteilen und mit unseren Untersuchungen dazu beitragen, geeignete Strategien zu entwickeln, um den Gewässerschutz zu verbessern.

Wird die derzeit übliche landwirtschaftliche Praxis beibehalten, werden sich die vorhandenen Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Gewässern kaum reduzieren lassen. Ein Beispiel: Wenn ein Pflanzenschutzmittel auf eine landwirtschaftliche Fläche ausgebracht wird und starker Regen wenig später dafür sorgt, dass das Pflanzenschutzmittel in ein angrenzendes Gewässer gelangt, lassen sich die Einträge häufig nicht einmal mehr mit sehr breiten, dicht bewachsenen Uferstreifen zurückhalten. Der Grund dafür ist, dass die Randstreifen meist von Erosionsrillen durchzogen sind, in denen das mit Schadstoffen belastete Wasser unmittelbar in das nächste Oberflächengewässer abfließt. Es stellt sich hier konkret die Frage: Wie reagieren kleine Fließgewässer



„Wird die derzeit übliche landwirtschaftliche Praxis beibehalten, lassen sich die Einträge von Pflanzenschutzmitteln in die Gewässer kaum reduzieren.“



auf die Einträge, und was muss geschehen, um negative Auswirkungen zu minimieren?

Vor rund zehn Jahren konnten wir erstmals zeigen, dass Wasser- oder Röhrichtpflanzen entscheidend dazu beitragen, den Verbleib und die Wirkung von Insektiziden in Gewässern zu verringern: Je nach Bewuchsdichte, Pflanzenart und Fließgeschwindigkeit des Wassers lassen sich über 70 Prozent der Pflanzenschutzmittelbelastung zurückhalten. Auch die in Agrarlandschaften mittlerweile häufigen Regenrückhaltebecken oder andere künstlich angelegte Feuchtgebiete können zu diesem Zweck genutzt werden. Wir wollen noch besser verstehen, welche Prozesse den Abbau von Pflanzenschutzmitteln unterstützen, von welchen Systemgemeinschaften die Prozesse abhängen und wie sie technisch gestaltet sein müssen, damit sie optimal arbeiten.

Einzigartige Versuchsanlage

Um Antworten auf diese Fragen zu finden, nutzen wir in Landau eine in dieser Form einzigartige Freilandanlage: Sie besteht aus 16 Rinnen, die jeweils 45 Meter lang und einen halben Meter breit sind. Mit dieser „Freilandrinnenanlage“ können kleine Fließgewässer simuliert werden, und es lassen sich sowohl hydraulische wie hydrochemische und biologische Prozessen betrachten. Wir arbeiten dazu eng mit den Arbeitsgruppen Umweltp Physik und Umwelt- und Bodenchemie zusammen (siehe Beiträge „Treibhausgase aus Binnengewässern: Sind Stauseen Klimasünder?“ und „Abwasser aus Olivenölproduktion: Dünger oder Gift?“ auf Seite

54 und 26). Unser gemeinsames Ziel ist es, konkrete Informationen zu Pflanzenarten oder Pflanzendichten und deren Bedeutung für den Stoffrückhalt und -abbau in den Oberflächengewässern von Agrarlandschaften zu erarbeiten.

Neben den Insektiziden sind die gegen Pilze gerichteten Fungizide eine häufig eingesetzte Gruppe von Pflanzenschutzmitteln, besonders im Weinbau, der in der Pfalz rund um Landau intensiv betrieben wird. Wir stellen uns die Frage, ob und wie Pilzbekämpfungsmittel den Abbau von Laubstreu im Gewässer beeinflussen. Laub, das beispielsweise von Uferbäumen in Gewässer fällt, wird im Wasser von aquatischen Pilzen und Bakterien besiedelt. Von diesem Laub-Pilz-Bakterien-Gemisch ernähren sich kleine Krebstiere, beispielsweise Bachflohkrebse. Die kaum einen Zentimeter großen Tiere machen die in der Laubstreu gespeicherte Energie und die darin enthaltenen Nährstoffe für die gesamte weitere Fließgewässer-Nahrungskette verfügbar. Erste Studienergebnisse weisen darauf hin, dass Fungizide den Abbau von Laubstreu – eine sehr zentrale Ökosystemfunktion – negativ beeinflussen könnten. Eine abschließende Beurteilung steht allerdings noch aus. Mit solchen Ergebnissen wollen wir dazu beitragen, die Risikobewertung von Fungiziden zu verbessern.

Das Wechselspiel von Blättern, Pilzen, Bakterien und Bachflohkrebsen wird in unserem Labor bereits seit vielen Jahren erfolgreich als Modell eingesetzt, um ökotoxikologische Fragen zu beantworten. Ursprünglich wurde es geschaffen, um zu verstehen, welche Bedeutung „Mikroschadstoffen“



– geringen Konzentrationen von Pharmaka, Bioziden oder Pflanzenschutzmitteln – im Abwasser zukommt. Abwasser enthält mitunter mehrere hundert bis mehrere tausend verschiedene Mikroschadstoffe, die sich in Kläranlagen nicht mit den üblichen Reinigungsschritten beseitigen lassen. Notwendig werden dann erweiterte Reinigungsschritte, etwa eine Ozonierung oder eine Filterung mit Aktivkohle. Wir konnten in zahlreichen Studien sowohl im Labor, in künstlichen Fließrinnen und unmittelbar im Gewässer unterhalb von Kläranlagen zeigen, dass die Ozonierung von Abwasser Mikroschadstoffbelastungen reduzieren und so die Toxizität des Abwassers mindern kann. Zahlreiche Kläranlagen in der Schweiz werden derzeit mit einer solchen zusätzlichen Reinigungsstufe ausgerüstet. Die Technik ist jedoch mit einem relativ hohen Energie- und Kostenaufwand verbunden. Erste Studien in unserem Labor haben ergeben, dass auch eine Behandlung des Abwassers mit Nanomaterialien und ultraviolettem Licht entscheidend dazu beitragen kann, die negativen Wirkungen von Mikroschadstoffen zu reduzieren (siehe Beitrag „Nanopartikel in der Umwelt: Un erwartet mobil“ auf Seite 30).

Das Ziel unserer Forschungsarbeiten insgesamt ist, möglichst alle relevanten Prozesse zu verstehen, die bei der biologischen Wirkung von Umweltchemikalien eine Rolle spielen. Die Erkenntnisse, die wir mit unserer Grundlagenforschung gewinnen, wollen wir zusammen mit modernen Umwelttechnologien für angewandte Problemlösungen einsetzen.

Unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten, variierende Pflanzendichte oder wechselnde Pestizidbelastungen: Mit der Fließrinnenanlage lassen sich Bedingungen nah am Freiland simulieren. (Foto: Karin Hiller)

Ausgewählte Literatur

Bundschuh, M., Pierstorf, R., Schreiber, W. H. & Schulz, R. 2011. Positive effects of wastewater ozonation displayed by in situ bioassays in the receiving stream. *Environmental Science & Technology*, 45, 3774-3780.

Knäbel, A., Stehle, S., Schäfer, R. B. & Schulz, R. 2012. Regulatory FOCUS Surface Water Models fail to predict insecticide concentrations in the field. *Environmental Science & Technology*, 46, 8397-8404.

Stehle, S., Elsaesser, D., Gregoire, C., Imfeld, G., Niehaus, E., Passeur, E., Payraudeau, S., Schäfer, R. B., Tournebize, J. & Schulz, R. 2011. Pesticide risk mitigation by vegetated treatment systems: A Meta-analysis. *Journal of Environmental Quality*, 40, 1068-1080.



Pestizide in Agrarlandschaften

Lebensvielfalt schützen

Noch weitgehend unbekannt ist, welche Tier- und Pflanzengemeinschaften in landwirtschaftlich genutzten Landschaften leben. Noch weniger weiß man über die Auswirkungen von Pestiziden in Agrarlandschaften. Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt untersuchen, wie Agrarchemikalien Insekten, Fledermäuse und Froschlurche beeinträchtigen. Die Erkenntnisse der Forscher sollen es ermöglichen, Risiken verlässlicher zu bewerten und die Lebensvielfalt zu bewahren.

*Dr. Carsten Brühl (AG Ökotoxikologie und Umwelt); Kontakt: bruehl@uni-landau.de
www.ecotox-environment.uni-landau.de*

Foto: Carsten Brühl

Landwirtschaftlich genutzte Gebiete beanspruchen in Deutschland 50 Prozent der Fläche. Rund um den Globus sieht es ähnlich aus. Der hohe Anteil an Agrarlandschaften hat erheblichen Einfluss auf die „Biodiversität“, die Vielfalt der Pflanzen und Tiere. In den europäischen Agrarlandschaften wurde beispielsweise in den vergangenen Jahrzehnten der Rückgang von Vogel- und Schmetterlingsarten beobachtet, die dort in den 1960er und 1970er Jahren noch häufig waren. Die Population des Rebhuhns hat sich in Europa seit dem Jahr 1980 um 80 Prozent verkleinert. Auch der Bestand von zuvor oft vertretenen Vogelarten wie Stare und Hausspatzen verringerte sich in den vergangenen drei Jahrzehnten um 50 Prozent. Ähnliche Bestandseinbrüche erlebten die Schmetterlinge. Bei anderen Tiergruppen scheint ein derartiger Rückgang ähnlich wahrscheinlich, dafür liegen allerdings noch keine belastbaren Daten vor.

Unser Team Gemeinschaftsökologie und Ökotoxikologie beschäftigt sich mit der Frage, welche Gründe und Prozesse eine verringerte Biodiversität bedingen. Mit einer geringeren Biodiversität büßt auch das Ökosystem Funktionen ein, die für den Menschen wichtig sind, beispielsweise eine natürliche Schädlingsbekämpfung oder die Bestäubung. In der Wissenschaft spricht man vom Rückgang „ökosystemarer Dienstleistungen“, was wir gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Umweltökonomie untersuchen. Im Mittelpunkt unserer Projekte in der terrestrischen Ökotoxikologie stehen die Pestizide: Sie werden mehrmals im Jahr und in großen Mengen in Agrarlandschaften angewandt, finden in der Agrarökologie aber bislang kaum Beachtung.

Fledermäuse in der Agrarlandschaft der Südpfalz

Zu Beginn einer agrarökologischen Untersuchung muss zunächst oft die Frage geklärt werden, ob eine bestimmte Tiergruppe eine Agrarlandschaft überhaupt nutzt. Hierzu gibt es bislang kaum Studien. In einer unserer Untersuchungen konnten wir feststellen, dass 14 Fledermausarten in der Agrarlandschaft der Südpfalz ihre Nahrung suchen, darunter die seltene Mopsfledermaus, die bislang eher großen Waldgebieten zugeordnet worden ist. Parallel zu den Fledermäusen haben wir das Vorkommen von Insekten ermittelt, die den Fledermäusen als Nahrung dienen. Dabei konnten wir feststellen, dass Pestizide die Insekten auf unterschiedliche Weise beeinflussen: Die Insekten können weniger häufig vorkommen, weil sie von ausgebrachten Insektiziden unmittelbar getötet werden – die Fledermäuse verfügen dann über eine nur noch geringe Nahrungsmenge. Pestizide können aber auch auf dem Körper der Insekten verbleiben – die Fledermäuse nehmen die Pestizide dann gemeinsam mit ihrer Insektennahrung auf. Dieser Weg der Exposition ist in Obstplantagen und Gemüsefeldern wahrscheinlich, wo zahlreiche Insekten vorkommen und große Mengen an Pestiziden ausgebracht werden; in Weinbergen hingegen sind

nur wenige Insekten zu finden. Die Anzahl der Insekten ließe sich dort durch künstliche Feuchtgebiete erhöhen, die darüber hinaus viele weitere positive Funktionen erfüllen (siehe Beitrag „Chemikalien in der Umwelt: Risiken verringern“ der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt auf Seite 18).

Frösche und Molche in landwirtschaftlich genutzten Flächen

Frösche und Molche sind weitere Tiere, die in Agrarlandschaften leben und hinsichtlich des Auswirkens von Pestiziden bislang kaum betrachtet wurden. 15 von 21 der in Deutschland vorkommenden Arten leben auch in landwirtschaftlich genutzten Flächen. In der Südpfalz sind es vor allem die Regenrückhaltebecken, die als einzig verbliebene Stehgewässer entlang des Haardtrands von den Amphibien als Laichgebiete genutzt werden können.

Amphibien atmen mit ihrer Haut. Die Amphibienhaut ist daher im Unterschied zu der als Barriere dienenden Haut der



*Bislang bei der EU-weiten Zulassung von Pflanzenschutzmitteln noch nicht berücksichtigt: Fledermäuse wie das Mausohr *Myotis myotis*. (Foto: Peter Stahlschmidt)*

Säugetiere sehr durchlässig. Die Annahme, dass Pestizide von Amphibien wegen der besonderen Hautstruktur sehr schnell aufgenommen werden, hat sich in den letzten Jahren bestätigt. In einem vom Umweltbundesamt finanzierten Forschungs- und Entwicklungsprojekt konnten wir zeigen, dass Pestizide für Amphibien hochgiftig sind: Wenn junge Grasfrösche aufgrund des Überspritzens von Feldern mit Fungiziden in Kontakt kommen, sterben sie bereits nach einer Stunde. Andere frei verkäufliche Mittel zeigen nach einer Woche Einwirkungszeit Sterblichkeitswahrscheinlichkeiten von 40 Prozent und mehr. Eine derart hohe Sterblichkeit ist alarmierend. Sie könnte ein wichtiger Grund für den weltweit zu beobachtenden Rückgang von Amphibienpopulati-

„Die Hälfte aller sogenannten
Schutzgebiete in den Tropen
erfüllt ihre Funktion nicht.“



Harpegnathos venator – die in Südostasien beheimatete Ameise jagt in der Laubstreuerschicht. (Foto: Carsten Brühl)

onen sein. Einer unserer künftigen Forschungsschwerpunkte gilt daher der Frage, warum die Toxizität derart hoch ist. Gemeinsam mit dem Team Naturschutzgenetik wollen wir darüber hinaus die Folgen, die Pestizide für Amphibien haben, auf populationsgenetischer Basis untersuchen.

Saumflächen: gefährdete Lebensräume

In Agrarlandschaften sind die schmalen Säume rund um die Felder oft die einzige ungenutzte Struktur. Eine von uns in der Südpfalz vorgenommene Landschaftsanalyse hat ergeben, dass 85 Prozent der Feldsäume weniger als drei, häufig sogar nur einen Meter breit sind. Das ist ein Problem, weil die Saumflächen mit Agrarchemikalien, die auf den unmittelbar angrenzenden Feldern ausgebracht werden, belastet werden. In einem mehrjährigen Freilandexperiment konnten wir zeigen, dass Herbizide, die auf den Feldern eingesetzt werden, um Unkraut zu bekämpfen, in angrenzenden Feldsäumen dafür sorgen, dass einst so häufige Pflanzen wie der Scharfe Hahnenfuß – im Volksmund auch Butterblume genannt – nicht mehr blühen und nach mehrjähriger Herbizidexposition schließlich ganz verschwinden. Die Blüten des Hahnenfußes werden von über 100 Insektenarten besucht: Ein Verlust der im Feldsaum heimischen Pflanze geht mit weitreichenden Folgen auch auf höheren Ebenen des Nahrungsnetzes einher. Vom Klappertopf – eine wichtige Nektarpflanze für viele, mittlerweile selten gewordene Hummelarten – ist bekannt, dass er verschwindet, wenn er auch nur ein einziges Mal Kontakt mit Herbiziden hatte.

Auch der Eintrag von Dünger kann Pflanzengemeinschaften verändern. Diese Veränderungen beeinträchtigen wiederum Spinnen, die in der Vegetation leben. Das haben wir gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Ökosystemanalyse herausgefunden. Die Interaktionen sind vielfältig und komplex – viele davon werden in den Verfahren zur Bewertung der Umwelt-

verträglichkeit während der Zulassung von Pestiziden bislang nicht berücksichtigt. Wir wollen die Datengrundlage für die Bewertungsverfahren verbessern und hoffen darauf, dass unsere wissenschaftliche Arbeit in die gesetzlichen Regelungen unmittelbar einfließen wird.

Agrarlandschaft der Tropen

Besonders stark umgeformt wird die Landschaft zur landwirtschaftlichen Nutzung in den Tropen. Eine besondere Rolle spielen hier Ölpalmenplantagen, um Biokraftstoffe zu gewinnen. Auf Borneo beobachten wir schon seit den 1990er Jahren, wie sich Plantagenlandschaften auf Kosten der Regenwälder ausbreiten, und wir bewerten, wie sich der Schwund auf die Biodiversität auswirkt. Gemeinsam mit Kollegen von der Universität Basel untersuchen wir derzeit, wie Insekten – sie weisen in tropischen Regenwäldern die größte Biodiversität auf – als Indikatoren genutzt werden können, um Schutzgebiete auszuweisen. Ameisen, von denen es auf Borneo über 800 verschiedene Arten gibt, sind aufgrund ihrer vielfältigen Funktionen, die sie für das Ökosystem erbringen, als Indikatoren besonders geeignet. Das „Herz von Borneo“, ein neu geplantes Schutzgebiet, ist womöglich die letzte Chance, um die Biodiversität der auf Borneo verbliebenen Regenwälder Südostasiens für künftige Generationen zu bewahren.

Rund die Hälfte der sogenannten Schutzgebiete in den Tropen erfüllt ihre Schutzfunktion nicht. Die Gebiete sind von vielen externen Faktoren bedroht. Wir wollen in zukünftigen Projekten die Gefährdung durch Pestizide bewerten, die bei tropischen Kulturpflanzen wie Bananen oder Zuckerrohr in großer Anzahl und in großen Mengen angewendet werden: Sie können unmittelbar benachbarte, aber auch noch bis zu 400 Kilometer entfernte Schutzgebiete beeinträchtigen.

Bei der Zulassung von Pestiziden werden Amphibien, die auf landwirtschaftlich genutzten Flächen leben, bislang nicht berücksichtigt. Im Bild: eine junge europäische Wechselkröte in einem Weinberg in Süddeutschland. (Foto: Carsten Brühl)

Ausgewählte Literatur:

Brühl, C. A., Pieper, S. & Weber, B. 2011. Amphibians at risk? Susceptibility of terrestrial amphibian life stages to pesticides. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30 (11), 2465–2472.

Brühl, C. A. & Eltz, T. 2010. Fuelling the crisis: Species loss of ground-dwelling forest ants in oil palm plantations in Sabah, Malaysia (Borneo). *Biodiversity & Conservation*, 19, 519–529.

Stahlschmidt, P. & Brühl, C. A. 2012. Bats at risk? Bat activity and residue analysis of food items following insecticide applications in an apple orchard. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31 (7), 1556–1563.

Abwasser aus Olivenölproduktion

Dünger oder Gift?

Olivenöl gilt als gesund – die Abwässer aus der Olivenölproduktion sind es nicht. In einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt erkunden Wissenschaftler der Landauer Arbeitsgruppe Umwelt- und Bodenchemie gemeinsam mit Kollegen aus Israel und dem Westjordanland, wie sich die Abwässer ohne negative Effekte auf Boden und Umwelt entsorgen lassen.

Benjamin Peikert (AG Umwelt- und Bodenchemie); Kontakt: peikert@uni-landau.de

*Prof. Dr. Gabriele E. Schaumann (AG Umwelt- und Bodenchemie); Kontakt: schaumann@uni-landau.de
www.trilat-oliveoil.uni-landau.de*

Olivenöl gilt als gesund und ist ein weltweit gefragtes Konsumgut. Nahezu 95 Prozent aller Olivenbäume finden sich im Mittelmeerraum und im Nahen Osten. In vielen Ländern des Nahen Ostens ist fast die Hälfte des Ackerlandes mit oft jahrhundertealten Olivenbäumen bestanden, etwa in Palästina. Dort bestimmt die Olivenölproduktion das Leben von rund 30 Prozent der palästinensischen Familien. Auch in Israel erfolgt ein intensiver Olivenanbau in Plantagen.

Im Gegensatz zur gesundheitsfördernden Wirkung des Olivenöls ist das während seiner Produktion entstehende Abwasser von höchst zweifelhafter Qualität: Es enthält giftige Substanzen, vor allem seine phenolischen Inhaltsstoffe sind toxisch für Pflanzen und Mikroorganismen. Weil das Abwasser den Klärprozess empfindlich stört, wird es in vielen Ländern von den Kläranlagen nicht mehr angenommen. Stattdessen wird es oftmals auf den Äckern entsorgt. Dort hemmt es das Auskeimen der Samen und steht zudem in Verdacht, die Böden wasserabweisend zu machen; der Fachmann spricht von „Hydrophobierung“. Unsere Arbeitsgruppe will gemeinsam mit Wissenschaftlern aus Israel und dem Westjordanland Lösungen für das Abwasserproblem finden.

Olivenölgewinnung in drei Phasen

Olivenöl wird heute oft in einem „Drei-Phasen-Prozess“ gewonnen. Dieses Verfahren hat die traditionelle Herstellungsmethode, bei der kein Abwasser, sondern ein Presskuchen

entsteht, nahezu abgelöst. Als die Drei-Phasen-Gewinnung vor einigen Jahren eingeführt wurde, war die Gefährdung durch das Abwasser noch nicht bekannt. Zunächst wird den zerkleinerten Früchten Wasser zugegeben und alles kräftig verrührt. Diese Mischung wird dann in eine horizontale Zentrifuge eingebracht, wo sich während der Rotation Wasser, Öl und Feststoffe voneinander trennen, die sich kontinuierlich über seitliche Öffnungen ableiten lassen. Auf diese Weise entstehen drei Phasen: Das fertige Olivenöl, feste Abfälle und das Abwasser. Pro Tonne Oliven entstehen bei diesem Verfahren etwa ein bis 1,2 Kubikmeter Abwasser. Mittlerweile wurde mit einem Zwei-Phasen-Prozess zwar ein fortschrittlicheres Verfahren entwickelt, das mit weniger Wasser auskommt und das kein Abwasser, sondern nur eine einzige Abfallphase entstehen lässt. Viele kleinere Betriebe können sich die Umstellung zum teureren Zwei-Phasen-System jedoch nicht leisten und arbeiten weiterhin in drei Phasen.

Große Abwassermengen in kurzer Zeit

Olivenöl wird saisonal, unmittelbar nach der Ernte der Früchte im Winter hergestellt. Das Abwasser fällt deshalb in großen Mengen in vergleichsweise kurzer Zeit an. Weil die kommunalen Kläranlagen das problematische Abwasser nicht annehmen, stehen viele Betriebe vor der Frage, wie sie damit verfahren sollen. Häufig wird es in Tanks eingebracht oder in offene Gruben gefüllt, wo es unter der Sonneneinstrahlung



lung und teilweise starker Geruchsbelästigung eintrocknet. Es kommt auch vor, dass Abwasser illegal in der Landschaft entsorgt wird, etwa in ausgetrockneten Flussbetten. Das hat schwere ökologische Folgen für den Boden, das Grundwasser und die Küstengebiete.

In Israel und vielen weiteren Mittelmeerländern gilt seit dem Jahr 2012 mangels einer besseren Lösung die folgende Regel: Abwasser, das aus der Produktion von Olivenöl stammt, darf auf landwirtschaftlich genutzte Flächen nur unter strenger Mengenbegrenzung ausgebracht werden. Es ist durchaus bekannt, dass das Abwasser toxisch ist, die Keimung vieler Samen verhindern und den Boden wasserabweisend machen kann. Das aber kann dramatische Folgen haben: Wenn der Boden dauerhaft weniger Wasser aufnimmt oder die Aufnahme von Wasser gar völlig unmöglich wird, muss – gerade in Ländern mit ohnehin großer Wasserknappheit – damit gerechnet werden, dass das Land verödet.

Veränderte Ausbringungsmethoden

In einer ersten Studie untersuchte unsere Arbeitsgruppe gemeinsam mit israelischen und palästinensischen Kooperationspartnern Bodenproben vor Ort in Israel und im Westjordanland. Diese Böden waren mehrfach Abwasser aus der Olivenölproduktion ausgesetzt. Unsere Untersuchungen konnten bestätigen, dass das Abwasser das Auskeimen von Samen hemmt und den Boden wasserabweisend werden

Bild links: Eine Familie aus dem Westjordanland bei der Olivenernte. (Foto: Hans-Jörg Vogel)

Bild Mitte: Vor dem Extraktionsprozess werden die Oliven gereinigt. (Foto: Markus Kurtz)

Bild rechts: Das nach dem Zentrifugieren abgetrennte Abwasser wird aufgefangen. (Foto: Tasneem Jabari)



Wie schnell dringt ein Abwassertropfen in die Erde ein? Um das zu messen, geben die Wissenschaftler einen Tropfen Wasser auf eine Bodenprobe. Deutlich zu erkennen ist, dass der Tropfen zunächst wenig Kontakt mit dem Boden hat (starke Krümmung links). Sobald er mehr Kontakt mit der Oberfläche bekommt, wird gemessen, wie lange es dauert, bis der Wassertropfen gänzlich in den Boden eingedrungen ist. Dafür sind oft 20 Minuten und mehr erforderlich. (Foto: Thomas Metten)

lässt. Die in unserer Studie ermittelten Effekte fielen oft deutlich stärker aus als die bislang in der Literatur beschriebenen. Ein Ausweg könnten neue Behandlungstechnologien für Abwasser sein. Sie werden derzeit weltweit erforscht. In den ärmeren Ländern wird man sich jedoch auch langfristig keine dieser neuen und teuren Technologien leisten können. Was es zu entwickeln gilt, sind einfache Behandlungsmöglichkeiten – oder veränderte, sich weniger schädlich auswirkende Ausbringungsmethoden.

Das Positive fördern

Den negativen Effekten, die das Abwasser für den Boden hat, stehen positive Effekte gegenüber: Es enthält Stickstoff, Kalium und Phosphor sowie weitere organische und mineralische Substanzen, die als Dünger wirken können. Ein Ausbringen des Abwassers auf den Boden könnte also durchaus die Bodenqualität und -produktivität verbessern – wenn es möglich wäre, die negativen Effekte auszuschließen. Dieser Herausforderung hat sich unsere Arbeitsgruppe im Forschungsprojekt OLIVEOIL gemeinsam mit unseren Partnern aus Israel und dem Westjordanland gestellt. In zwei umfangreichen Feldstudien untersuchen wir derzeit im Westjordanland und in Israel, welche Wirkungen das Abwasser auf den Boden hat. Darüber hinaus analysieren wir den Einfluss von Temperatur und Bodenfeuchte. Der Grundgedanke dabei ist, dass das Abwasser traditionell im Winter ausgebracht wird,

in einer Zeit also, in der es in Israel kalt und nass ist. Mikroorganismen, die dazu in der Lage sind, giftige und hydrophobierende Substanzen abzubauen, finden während des israelischen Winters also sehr ungünstige Bedingungen vor. Mit unserer Feldstudie wollen wir ermitteln, welche Bedingungen gegeben sein müssen, damit Mikroorganismen die im Abwasser enthaltenen toxischen und hydrophobierenden Substanzen abbauen können. Langfristig soll erreicht werden, dass sich „nur noch“ die positiven Effekte des Abwassers bemerkbar machen.

Unsere ersten Ergebnisse zeigen deutliche, bereits nach der ersten Ausbringung zu erreichende Effekte sowie markante Unterschiede in den Behandlungsvarianten. Erste Anzeichen gibt es auch dafür, dass das Ausmaß der Hydrophobierung über die Bedingungen der Ausbringung gesteuert werden kann.

Parallel zur Arbeit vor Ort untersuchen wir die Bodenproben in unserem Landauer Labor. Unser Ziel ist es herauszufinden, wie sich die organischen Substanzen im Laufe der Zeit verändern und inwieweit sie abgebaut werden. Damit lässt sich möglicherweise die Frage beantworten, wie lange und wie stark die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens bei verschiedenen Behandlungsvarianten beeinträchtigt ist. Unsere Ergebnisse deuten derzeit darauf hin, dass die ersten Wochen nach der Ausbringung darüber entscheiden, ob sich negative Auswirkungen einstellen oder ausbleiben.

„In Feldstudien wollen wir ermitteln, unter welchen Bedingungen Mikroorganismen die im Abwasser enthaltenen giftigen Substanzen abbauen können.“

Probennahme im Wadi Qana im Westjordanland: Das Gewässer ist mit Abwässern aus der Olivenölproduktion stark verschmutzt, Flora und Fauna entlang der Verschmutzung sind zerstört. (Foto: Yaron Hershkovitz)

Ausgewählte Literatur:

Saadi, I., Laor, Y., Raviv, M., Medina, S. 2007. Land spreading of olive mill wastewater: Effects on soil microbial activity and potential phytotoxicity. *Chemosphere*, 66 (1), 75-83.

Schaumann, G. E., Borisover, M., Nasser, A., Bukhanovsky, N., Hassan, J., MareiSawalha, A. 2010. Potential effects of olive oil production waste water on soil quality. *Acta Horticulturae*, 888, 337-344.

Laor, Y., Raviv, M., Capua, S. 2007, 3-5 October. The Israeli olive oil industry and viable solutions for its associated wastes. *Proceeding of the International Conference on New Technologies for the Treatment and Valorization of Agro Byproducts*. Terni, Italy.





Nanopartikel auf dem Körper eines Wasserfloh. (Foto: Ricki Rosenfeldt/Frank Seitz)

Nanopartikel in der Umwelt

Unerwartet mobil

Immer mehr Nanomaterialien werden in Konsumgütern verwendet. Doch wo Nanomaterialien drin sind, können Nanomaterialien auch raus. Wie sich die winzigen Partikel aber verhalten, wenn sie in die Umwelt gelangen und welche biologische Wirkungen sie dort entfalten, ist noch wenig erforscht. Die Landauer Arbeitsgruppen Umwelt und Bodenchemie sowie Ökotoxikologie und Umwelt verfolgen das Schicksal und die Wirkung der Nanoteilchen im Wasser und auf dem Land.

Prof. Dr. Gabriele E. Schaumann (AG Umwelt- und Bodenchemie); Kontakt: schaumann@uni-landau.de

Prof. Dr. Ralf Schulz (AG Ökotoxikologie und Umwelt); Kontakt: schulz@uni-landau.de

www.internano.uni-landau.de

Ob Sonnenschutzmittel oder Kosmetika, Funktionskleidung oder Waschbecken – viele Konsumgüter enthalten heute Nanomaterialien. Die zehn bis 100 Millionstel Millimeter kleinen, künstlich hergestellten Partikel und Strukturen bewirken, dass Hausfassaden Wasser abweisen, Waschbecken nicht verkalken und Socken nicht unangenehm riechen. Nahezu alle Konsumgüter, die Nanopartikel enthalten, können Nanopartikel auch freisetzen. Über die Toxizität und die Reaktionen von Nanopartikeln in der Umwelt ist derzeit jedoch noch sehr wenig bekannt und Vorhersagen sind schwierig. Erst wenn detailliert verstanden ist, wie Nanopartikel auf Umwelt und Organismen einwirken, lässt sich ihre Umweltrelevanz zuverlässig einschätzen. Weil die Wirkung von Nanopartikeln und die Prozesse, die ihre Funktionsweise in der Umwelt bestimmen, eng miteinander verwoben sind, besteht genau an dieser Schnittstelle ein besonders großer Forschungsbedarf. Eine weitere Herausforderung der Umweltnanoforschung ist, Methoden zu entwickeln, mit denen sich Nanopartikel trotz geringster Konzentration in der Umwelt auffinden und charakterisieren lassen.

Wissenschaftler des Instituts für Umweltwissenschaften

Landau erforschen bereits seit dem Jahr 2008 synthetische Nanopartikel, ihre umweltchemischen Veränderungen und die daraus resultierenden biologischen Wirkungen. Dank der Unterstützung des rheinland-pfälzischen Wissenschaftsministeriums, insbesondere durch den Aufbau eines modernen nanoanalytischen Labors, konnte die Nanoforschung am Institut für Umweltwissenschaften Landau inzwischen erfolgreich etabliert werden.

Ende des Jahres 2011 richtete die Deutsche Forschungsgemeinschaft zusätzlich die Forschergruppe INTERNANO mit Sprecherschaft am Institut für Umweltwissenschaften Landau (Prof. Dr. Gabriele E. Schaumann) ein. Am Beispiel von Nanosilber und Nano-Titandioxid sollen diejenigen Prozesse identifiziert werden, die das Schicksal von Nanopartikeln in Land-Wasser-Ökosystemen bestimmen. Darüber hinaus soll verstanden werden, was die Transformation für die biologische Wirkung der Nanopartikel bedeutet. In Landau werden von den Arbeitsgruppen Umwelt- und Bodenchemie sowie Ökotoxikologie und Umwelt zwei INTERNANO-Teilprojekte bearbeitet: In Labor- und Modellsystemen simulieren die Wissenschaftler mit steigender Komplexität – von der Milli-

meter- bis zur Meter-Skala – gezielt die Bedingungen, die typisch für den Gewässerraum sind. Als Laborsysteme dienen ihnen Bodensäulen, Mikrokosmen und Fließrinnen, die anschließend in ein umfassendes „Land-Wasser-Modellsystem“ zusammengeführt werden.

Veränderung von Nanopartikeln in der Umwelt

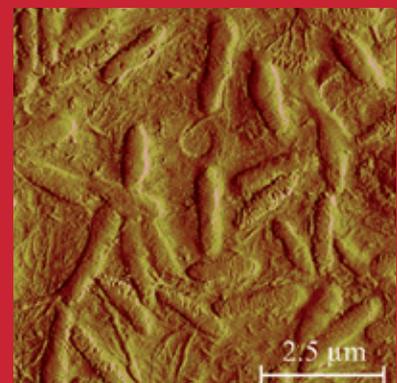
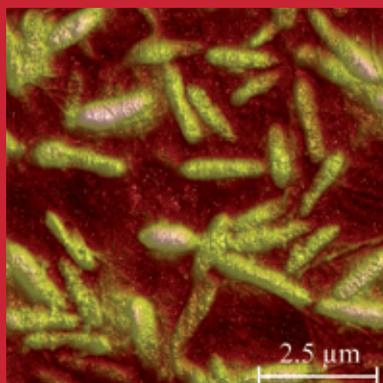
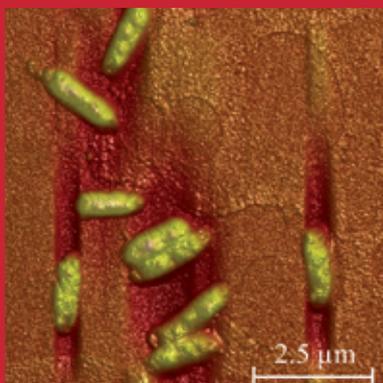
Nanopartikel, die in Gewässer gelangen, kommen nicht nur mit Sedimenten und organischen Schwebstoffen, sondern auch mit den dort lebenden Pflanzen und Tieren in Kontakt. Um zu untersuchen, wie Nanopartikel mit Umweltmaterialien, Bakterien, Pflanzen und Organismen wechselwirken und wie sie sich dabei verändern, haben Wissenschaftler beider Arbeitsgruppen ein neues Verfahren entwickelt, das noch geringste Mengen synthetischer Nanopartikel in kleinsten Umweltproben und kleinsten Organismen, beispielsweise in Wasserflöhen, nachweisen und messen kann. Im Unterschied zu „klassischen“ Chemikalien ist bei Nanopartikeln nicht nur die Konzentration entscheidend für die Wirkung, sondern auch die Größe der Partikel, ihre Oberflächenladung und Oberflächenbeschaffenheit. Diese Eigenschaften von Nanopartikeln verändern sich je nach Umwelt kontinuierlich, was sich wiederum unmittelbar auf die Mobilität der Nanopartikel, ihre biologische Wirkung und ihre Bereitschaft auswirkt, an verschiedenen Oberflächen zu haften. Unter welchen Bedingungen Nanopartikel beispielsweise als Partikel erhalten bleiben oder zu größeren Gruppen zusammenklumpen, ist ebenso unbekannt wie die Wechselwirkung von Nanopartikeln mit natürlichen organischen Substanzen und Sedimenten. Die Landauer Wissenschaftler entwickeln deshalb zurzeit Methoden, um die noch weitgehend unbe-

kannten Oberflächeneigenschaften von Nanopartikeln und deren umweltbedingte Veränderungen zu erforschen. Dazu bedienen sie sich einschlägiger Verfahren wie der dynamischen Lichtstreuung, der Nanotrackinganalyse oder mikroskopischer Methoden, zusätzlich entwickeln sie gekoppelte chromatographische Systeme (HDC und Elektrophorese). Die Rasterkraftmikroskopie kann in Kombination mit der chemischen Kraftmikroskopie und der Nanothermoanalyse kleinste Strukturen in Umweltproben sichtbar machen. Mit diesen Verfahren betreten die Landauer Forscher Neuland in der umweltwissenschaftlichen Forschung.

Nanopartikel in Boden und Gewässern

Synthetische Nanopartikel sind im Boden unerwartet mobil – ein „Nanoeffekt“ im Boden kann also nicht ausgeschlossen werden. Mit dem Rasterkraftmikroskop konnten wir beispielsweise sichtbar machen, dass Nanosilber-Partikel, die mit Bakterien in Kontakt kommen, zu einem Kollaps der bakteriellen Zellstruktur führen. Warum es zum Zusammenbruch der zellulären Strukturen kommt, untersuchen unsere Arbeitsgruppen in Landau gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Mikrobiologie von Professor Werner Manz am Institut für Integrierte Naturwissenschaften am Campus Koblenz. Auch auf Blättern haften Nanopartikel, sie verstopfen dort die Spaltöffnungen und wirken nanochemisch auf die Blätter ein.

Titandioxid-Nanopartikel besitzen unter bestimmten Bedingungen Eigenschaften, die sie dazu befähigen, sich verstärkt an Oberflächen anzulagern. In aquatischen Systemen kann dies zu einem „Biological Surface Coating“ führen, beispielsweise bei Wasserflöhen (*Daphnia*): Im Labor konnten wir



Mit einem Rasterkraftmikroskop wurden ein bakterieller Biofilm und die Oberfläche eines Blattes aufgenommen. Bild A und B zeigen den Biofilm des Bakteriums *Aquabacterium citratiphilum* vor (A) und nach (B) der Behandlung mit Silbernanopartikeln. Das Bild C zeigt die Oberfläche eines Blattes mit daran anhaftenden Silbernanopartikeln; gut sichtbar ist auch die Fältelung der Blattoberfläche. (AFM-Aufnahmen: P. M. Abraham)

beobachten, wie sich die Nanopartikel an die Außenhaut der Organismen anlagern. Negative Folgen dieser Oberflächenbesiedlung haben wir nach einer Versuchsdauer von 96 Stunden festgestellt. Diese große Zeitspanne erklärt, warum vorangegangene Studien keine Effekte von Titandioxid-Nanopartikeln nachweisen konnten: Die Versuchsdauer für den herkömmlichen Standardtest mit *Daphnia* zur Risikobewertung von Chemikalien beträgt nur 48 Stunden. Unser Befund zeigt, wie dringend es geboten ist, die bestehenden Regularien für die Testung von Chemikalien an die neuen Nanomaterialien anzupassen. Ob das im Labor zu beobachtende „Biological Surface Coating“ auch in Gewässern vorkommt, kann nach heutigem Wissensstand noch nicht beurteilt werden.

Positive und negative Umwelteffekte

Keineswegs ist es so, dass Nanomaterialien ausschließlich negative Effekte auf Gewässerorganismen haben. In unseren Landauer Laboratorien wurde beispielsweise die Wirkung einer Kombination aus Titandioxid-Nanopartikeln, ultravioletter Strahlung und einem Insektizid untersucht. Das Insektizid alleine, zeigte sich während der Versuche, hat einen deutlich negativen Effekt auf Wasserflöhe. Wenn jedoch gleichzeitig Titandioxid-Nanopartikel zusammen mit im Freiland üblichen ultravioletten Lichtintensitäten vorhanden sind, verschwinden die negativen Effekte des Insektizides komplett. Dieses Phänomen lässt sich folgendermaßen erklären: Die Nanopartikel tragen bei ultraviolettem Licht dazu bei, dass sich reaktive Sauerstoffmoleküle bilden. Diese Moleküle verändern das Insektizid so, dass seine Toxizität schwindet. Die positive Wirkung der Nanopartikel wird in unserer Arbeitsgruppe derzeit auf ihre Anwendung erprobt, beispielsweise um Mikroschadstoffe aus Abwasser zu entfernen.

„Wir wollen Methoden entwickeln, mit denen Nanopartikel trotz geringster Konzentration in der Umwelt aufzuspüren sind.“

Ausgewählte Literatur:

Dabrunz, A., Düster, L., Prasse, C., Seitz, F., Rosenfeldt, R., Schilde, C., Schaumann, G. E., Schulz, R. 2011. Biological Surface Coating and Molting Inhibition as Mechanisms of TiO₂ Nanoparticle Toxicity in *Daphnia magna*. PLoS ONE, 6 (5), e20112. doi: 20110.21371/journal.pone.0020112.

Düster, L., Rakcheev, D., Bayer, J. V., Abraham, P. M., Dabrunz, A., Schulz, R., Schaumann, G. E. 2011. A robust, particle size independent, method for quantifying metal(loid oxide) nanoparticles and their agglomerates in complex environmental matrices by electrothermal vaporisation coupled to ICP-MS. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 26, 450-455. DOI:10.1039/C0JA00149J.

Seitz, F., Bundschuh, M., Dabrunz, A., Bandow, N., Schaumann, G.E., Schulz, R., 2012. Titanium dioxide nanoparticles detoxify pirimicarb under UV irradiation at ambient intensities. Environmental Toxicology and Chemistry, 31, 518-523.

Materialforschung

Vielversprechende Kombinationen

Mit einer neuartigen Stoffklasse, den anorganisch-organischen Hybridkieselgelen, beschäftigen sich die Wissenschaftler der Landauer Arbeitsgruppe Organische und Ökologische Chemie. Sie untersuchen die Eigenschaften der Materialien und verändern sie gezielt, um sie für ökologische Fragestellungen anzupassen – ein praktisches Beispiel ist die Fixierung organischer Moleküle im Abwasser.

*Jun.-Prof. Dr. Katrin Schuhen (AG Organische und Ökologische Chemie); Kontakt: schuhen@uni-landau.de
www.oekochemie.uni-landau.de*

Die Natur bevorzugt kompakte Systeme, um unbelebte Materie aufzubauen. Anders ausgedrückt: Sie vermeidet Grenzflächen, weil das mit Energieaufwand verbunden ist. Trotz dieser Vorliebe gibt es in der Natur poröse Stoffe – Stoffe mit einer großen Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis. Sie müssen allerdings kinetisch hinreichend stabil sein. Beispiele sind poröse Gesteinsarten wie Vulkangestein und Basalt oder die skelettartigen anorganischen Strukturen von Kieselalgen und Schwämmen. Auch von Menschenhand hervorgebrachte Objekte des alltäglichen Gebrauchs richten sich nach diesem Prinzip, etwa gebrannte Tonkrüge, Korken oder Styropor.

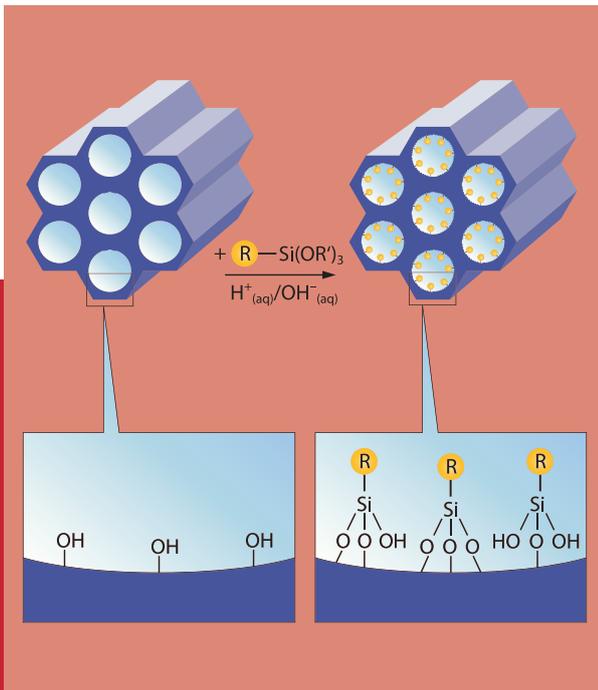
Ein Beispiel für eine technisch hergestellte Materialklasse, die sich durch sehr große Oberflächen und geordnete Porensysteme auszeichnet, sind die „strukturierten mesoporösen Kieselgele“ (Silicas). Mit ihnen begab sich die einschlägige Forschung Anfang der 1990er Jahre auf neues Terrain, weil die bis dahin auf zirka 15 Ångström beschränkte Porenweite sogenannter zeolithischer Molekularsiebe überwunden werden konnte. Mesoporöse Kieselgele besitzen nicht nur sehr große Oberflächen, geordnete Porensysteme und scharfe Porenradienverteilungen. Sie haben außerdem Porendurchmesser von rund zwei bis zehn Nanometer und weisen röntgenamorphe Porenwände auf. Zu den bekanntesten Vertretern dieser Materialklasse zählen die Silicafestkörper MCM-41 (mit hexagonaler Anordnung), MCM-48 (mit

kubischer Anordnung) und MCM-50 (mit lamellarer Anordnung der Mesoporen).

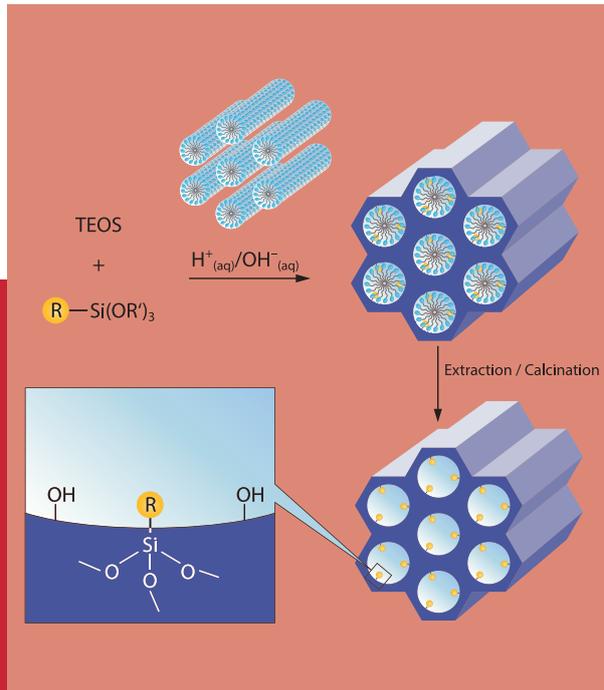
„Aus der Symbiose organischer und anorganischer Bausteine können Materialien entstehen, die sich in ihren Eigenschaften erheblich von denen ihrer einzelnen Komponenten unterscheiden und sogar gänzlich neue Merkmale aufweisen.“

Bei den „anorganisch-organischen Hybridkieselgelen“ handelt es sich um Materialien, für die die Eigenschaften organischer und anorganischer Bausteine vereinigt worden sind. Aus Sicht der Materialwissenschaftler sind solche Hybridkieselgele äußerst reizvoll, lassen sich mit ihnen doch die zahllosen Variationsmöglichkeiten der organischen Chemie mit den Vorteilen kombinieren, die ein thermisch stabiles und robustes Substrat bietet. Prinzipiell können aus dieser Symbiose Materialien oder Werkstoffe entstehen, die sich in ihren Eigenschaften erheblich von den Eigenschaften ihrer Einzelkomponenten unterscheiden und sogar gänzlich neue Merkmale aufweisen.

Die zusätzliche Möglichkeit, die Polarität der Porenoberfläche gezielt einzustellen oder mittels hinzugefügter funktioneller Gruppen Andockstationen für organische oder anorganische Verbindungen zu schaffen, erweitert das Einsatzspektrum der Hybridkieselgele erheblich. In diesem



Während der sogenannten postsynthetischen Funktionalisierung werden Kieselgele chemisch gezielt verändert.



Die „Co-Kondensationsmethode“ erlaubt es, organisch-anorganische Hybridmaterialien aufzubauen.

Zusammenhang spielt die Modifizierung mit organischen Funktionen wie C-C-Mehrfachbindungen, Alkoholen, Thio- len, Sulfon- und Carbonsäuren oder Aminen eine herausra- gende Rolle. Damit können beispielsweise organisch-chemische oder biochemische Umsetzungen ortsgebunden an einer festen, stabilen Matrix erfolgen. Die Modifizierung der Oberfläche erlaubt es, die Eigenschaften von Grenzflächen an die Anforderungen der jeweiligen Anwendung anzupas- sen – die mechanische Eigenschaft des Basispolymers aber bleibt erhalten. Für viele technische Prozesse sind die Ober- flächeneigenschaften von Festkörpern wichtig, beispie- lweise die Benetzbarkeit durch Flüssigkeiten, die Reaktions- freudigkeit der oberflächlich zugänglichen funktionellen Gruppen gegenüber organischen und anorganischen Ver- bindungen oder für das Anwachsen von organischen Mate- rialien wie Knochen auf anorganischen Implantaten.

Wir arbeiten in der Forschergruppe Organische und Öko- logische Chemie an Methoden, mit denen die chemischen und morphologischen Eigenschaften von Grenzflächen bestimmt werden können. Darüber hinaus versuchen wir, durch Modifikationen, Funktionalisierungen und Anpas- sungen der Grenzflächen gezielt Veränderungen der Eigen- schaften herbeizuführen. Dazu werden die Oberflächen im Mikro- oder Nanometer-Bereich strukturiert und mit chemi- schen Oberflächeneigenschaften ausgestattet, die für weite- re chemische Umsetzungen zu nutzen sind.

Hybridkieselgele in der Abwasserreinigung

Anfang der 1990er Jahre wurde in Berliner Trinkwasserquellen ein Medika- ment zur Senkung erhöhter Blutfettwerte gefunden – die Clofibrinsäure. Seither erschienen zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen, die vom verbreiteten Vorkommen bedenklicher Substanzen in nahezu allen Oberflächengewässern Deutschlands, im Grundwasser und vereinzelt sogar im Trinkwasser berichteten – ein Befund, der nicht nur für Deutschland, sondern auch für andere Länder rund um den Globus gilt. Auf Basis des aktuellen Wissensstandes erarbeitet die Arbeitsgruppe Organische und Ökologische Chemie des Instituts für Umweltwissenschaften Landau neue Konzepte, um organische Stressoren nachhaltig an neuartige Materialien wie die anorganisch-organischen Hybridkieselgele zu fixieren und auf diese Weise unschädlich zu machen.

Ausgewählte Literatur:

- Kresge, C. T., Leonowicz, M. E., Roth, W. J., Vartuli, J. C. & Beck, J. S. 1992. *Nature*, 359, 710-712.
- Beck, J. S., Vartuli, J. C., Roth, W. J., Leonowicz, M. E., Kresge, C. T., Schmitt, K. D., Chu, C. T.-W., Olson, D. H., Sheppard, E. W., McCullen, S. B., Higgins, J. B. & Schlenker, J. L. 1992. *Journal of the American Chemical Society*, 114, 10834 – 10843.
- Attard, G. S., Glyde, J. C. & Göltner, C. G. 1995. *Nature*, 378, 366–368.
- Moreau, J. J. E., Pichon, B. P., Wong Chi Man, M., Bied, C., Pritzkow, H., Bantignies, J.-L., Dieudonné, P. & Sauvajol, J.-L. 2004. *Angewandte Chemie*, 116, 205-208.
- Schulte-Oehlmann, U., Oetken, M., Bachmann, J., Oehlmann, J. 2004. pp. 233-247 in K. Kümmerer, editor. *Pharmaceuticals in the environment. Sources, fate, effects and risks*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.



Ameisen pflegen Blattläuse auf dem Blatt eines Kirschbaums. (Foto: Sonja Stutz)

Natürliche Schädlingskontrolle

Die unterschätzten Dienstleistungen der Natur

Ökosysteme übernehmen kostenlos vielfältige Aufgaben zum Nutzen des Menschen. Ein Beispiel für die zumeist unterschätzten Ökosystemdienstleistungen ist die natürliche Kontrolle von Schädlingen. Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Ökosystemanalyse zeigen auf, wie die Landwirtschaft die Dienste der Natur für sich beanspruchen kann, beispielsweise um Pestizide einzusparen und Erträge zu steigern.

*Prof. Dr. Martin Entling (AG Ökosystemanalyse); Kontakt: entling@uni-landau.de
www.ecosystem.uni-landau.de*

Dank einer intensivierten Landwirtschaft ließ sich die Ernte in den vergangenen Jahrzehnten deutlich steigern. Die biologische Vielfalt, die „Biodiversität“, der Agrarlandschaft aber hat gelitten. Ehemals häufige Arten wie Feldlerche und Hamster stehen heute als gefährdet auf der Roten Liste. Vom Rückgang betroffen sind auch Lebewesen, die in der Landwirtschaft unverzichtbare Dienste erfüllen. So wird weltweit ein Rückgang von Bestäubern beklagt: Honigbienen leiden unter Insektiziden und eingeschleppten Krankheiten, Hummeln und zahlreiche andere Wildbienenarten ziehen sich zurück. Diese Entwicklung kann fatale Folgen haben, denn ein Drittel der Anbaufläche und drei Viertel aller Kulturpflanzen profitieren von der Bestäubung durch Insekten.

Ohne Bestäuber bilden viele Obst- und Gemüsesorten keine Früchte: Kürbispflanzen beispielsweise haben getrennte männliche und weibliche Blüten. Damit Kürbisse entstehen, müssen Insekten den Pollen von einer Blüte zur anderen transportieren. Andere Pflanzen wie Kirschbäume sind „selbst-inkompatibel“. Ihre zwittrigen Blüten enthalten zwar Pollen – Früchte bilden sie aber nur dann, wenn ein Insekt Pollen von einem zum anderen Kirschbaum bringt. In der Arbeitsgruppe Ökosystemanalyse untersuchen wir, wie sich

die Bestäubung von Nutzpflanzen wie Kirschen und Kürbisse durch Hummeln und andere Wildbienen steigern lässt.

Die „Arbeitsplätze“ der Bestäuber

Um ihre Aufgabe erfüllen zu können, benötigen die Bestäuber Lebensräume, in denen sie ungestört ihre Nester bauen können. Und wenn die Kulturpflanzen gerade nicht blühen, brauchen Bienen und Hummeln zusätzlich Wildpflanzen als Nahrungsquelle. Herbizide und Dünger haben jedoch dazu geführt, dass Wildpflanzen von unseren Äckern weitgehend verschwunden sind. Wir erforschen deshalb, welche naturnahen Strukturen – etwa Hecken, blumenreiche Wiesen oder angesäte Blühstreifen – den Bestäubern zugute kommen können. Eine Schlüsselfrage dabei ist, wie naturnahe Strukturen in der Landschaft verteilt sein müssen, damit Bestäuber von ihnen profitieren. Andere wichtige Fragen sind, in welcher Menge solche naturnahen Strukturen benötigt werden und wie weit sie von Kulturen entfernt sein dürfen. Diesen Aufgaben widmen wir uns im FRAGMENT Projekt gemeinsam mit Kollegen aus der Schweiz. Um Antworten auf unsere Fragen zu finden, haben wir über zweihundert Kirschbäume in dreißig unterschiedlichen Landschaften ge-



Kirschblüten im Gazebeutel: Der Biologe Christof Schüepp ermittelt die Bestäubungsleistung der Insekten. (Foto: Ruth Schüepp)

„Ökosystemdienstleistungen wie Bestäubung und Schädlingskontrolle kommen allen zugute: Sie erhalten die Biodiversität und sichern die Erträge der Landwirtschaft.“

pflanzt und über fünf Jahre hinweg untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Bestäuber während der Kirschblüte im Frühjahr vor allem in Landschaften mit vielen Hecken, Feldgehölzen und viel Wald aktiv sind.

Eine weitere Ökosystemdienstleistung, eine Dienstleistung also, die freilebende Arten zum Nutzen des Menschen erbringen, ist die natürliche Kontrolle von Schädlingen. Denn trotz des verbreiteten Einsatzes von Pestiziden gehen nach wie vor weltweit Ernteerträge durch Insekten verloren. Die natürlichen Feinde der Insekten können dabei helfen, pflanzenschädigende Arten zurückzudrängen. Ob eine derart natürliche Schädlingskontrolle gelingt, hängt ebenfalls von der Struktur der Agrarlandschaft ab: Nützlinge wie Marienkäfer brauchen Wälder und Feldgehölze als Überwinterungsplätze – dort finden sie auch dann Nahrung, wenn im Frühjahr auf den Feldern noch keine Blattläuse vorkommen. Viele Arten, beispielsweise Schlupfwespen, sind nicht nur auf ihre jeweiligen Nahrungstiere, sondern auch auf Blüten als Energiequelle angewiesen. Wenn zwischen den Feldern keine blütenreichen Lebensräume zu finden sind, sterben diese Nützlinge früher und haben weniger Nachkommen.

Ertragssteigernde Nützlinge

Wie sich während unseres FRAGMENT-Projektes zeigte, konnten Blattläuse den Kirschbäumen weniger anhaben, wenn sich aufgrund angrenzender Waldränder oder Hecken mehr natürliche Feinde in der Nähe aufhielten: Die naturnahen Strukturen förderten also das Wachstum der Bäume. Auch Blattläuse im Getreide – unsere häufigste Kulturpflanze – werden von natürlichen Feinden stärker reduziert, wenn



Bestäubung einer Kirschblüte von menschlicher Hand: Der Vergleich mit Blüten, die von Insekten bestäubt wurden, lässt erkennen, ob es in einer Region an natürlichen Bestäubern mangelt. (Foto: Christof Schüepp)

Landschaften reich strukturiert sind. Eine schwedische Studie zeigt den Vorteil mit konkreten Zahlen auf: Nützlinge können den Ertrag an Gerste um dreihundert Kilogramm pro Hektar und Jahr steigern. Warum also setzen Landwirte nicht schon längst stärker auf die Leistungen der Natur?

Wichtige Gründe sind wohl, dass der Einfluss der Nützlinge einerseits zu variabel und andererseits noch zu wenig bekannt ist: Dieselbe Kultur in Deutschland oder Spanien kann ganz andere Nützlinge benötigen als Kulturen in Schweden. Das Vorkommen der Nützlinge schwankt zudem stark von Jahr zu Jahr, was es erforderlich macht, die Situation im Feld ständig zu beobachten. Das womöglich größte Problem aber ist, dass sich zu viele Wissenschaftler „nur“ auf die Insekten beschränken, ohne die landwirtschaftlichen Erträge einzubeziehen oder Kosten-Nutzen-Rechnungen aufzustellen, die zeigen, welche Vorteile es für die Landwirtschaft haben kann, das Vorkommen von Nützlingen zu fördern. Um das zu erreichen, muss stärker interdisziplinär gearbeitet werden: Am Institut für Umweltwissenschaften Landau wird dies durch die direkte Zusammenarbeit der Naturwissenschaften mit der Umweltökonomie gewährleistet.

Größere Anreize schaffen

Ökosystemdienstleistungen wie Bestäubung und Schädlingskontrolle kommen allen zugute: Sie erhalten die Biodiversität und sichern die landwirtschaftlichen Erträge. Wenn weniger chemischer Pflanzenschutz benötigt wird, werden nicht nur Kosten und Energie eingespart, sondern auch die Risiken für die Umwelt reduziert. Der Nutzen der Ökosystemdienstleistungen ist allgemein – die Kosten

jedoch sind individuell, beispielsweise wenn privates Land eingesetzt wird, um Lebensräume zu vernetzen. Das verringert den Anreiz für den einzelnen Landwirt, in die Biodiversität zu investieren. Wichtige Funktionen der Natur können dadurch verloren gehen – selbst dann, wenn ihr Erhalt volkswirtschaftlich sinnvoll wäre (siehe Beitrag „Natur und Geld: Was kostet die Umwelt?“ auf Seite 40). Die Europäische Union knüpft die Vergabe von Fördergeldern im Agrarbereich deshalb zunehmend an Auflagen zugunsten von Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen. Gemeinsam mit zwölf internationalen Partnern erforschen wir im Projekt QUESSA im Auftrag der Europäischen Union, wie dies besser funktionieren kann. Die Ergebnisse unserer Feldversuche können auf diese Weise unmittelbar in die Weiterentwicklung europäischer Agrarumweltmaßnahmen einfließen.

Ausgewählte Literatur:

- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer, E. J. & Kremen, C. 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14, 922-932.
- Hart, K. & Little, J. 2012. Environmental approach of the CAP legislative proposal. *Politica Agricola Internazionale*, 1, 19-30.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. & Kunin, W. E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25, 345-353.

Natur und Geld

Was kostet die Umwelt?



Unentgeltlich sorgt die Natur für unser aller Wohlergehen. Fallen die Ökosystemdienstleistungen der Natur aus, wird unsere Lebensqualität geschmälert. Die Wissenschaftler der Landauer Arbeitsgruppe Umweltökonomie wollen den Wert ermitteln, den die Leistungen der Natur haben – damit politische Maßnahmen den Preis für die Umwelt angemessen berücksichtigen können.

*Prof. Dr. Oliver Frör (AG Umweltökonomie); Kontakt: froer@uni-landau.de
www.env-economics.uni-landau.de*

Illustration: Bernd Ege / Fotolia

Das Steak im Restaurant, ein neues Paar Schuhe, der Flug in den Urlaub – alle diese Güter haben ihren Preis. Auf dem Marktplatz der Güter und Dienstleistungen ist es für uns selbstverständlich, dass wir eine Leistung – Steak, Schuhe, Flug – nur bekommen, wenn wir auch eine Gegenleistung – Geld – erbringen. Schließlich müssen für die Herstellung der Güter, die wir konsumieren wollen, Ressourcen und Arbeitskraft eingesetzt werden.

Auch die Umwelt stellt uns zahlreiche Annehmlichkeiten bereit, beispielsweise ein lebensfreundliches Klima, die Vielfalt von Tieren und Pflanzen oder intakte Gewässer. Für den Nutzen, den die Menschen aus diesen „Umweltgütern“ beziehen, hat sich seit der weltweit beachteten UN-Studie „Millennium Ecosystem Assessment“ aus dem Jahr 2005 der Begriff „Ökosystemdienstleistungen“ eingebürgert, kurz ESS (für englisch *Ecosystem Services*). Hierzu zählen die Ozonschicht, die uns vor Sonnenbrand schützt, eine artenreiche Waldlandschaft, in der wir uns erholen können, intakte Böden, die Schadschiffe abbauen, Insekten, die Obstblüten bestäuben oder Auenlandschaften, die vor Hochwasser bewahren. Meist werden die Dienstleistungen von der Natur erbracht, ohne dass wir Menschen etwas davon merken – vor allem aber, ohne dass wir etwas dafür bezahlen müssen.

Die Umwelt kann uns diese Güter jedoch nicht mehr ganz so selbstverständlich wie früher bereitstellen: Menschliche Eingriffe in die Natur, die Übernutzung natürlicher Ressourcen oder die Verschmutzung von Wasser, Boden und Luft machen es der Natur immer schwerer, ihre Dienstleistungen zu erbringen. Umwelt und Natur – einst scheinbar unbegrenzt vorhanden – sind zu einem knappen Gut geworden. Das macht zunehmend bewusst, wie wichtig deren Dienstleistungen für den Menschen sind.

Wem gehören Umweltgüter?

Betrachtet man die Zusammenhänge durch die Brille der Ökonomie, erkennt man ein grundlegendes Problem: Die Umweltgüter gehören in der Regel niemandem; jeder kann die Umwelt in Anspruch nehmen, auch wenn er dafür keinen Preis zahlt. Kostet die Umwelt also nichts?

Eine kostenlose Inanspruchnahme von Ökosystemdienstleistungen ist solange unproblematisch, wie die Nutzung keine Schäden verursacht oder andere Menschen dadurch nicht beeinträchtigt werden. In der Realität ist das jedoch meist nicht der Fall: Wenn beispielsweise ein „Nutzer“ große Schadstoffmengen in die Umwelt entlässt, büßt die Umwelt häufig ihre Fähigkeit ein, Ökosystemdienstleistungen verfügbar zu machen. Und weil die Umwelt niemandem gehört, kann denjenigen, die die Umwelt für ihre Zwecke nutzen, auch nichts in Rechnung gestellt werden. Die Kosten für die Umweltnutzung müssen andere Menschen oder häufig die Gesellschaft insgesamt tragen. Das hat weitreichende Folgen: Weil die Nutzer die Kosten, die sie verursachen, in

ihren Kalkulationen nicht berücksichtigen müssen, wird die Umwelt dauerhaft übernutzt und fortschreitend geschädigt. Eine aus Sicht der Gesellschaft optimale Umweltnutzung sieht idealerweise so aus: Die Umwelt sollte nur in dem Maße genutzt werden wie die Kosten, die die Gesellschaft zu tragen hat, nicht größer werden als der Gewinn, der aus der Umweltnutzung erzielt wird. Eine wesentliche Aufgabe der Umweltpolitik ist es daher, den Umweltnutzern Kosten in Rechnung zu stellen, die der Gesellschaft beispielsweise aufgrund einer verminderten Ökosystemdienstleistung entstehen. Soweit die Theorie – wie aber lässt sich beziffern, was eine Umweltnutzung kostet? Den Preis der Umweltnutzung zu ermitteln, ist die Aufgabe der ökonomischen Bewertung von Ökosystemdienstleistungen.

Was sind Ökosystemdienstleistungen wert?

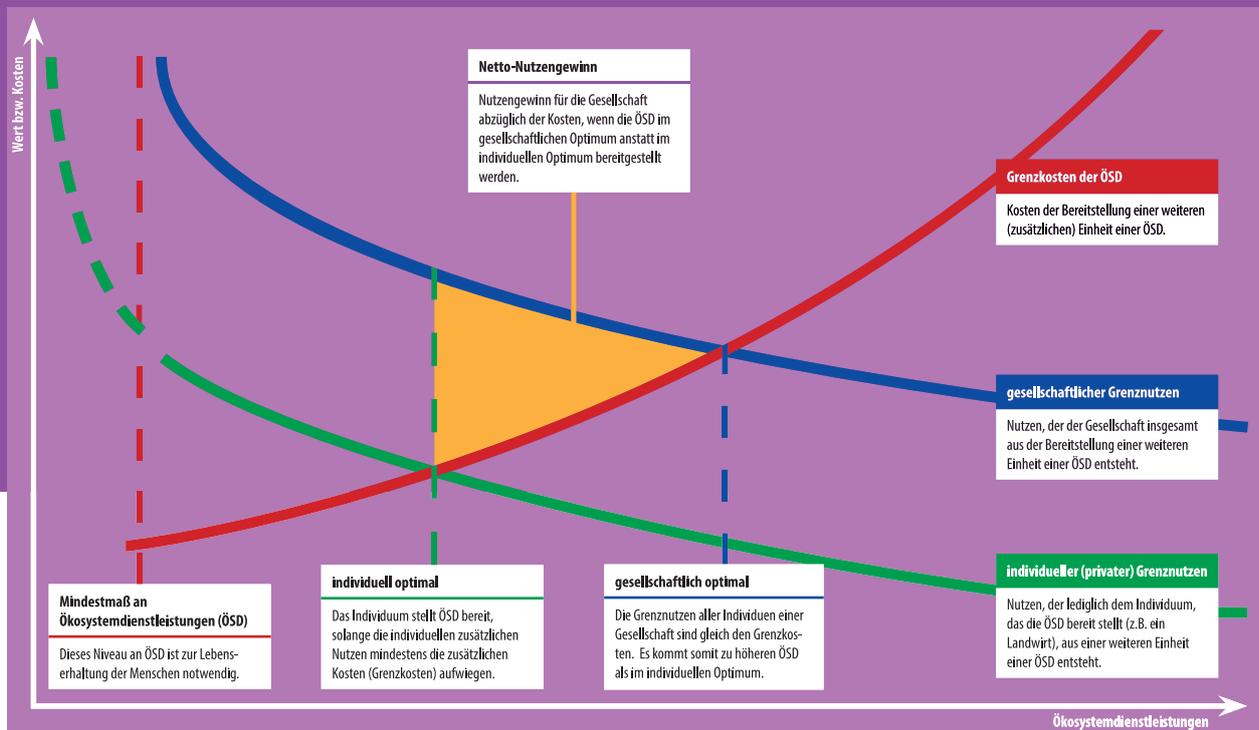
Der Wert von Marktgütern lässt sich relativ einfach am Preis ablesen, den die Käufer bereit sind, dafür zu zahlen. Bei Umweltgütern ist das nicht so einfach: Es existieren keine Marktpreise für Natur, Umwelt oder Ökosystemdienstleistungen, an denen man ablesen könnte, wie wertvoll die Güter für die Gesellschaft sind. Es stellt sich also die Frage, wie man die Dienstleistungen von Ökosystemen praxistauglich bewerten kann. Grundsätzlich lassen sich drei Ansätze zur Ermittlung des Wertes von Ökosystemdienstleistungen unterscheiden: der „Kosten-Ansatz“, die „Methode der hedonischen Preise“ und der „direkte Ansatz“.

Nach dem „Kosten-Ansatz“ ergibt sich der Wert einer Ökosystemdienstleistung aus den Kosten, die man aufwenden müsste, um ihren Ausfall zu ersetzen, etwa auf technischem Wege. Ein Beispiel: Wenn Bienen sterben und die Bestäubungsrate infolgedessen zurückgeht, müsste die Dienstleistung „Bestäubung“ von Bienenschwärmen erbracht werden, die von Menschen gehalten werden, oder durch andere geeignete Maßnahmen ersetzt werden. Allerdings ist es häufig gar nicht möglich, eine Ökosystemdienstleistung zu ersetzen. Der „Kosten-Ansatz“ ist also nur begrenzt anwendbar.

Im Preis für manche Marktgüter sind bestimmte Umweltaspekte bereits eingerechnet. Der Preis für eine Immobilie richtet sich beispielsweise nicht alleine nach ihrer Größe und Ausstattung – auch die Lage, die Nähe zu natürlichen Erholungsräumen, die Luftqualität oder der Ausblick spielen eine Rolle. Nach der Methode der sogenannten hedonischen Preise kann man mit statistischen Verfahren diejenigen Bestandteile des Preises isolieren, die sich auf Umweltaspekte zurückführen lassen und so deren Wert bestimmen. Häufig scheitert diese Methode jedoch an einer unzureichenden Datenbasis.

Wege zur Wertermittlung

„Direkte Ansätze“ sind eine umfassendere Möglichkeit, um Ökosystemdienstleistungen zu bewerten. Die Grundidee



Der Schutz oder die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) ist mit Nutzen, aber auch mit Kosten verbunden. Ein Landnutzer, der nur an seinen eigenen Gewinn denkt, würde eine geringere Menge an ÖSD bereitstellen als für die Gesellschaft als Ganzes optimal wäre. Für die Ermittlung des gesellschaftlichen Optimums müssen die Nutzen für alle Menschen aus der ÖSD berücksichtigt werden. (Grafik: Oliver Frör/Berend Barkela)

ist, Märkte für Umweltgüter oder Ökosystemdienstleistungen zu simulieren. Aus den im Experiment beobachteten „Kaufentscheidungen“ lässt sich dann auf den Preis beziehungsweise den Wert schließen – genauso, wie dies auf dem regulären Markt für Güter wie Schuhe oder Flugreisen geschieht. Ein simulierter Markt für Ökosystemdienstleistungen erfolgt typischerweise mit einer repräsentativen Auswahl von Haushalten, also mit der allgemeinen Bevölkerung. Wenn beispielsweise ermittelt werden soll, wie verloren gegangene Ökosystemdienstleistungen in einer Region durch umwelt- und naturverträglichere landwirtschaftliche Praktiken wiederhergestellt werden können, werden zunächst mit einer Zufallsstichprobe betroffene Haushalte erhoben. Mit diesen Haushalten wird dann – meist mit einer individuellen Befragung – der Markt für die Ökosystemdienstleistung simuliert. Während der Befragung wird dem Haushalt zunächst das Problem geschildert und anschließend ein Katalog von Maßnahmen genannt, mit denen die infrage stehende Ökosystemdienstleistung wieder hergestellt werden soll. Sodann wird dem Haushalt eröffnet, dass solche Maßnahmen den Staat Geld kosten, das er nicht einfach aus anderen Bereichen abziehen kann. Abschließend wird dem Haushalt vorgeschlagen, einen Geldbetrag zu zahlen, damit die Maßnahme umgesetzt werden kann. Das kann die Erhöhung einer geeigneten Steuer sein, die Entrichtung einer Gebühr oder die Schaffung eines speziell dieser Aufgabe

dienenden Gemeinschafts-Fonds. Der Haushalt hat dann zu entscheiden, ob er einer Zahlung zustimmt – und wenn ja, in welcher Höhe. Dabei muss klar sein: Wird ein zu geringer Betrag genannt, kann es dazu führen, dass die Maßnahme nicht umgesetzt werden kann. Dreh- und Angelpunkt dieser Methode ist es nämlich, dem Haushalt einen Anreiz zu geben, seine wahre Zahlungsbereitschaft zu nennen – und damit den Wert anzugeben, den die Wiederherstellung der Ökosystemdienstleistung für ihn hat. Aus den Zahlungsbereitschaften aller Befragten wird schließlich ein Mittelwert berechnet und auf die Gesamtheit der betroffenen Haushalte hochgerechnet. Der so ermittelte Wert kann staatlichen Entscheidungsträgern als Grundlage für den Preis umwelt-politischer Maßnahmen dienen.

Der „direkte Ansatz“ hat sich in der Wissenschaft trotz noch bestehender methodischer Unsicherheiten mittlerweile durchgesetzt, um Umweltgüter und Ökosystemdienstleistungen zu bewerten – in der politischen Praxis ist er jedoch noch nicht angekommen. Vor allem in Deutschland herrscht großer Nachholbedarf. Der Schwerpunkt der Forschung der Arbeitsgruppe Umweltökonomie, die am Institut für Umweltwissenschaften Landau neu eingerichtet wurde, ist es, den Ansatz zur direkten Bewertung von Ökosystemdienstleistungen weiter zu verbessern und verstärkt in die Praxis zu implementieren.

„Die Natur kann dem Menschen ihre Dienste nicht mehr so selbstverständlich wie früher bereitstellen.“

Nicht nur Naturwissenschaft in der Umweltwissenschaft: Mit sozialwissenschaftlichen Methoden ermitteln UmweltökonomInnen den Wert von Ökosystemdienstleistungen. Im Bild oben rechts ein Ausschnitt aus einer Gruppenbefragung zum Wert von Bergregenwäldern in Südwest-China. Im Bild unten rechts konnten die Teilnehmer einer Bürger-Diskussionsgruppe in Chiang Mai, Thailand, anhand einer Hochwasserkarte ausdrücken, wie stark sie von Überschwemmungen betroffen sind. (Fotos: Oliver Frör)



Ausgewählte Literatur:

Carson, R. T. 2011. Contingent Valuation: A comprehensive bibliography and history. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK .

Groot, R. S. de, Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Haines-Young, R., Gowdy, J., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S., Portela, R. & Ring, I. 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. pp. 9-40 in P. Kumar, editor. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundation. Earthscan Ltd, London.

Nahlik, A. M., Kentula, M. E., Fennessy, M. S. & Landers, D. H. 2012. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice. Ecological Economics, 77, 27-35.

Unbekannter Lebensraum Grundwasser

Risiken frühzeitig erkennen

Nur ein gesundes Grundwasserökosystem kann sauberes Trinkwasser liefern. Noch aber ist das Grundwasser ein weitgehend unbekannter Lebensraum. Wissenschaftler der Landauer Arbeitsgruppe Molekulare Ökologie erforschen das Grundwasser und seine Organismen mit molekularen Methoden. Ihr Ziel ist es, Gefährdungen lokaler Trinkwasserressourcen frühzeitig zu erkennen und erfolgreich abzuwenden.

*Prof. Dr. Klaus Schwenk (AG Molekulare Ökologie); Kontakt: schwenk@uni-landau.de
www.molecol.uni-landau.de*

Das Grundwasser ist keine große, leblose Wassermenge, sondern einer der wichtigsten und artenreichsten Lebensräume. Weltweit geht man von 50.000 bis 100.000 Tierarten aus, die in unterirdischen, mit Grundwasser gefüllten Höhlen leben. Diese Lebewesen, die „Stygobionten“, sind entscheidend an der Mineralisierung eingetragener organischer Stoffe beteiligt und halten das Bodenlückensystem offen. Damit gewährleisten die Stygobionten eine sehr wichtige Dienstleistung: Die Reinigung des Wassers und das Gewinnen von Trinkwasser. Nur „gesunde“ Grundwasserökosysteme sind imstande, sauberes Trinkwasser zu liefern. Es ist deshalb unerlässlich, ökologische Vorsorgemaßnahmen zu treffen, um lokale Trinkwasserressourcen zu erhalten. Dieser Aufgabe widmen sich die Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Molekulare Ökologie; den Grundstein für diese Forschungsrichtung legte in Landau der Biologe Hans Jürgen Hahn.

Ungeahnte Vielfalt

Die Artenvielfalt, die „Biodiversität“, der Grundwasserlebensräume und deren ökologische Prozesse sind weit weniger untersucht als die von terrestrischen Lebensräumen, etwa von Wäldern oder Savannen. Aufgrund dieser Wissenslücke ist es bislang kaum möglich, die Risiken zu benennen, die mit Umweltverschmutzungen oder Klimaerwärmung für den Grundwasserlebensraum einhergehen. Um Gefährdungen möglichst früh zu erkennen und rechtzeitig Strategien

zu entwickeln, um die Systeme zu erhalten, gilt es, zwei Voraussetzungen zu erfüllen: Die Biodiversität der Grundwasserorganismen muss standardisiert messbar sein, und es muss geprüft werden, welcher Zusammenhang zwischen der Biodiversität und der Ökosystemdienstleistung besteht.

„Moderne genetische Analysen erlauben es, die Eigenschaften natürlicher Populationen einzuschätzen.“

Da sich die Organismen des Grundwassers äußerlich häufig nur wenig unterscheiden und eine klassische Artbestimmung sehr zeit- und ressourcenaufwändig ist, nutzt unsere Arbeitsgruppe neue molekularbiologische Methoden, um die Biodiversität des Grundwassers zu messen und zu bewerten. Wir identifizieren die Arten, indem wir das Erbgut der Lebewesen analysieren. Unsere ersten, mit den molekularbiologischen Nachweismethoden erarbeiteten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Vielfalt der Grundwasserorganismen sehr viel größer ist als bislang angenommen.

Die modernen genetischen Analysen ermöglichen es auch, eine weitere wichtige Eigenschaft natürlicher Populationen einzuschätzen: ihr Potenzial, sich an Veränderungen der Umwelt anzupassen. Populationen sind nur dann fähig, auf natürliche Veränderungen wie Futterknappheit, Umweltverschmutzung oder Klimawandel zu reagieren, wenn sie über



eine hohe genetische Vielfalt verfügen. Ist die genetische Variation gering, können sich die Organismen weniger gut oder gar nicht an veränderte Umweltbedingungen anpassen: Das Risiko steigt, dass Lebewesen aussterben.

Erstmals: Analyse des Grundwasser-Metagenoms

Unser Ziel ist es, Risiken für den Lebensraum Grundwasser frühzeitig zu erkennen. Dazu verwenden wir klassische Verfahren und neue, sehr sensible molekulare Methoden, die es erlauben, kleinste Abschnitte des Erbmoleküls DNA in Umweltproben nachzuweisen und Baustein für Baustein zu lesen. Der Fachmann spricht von „Sequenzierung“. In nur wenigen Millilitern Wasser lassen sich auf diese Weise die Zusammensetzung und die genetische Vielfalt aller Tiere und Pflanzen in einem Wasserkörper – ob See, Tümpel oder Grundwasser – beschreiben. Diese Methode zur Bestimmung des sogenannten Metagenoms wurde bislang erfolgreich in marinen und terrestrischen Lebensräumen eingesetzt. Sie soll nun erstmals auch für Grundwasserorganismen angewendet und weiterentwickelt werden. Zusammen mit konventionellen Methoden kann so ein Werkzeug geschaffen werden, das es erlaubt, Veränderungen der Biodiversität im Lebensraum Grundwasser objektiv und reproduzierbar zu messen. Auf diese Weise können Risiken frühzeitig erkannt und Gefährdungen der lebenswichtigen Ressource Grundwasser rechtzeitig abgewendet werden.

Der Höhlenflohkrebs Niphargus laisi ist ein typischer Vertreter der Organismen, die im Grundwasser leben. Er spielt eine wichtige Rolle beim Abbau von organischem Material. (Foto: Karsten Grabow)

Ausgewählte Literatur:

- Stein, H., Griebler, C., Berkhoff, S. E., Matzke, D., Fuchs, A. & Hahn, H. J. 2013. Stygoregions – a promising approach to a bioregional classification of groundwater systems. *Nature Scientific Reports*, 2, 673.
- Taberlet, P., Coissac, E., Hajibabaei, M. & Rieseberg, L. H. 2012. Environmental DNA. *Molecular Ecology*, 21 (8), 1789-1793.
- Valentini, A., Pompanon, F. & Taberlet, P. 2009. DNA barcoding for ecologists. *Trends in Ecology & Evolution*, 24, 110-117.



Lebt hier die Pfälzer Bachforelle? Der Modenbach im Pfälzer Wald ist ein wichtiges Untersuchungsgewässer der Landauer Umweltwissenschaftler. (Foto: Thomas Schmidt)

Komplexe Verwandtschaftsverhältnisse

Gibt es eine Pfälzer Bachforelle?

Bachforellen und Maifische, Edelkrebse, Wildschweine und Bachflohkrebse – die Untersuchungsobjekte der Landauer Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt sind sehr unterschiedlich. Der gemeinsame Nenner sind moderne molekularbiologische Methoden, die es den Wissenschaftlern erlauben, genetische Variationen der Arten zu beschreiben. Die molekulare Erbgutanalyse eröffnet auch Wege für Maßnahmen, mit denen die genetische Vielfalt bewahrt werden kann.

Dr. René Gergs (AG Ökotoxikologie und Umwelt); Kontakt: gergs@uni-landau.de

Dr. Kathrin Theissinger (AG Ökotoxikologie und Umwelt); Kontakt: theissinger@uni-landau.de

Prof. Dr. Ralf Schulz (AG Ökotoxikologie und Umwelt); Kontakt: schulz@uni-landau.de

www.ecotox-environment.uni-landau.de

„Gibt es eine Pfälzer Bachforelle?“ Diese einfach anmutende Frage war der Ausgang für umfangreiche genetische Untersuchungen in unserem Landauer Labor. Die Bachforelle ist für die Angelfischerei und Fischzucht sehr bedeutend. Wir wollen mit unseren Analysen herausfinden, ob es eine genetische Variante der Bachforelle gibt, die ausschließlich in Gewässern des Pfälzer Waldes vorkommt. Anhand des Erbmoleküls DNA lässt sich nämlich feststellen, welche genetische Vielfalt ein Bachforellenbestand aufweist und in welchem verwandtschaftlichen Verhältnis ein Bestand zu anderen Beständen steht. So zeigt sich beispielsweise, dass Querbauwerke in Gewässern, etwa Wehre, Fischbestände nicht nur räumlich, sondern auch genetisch voneinander trennen. Anhand der genetischen Daten lassen sich auch räumliche Einheiten mit Beständen identifizieren, die eine besonders schützenswerte genetische Ausstattung haben und zum Erhalt der genetischen Vielfalt einer Art maßgeblich beitragen können.

Die Rückkehr des Maifisches

Uns interessieren auch Fischarten, die wirtschaftlich heute keine Rolle mehr spielen, beispielsweise der „Maifisch“. Er gilt

bei uns schon lange als ausgestorben. Früher indes kam er in großer Zahl vor und war auch für den Fischfang bedeutend. Der Landesfischereiverband Pfalz e.V. hat uns im Eußerthal bei Landau eine Fischzuchtanlage für ökologische Experimente mit Maifischlarven zur Verfügung gestellt. Wir wollen verstehen, welche Bedingungen gegeben sein müssen, damit die Larven des Maifisches überleben und erfolgreich heranwachsen können. Darüber hinaus wollen wir wissen, ob die im Freiland heute vorherrschenden Gewässerstrukturen und Wasserqualitäten ausreichen, um den Maifisch wieder im Rhein anzusiedeln. Für dieses Projekt arbeiten wir eng mit Wissenschaftlern aus Nordrhein-Westfalen, Hessen und Frankreich zusammen.

Molekulare Bestandsaufnahmen

Gemeinsam mit Wissenschaftlern der Arbeitsgruppe Molekulare Ökologie betreiben wir im Geilweilerhof bei Siebdingen ein Labor, das für Arbeiten im Bereich der sogenannten forensischen Genetik ausgestattet ist. Anhand der DNA-Analyse von Kotproben, die von Wildschweinen stammen, können wir beispielsweise feststellen, wie viele Wildschweine in einer Region vorkommen. Die genetischen



*Auf der Suche nach genetischen Variationen:
Im Labor wird das Erbmateriale von Fluss-
krebsen isoliert. (Foto: Barbara Thronicke)*

Daten lassen sich für Hochrechnungen des Wildschweinbestandes heranziehen, der sich anders kaum verlässlich bestimmen lässt. Zuverlässige Zahlen aber werden von der Europäischen Union regelmäßig eingefordert, um Tierseuchen wie die Schweinepest einzudämmen.

Auch der Bestand von Amphibien, die in Agrarlandschaften leben, lässt sich mit der DNA-Analyse von Hautproben ermitteln. Einer unserer Schwerpunkte ist der Test auf eine Hautkrankheit der Amphibien. Die von einem Pilz verursachte Erkrankung wird für den Rückgang der Amphibienpopulationen verantwortlich gemacht. Zudem erfassen wir mit sogenannten Mikrosatellitenanalysen die genetische Vielfalt und räumliche Vernetzung von Amphibienpopulationen. Unsere genetischen Daten wollen wir mit digitalen Informationen zur Landnutzung koppeln. Auf diese Weise sollen Artenschutz und landwirtschaftliche Nutzung optimal aufeinander abgestimmt werden.

Gefährliche Krebspest

Ein wichtiges „Haustier“ unserer Forschung ist der Edelkrebs. Unter den wirbellosen Organismen des Süßwassers ist er mit seinen bis zu 15 Zentimetern Größe ein wahrer Riese. Anhand zahlreicher Proben aus ganz Europa konnten wir in unserem Labor mit molekulargenetischen Methoden feststellen, dass der Edelkrebs in Zentraleuropa nur eine geringe genetische Vielfalt aufweist. Das Balkangebiet ist derzeit die Region mit der größten genetischen Vielfalt.

Die größte Bedrohung für den Edelkrebs ist die „Krebspest“, eine sehr gefährliche Pilzkrankheit, die Bestände innerhalb

weniger Tage komplett zerstören kann. Ursprünglich gelangte die Krebspest etwa um das Jahr 1860 vermutlich mit gebietsfremden Flusskrebsen nach Europa. Seither breitet sich die Erkrankung unter den in Europa heimischen Edelkrebsen aus. Die gebietsfremden Arten – sie werden auch als invasive Arten bezeichnet – erkranken selbst nicht, übertragen den Erreger der Krebspest jedoch auf die heimischen Tiere. Lange Zeit war es nicht möglich, den Pilz und die von ihm verursachte Krankheit näher zu untersuchen. In unserem Labor verfügen wir mittlerweile über eine empfindliche molekulare Nachweismethode, die sogenannte quantitative Polymerasekettenreaktion. Damit gelingt es, kleinste Mengen des Pilzerguts zu identifizieren und so einer näheren Untersuchung zugänglich zu machen. In Deutschland sind wir derzeit das einzige Labor, das diese Analysen vornimmt. Wir untersuchen auch, ob eingeführte Krebsarten in deutschen Gewässern Krankheiten übertragen.

Kürzlich konnten wir gemeinsam mit unseren wissenschaftlichen Partnern aus Rumänien und Tschechien zeigen, dass sich die Krebspest derzeit in der Donau sehr schnell flussabwärts ausbreitet und bereits das Delta der Donau erreicht hat. Dies ist alarmierend, da das Donaudelta eines der wichtigsten Zentren aquatischer Biodiversität in Europa ist.

Invasive Bachflohkrebsse

Auch unter den sehr viel kleineren Bachflohkrebsen gibt es invasive Arten, die derzeit zunehmend in unsere Gewässersysteme einwandern und sich dort negativ auf das Nahrungsnetz auswirken. Wir untersuchen die Zusammenhänge

„Gebietsfremde Arten
können die heimische
Flora und Fauna ernst-
haft bedrohen.“



in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt. Dazu analysieren wir mit molekulargenetischen Methoden zunächst, wie sich die invasiven Kleinkrebse ernähren. Um mehr über deren Stellung im Nahrungsnetz zu erfahren, messen wir stabile Isotope, beispielsweise von Kohlenstoff oder Stickstoff. Solche Isotopenmessungen können auch angewandt werden, um zu untersuchen, wie beispielsweise Wasser- und Land-Ökosysteme miteinander verknüpft sind. Eine besonders wichtige Frage dabei ist auch, ob Störungen in Gewässern auch Konsequenzen für angrenzende terrestrische Ökosysteme haben, die dieser Störung nicht unmittelbar ausgesetzt sind.

Landschaften der Zukunft

Unsere Grundlagen-Untersuchungen wollen wir verwenden, um Vorschläge für die künftige Entwicklung von Gewässerlandschaften zu machen. Zusammen mit dem zuständigen Fachministerium und dem Landesamt entwickeln wir derzeit beispielsweise eine Konzeption für die „Aktion Blau Plus“, eines der wichtigsten Instrumente der rheinland-pfälzischen Gewässerschutzpolitik. Unser Blickwinkel geht jedoch auch über die regionale Ebene hinaus: Gemeinsam mit Wissenschaftlern vom Institut für Mathematik der Universität Koblenz-Landau und in Kooperation mit internationalen Organisationen kümmern wir uns etwa um die Gesundheitsbedrohungen, die von einer schlechten Wasserqualität oder der chemischen Umweltbelastung in Lateinamerika ausgehen. Auch dazu wollen wir konkrete Lösungsvorschläge erarbeiten.

Der Kalikokrebs Orconectes immunis: Die aus Nordamerika stammende und mittlerweile auch bei uns heimisch gewordene Krebsart überträgt die Krebspest, eine gefährliche Pilzkrankheit. (Foto: Thomas Schmidt)

Ausgewählte Literatur:

- Kolodziej, K., Schulz, H. K., Theissinger, K., Ebert, C., Hohmann, U. & Schulz, R. 2013. Comparison of established methods for quantifying genotyping error rates in wildlife forensics. *Conservation Genetics Resources*, 5, 287-292.
- Kolodziej, K., Theissinger, K., Brün, J., Schulz, H. K. & Schulz, R. 2012. Determination of the minimum number of microsatellite markers for individual genotyping in wild boar (*Sus scrofa*) using a test with close relatives. *European Journal of Wildlife Research*, 58, 621-628.
- Schrimpf, A., Chucholl, C., Schmidt, T. & Schulz, R. 2013. Crayfish plague agent detected in populations of the invasive North American crayfish *Orconectes immunis* (Hagen, 1870) in the Rhine River, Germany. *Aquatic Invasions*, 8, 103-109.
- Schrimpf, A., Părvulescu, L., Copilaș-Ciocianu, D., Petrușek, A. & Schulz, R. 2012. Crayfish plague pathogen detected in the Danube Delta – a potential threat to freshwater biodiversity in southeastern Europe. *Aquatic Invasions*, 7, 503-510.
- Schrimpf, A., Schulz, H. K., Theissinger, K., Părvulescu, L. & Schulz, R. 2011. The First large-scale genetic analysis of the vulnerable noble crayfish *Astacus astacus* reveals extremely low haplotype diversity of Central European populations. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401, 10.1051/kmae/2011065.

Gebietsfremde Pflanzen

Invasion in Rheinland-Pfalz

Sie wandern aus fremden Gebieten ein und können zur großen Gefahr werden: „Neophyten“ breiten sich derzeit massiv in Europa aus. Die Wissenschaftler der Landauer Arbeitsgruppe Geoökologie und physische Geographie untersuchen, was invasive Arten in Rheinland-Pfalz anrichten, was den Neuen zu ihren Erfolgen verhilft und welche Folgen auf unsere Ökoysteme zukommen.

*Dr. Constanze Buhk (AG Geoökologie und physische Geographie); Kontakt: buhk@uni-landau.de
www.geoecology.uni-landau.de*

„Neophyten“ sind Pflanzen, die in Gebieten leben, in denen sie natürlicherweise nicht heimisch sind. Viele dieser Neuankömmlinge gehören bereits zum gewohnten Bild – in Rheinland-Pfalz ebenso wie im übrigen Europa. Entlang von Fließgewässern, Bahntrassen, Straßen und auf Brachflächen haben Neophyten vielerorts die Vorherrschaft übernommen und bilden teils weitläufige Bestände. Auch naturnahe Bereiche werden mittlerweile von den „Neuen“ bevölkert.

Mit dem zunehmenden Verbreiten der Neophyten steigt der Samendruck, und es erhöht sich die Geschwindigkeit, mit der sie weitere Flächen besiedeln. Die verschiedenen Arten entwickeln zudem immer neue Strategien, wie sie sich besonders effektiv ausbreiten und durchsetzen können. Wie es zu diesen Änderungen im „Verhalten“ der Neophyten kommt, ist bislang noch weitgehend unbekannt. Es gibt durchaus Arten, die bei uns einwandern, ohne nennenswerten Schaden anzurichten. Einige wenige aber sind besonders dominant und fähig, Ökosysteme nachhaltig zu verändern. Die Kosten, die der Gesellschaft direkt oder indirekt durch aggressive invasive Arten entstehen, sind kaum

zu bestimmen, gelten aber als sehr hoch. Die Kosten für ihre Bekämpfung sind eher zu beziffern, ebenso die Ernteauffälle, die von invasiven Arten verursacht werden. Die indirekt entstehenden Kosten aber, die infolge von langfristigen Veränderungen der Ökosysteme oder aufgrund des Ausfalls von Ökosystemdienstleistungen zu tragen sind, sind kaum abzuschätzen. Zu den betroffenen Ökosystemdienstleistungen zählen beispielsweise: der Verlust der Nahrungsgrundlage für einheimische Tiere, der Verlust der Bodenbefestigung als Schutz vor Erosion, der Verlust von Biodiversität mit ihrer stabilisierenden Wirkung gegen Extremereignisse oder der Verlust des Wasserrückhaltevermögens.

Um die Folgen abzuschätzen, die diese Veränderungen mit sich bringen, liefert die Forschung bislang viel zu wenig Daten.

Neuankömmling aus Amerika

Unsere Arbeitsgruppe Geoökologie und physische Geographie untersucht die Ausbreitung mehrerer Neophyten in Rheinland-Pfalz. Einer der Neuankömmlinge ist die „Arme-



*Diplomandin unter ihrem Versuchsobjekt,
dem Bastardknöterich Fallopija x bohemica.
(Foto: Constanze Buhk)*



Ein unreifer Fruchtstand von *Phytolacca americana*, der amerikanischen Kermesbeere. (Foto: Constanze Buhk)



Ein Bestand der amerikanischen Kermesbeere im südpfälzischen Bienwald: Die Pflanzen haben nach einem Sturmschaden die Störstelle besetzt und breiten sich von dort im Wald aus. (Foto: Constanze Buhk)

nische Brombeere“ mit wissenschaftlichem Namen *Rubus armeniacus*. In den vergangenen zehn Jahren hat die Pflanze hierzulande riesige ungenutzte Flächen mehrere Meter hoch überwuchert. Mangels korrekter Bestimmung treibt sie vielerorts noch recht unbeachtet ihr Unwesen. Ein anderes Beispiel ist das „Drüsige Springkraut“ (*Impatiens glandulifera*), eine hübsche Pflanze, die in artenreichen Feuchtbiotopen großen Schaden anrichtet und derzeit dabei ist, sich auch abseits der Gewässer in den Wäldern auszubreiten. Das Springkraut setzt dazu unterirdisch chemische Waffen ein – die einheimischen Arten haben dieser perfiden Strategie mangels Anpassung nichts entgegensetzen.

Auch die „Amerikanische Kermesbeere“ (*Phytolacca americana*), die sich in den letzten fünf Jahren in den Wäldern der Pfalz massiv ausgebreitet hat, gibt Rätsel auf. Die Förster bangen um die betroffenen Reviere, weil bei einer weiteren Expansion der aggressiven Pflanze mit ernststen ökologischen und ökonomischen Folgen zu rechnen ist.

Besonders erfindungsreich: der Japanknöterich

Besonders weit verbreitet, genetisch ausgesprochen anpassungsfähig und erfinderisch ist der „Japanknöterich“ (*Fallopia japonica*). Er breitet sich schon seit einigen Jahrzehnten in Europa und Nordamerika entlang von Flüssen und Verkehrswegen aus. Ursprünglich als Zierpflanze eingeführt, ist der Japanknöterich immer weiter „klonal“ durch Ableger oder das Einpflanzen von Spross- oder Wurzelteilen vermehrt worden. Genetische Untersuchungen konnten kürzlich in der Tat zeigen, dass alle in Europa vorkommenden Pflanzen des Japanknöterichs zum selben Individuum gehören. Es kam zunächst nie zur sexuellen Fortpflanzung: Stets hat nur eine ungeschlechtliche (vegetative) Vermehrung durch Ableger oder Stecklinge stattgefunden. Das ist möglich, weil die Pflanzen „zweihäusig“ sind, das heißt, es gibt Individuen, die entweder nur weibliche oder nur männliche Blüten haben. Das einst aus Japan eingeführte Individuum war ein Weibchen, und es gab keine von einer männlichen Pflanze stammenden Pollen, die die Blüten des Weibchens hätten bestäuben können. Infolgedessen gab es auch keine Samen und keine größere Verbreitung: Über Jahre hinweg beschränkte sich der Japanknöterich auf Fluss- oder Verkehrswege, in die Pflanzenteile entweder über Wasser oder durch den Menschen beim Straßenbau oder mit Fahrzeugen gelangten. Seit gut zehn Jahren aber ist die Situation anders: Der Japanknöterich bildet vermehrt Samen aus. Die Samen sind geflügelt und stellen eine große Gefahr dar, weil sich die Pflanzen nun über den Wind in alle Richtungen ausbreiten können. Wie aber kam es dazu?

Die mit dem Japanknöterich nah verwandten Arten – der Riesenknöterich (*Fallopia sachalinense*) und der Schlingknöterich (*Fallopia baldschuanica*) – werden in heimischen Gärten angepflanzt. Beide Arten bilden Pollen aus und sind

„Die Amerikanische Kermesbeere breitet sich zurzeit besorgniserregend in den Wäldern der Pfalz aus.“

in der Lage, die weiblichen Blüten des Japanknöterichs zu befruchten. Daraus entstehen „Hybride“, genetische Mischlinge. Während der Hybrid aus Japanknöterich und Schlingknöterich (*Fallopia x conollyana*) im Freiland wohl keimen kann, aber nicht überlebensfähig ist, sind Hybride mit dem Riesenknöterich (Bastardknöterich: *Fallopia x bohemica*) ausgesprochen robust, wuchsstark und bilden meist auch zwittrige Blüten aus. Sie können sich also auch sexuell fortpflanzen.

Aggressive Mischlinge

Wir untersuchen in unserer Arbeitsgruppe derzeit, wie aggressiv die Hybride sind, wie sie sich ausbreiten und welche Folgen die Ausbreitung hat. Gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Molekulare Ökologie haben wir bereits viele Bestände genetisch genau bestimmen können. Derzeit untersuchen wir, welcher Zusammenhang zwischen der Art der Hybride und ihren ökologischen Eigenschaften besteht: Sind alle Hybride besonders kräftig und ausbreitungsstark oder gibt es auch leistungsschwache Pflanzen?

In manchen Regionen von Rheinland-Pfalz kam es mittlerweile offensichtlich vermehrt zu einer intensivierten Hybridisierung: Nicht nur die Elternarten (die sogenannte F1-Generation) haben sich gekreuzt, sondern auch Nachkömmlinge untereinander, so dass es mittlerweile sogenannte F2- und F3-Generationen gibt. Auch Rückkreuzungen von Nachkömmlingen mit den Elternarten, zum Beispiel eine Kreuzung des Japan- mit dem Bastardknöterich, haben stattgefunden. Die Fülle der Vermischung der Genpools bringt sicherlich auch so manche leistungsschwache Pflanze hervor – die genetische Vielfalt birgt aber auch ein enormes Risiko, dass sich die Arten noch besser an die hiesigen Ge-

gebenheiten anpassen und die Ausbreitung sowohl ungeschlechtlich wie geschlechtlich in alle Richtungen erfolgen kann.

In zwei Jahren wollen wir unsere derzeit laufenden Untersuchungen abschließen. Wir wollen dann in der Lage sein vorherzusagen, wie intensiv sich die Pflanzen künftig ausbreiten werden, welche Rolle der Klimawandel dabei spielt und welche ökosystemaren Effekte auf die Gesellschaft zu kommen werden. Darüber hinaus wollen wir die Freisetzung von Treibhausgasen aufgrund der Besiedlung mit invasiven Arten abschätzen und Veränderungen im Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf ermitteln.

Ausgewählte Literatur:

Funkenberg, T., Roderus, D. & Buhk, C. 2012. Effects of climatic factors on *Fallopia japonica* s.l. seedling establishment - Evidence from laboratory experiments. *Plant Species Biology*, 27, 218-225.

Engler, J., Abt, K. & Buhk, C. 2011. Seed characteristics and germination limitations in the highly invasive *Fallopia japonica* s.l. (Polygonaceae). *Ecological Research*, 26, 555-562.

Buhk, C., & Thielsch, A. 2013. The invasive *Fallopia japonica* complex – new gene combinations, new strategies, new effects? Submitted to *Biological Invasions*.



Mit Trichterfallen haben Landauer Wissenschaftler Methanblasen in Stauhaltungen der Saar gemessen. (Foto: Uschi Schmidt)

Treibhausgase aus Binnengewässern

Sind Stauseen Klimasünder?

Auf einem Hausboot, ausgerüstet mit sensibler Messtechnik, waren Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Umweltphysik auf der Saar unterwegs. Während ihrer Expedition stellten sie Erstaunliches fest: Pro Tag entlässt die Saar rund 380 Kilogramm des Treibhausgases Methan in die Atmosphäre. Der größte Teil stammt aus Blasen, die an Staustufen aus dem Gewässer aufsteigen. Jetzt gilt es zu klären, was dieses Ergebnis für die Nutzung von Wasserkraft zur regenerativen Energiegewinnung bedeutet.

*Prof. Dr. Andreas Lorke (AG Umweltphysik); Kontakt: lorke@uni-landau.de
Andreas Mäck (AG Umweltphysik); Kontakt: maeck@uni-landau.de
www.uphysik.uni-landau.de*

Binnengewässer spielen im Kohlenstoffkreislauf eine weitaus größere Rolle als bisher angenommen. Nach jüngsten Schätzungen wird weltweit in Bächen, Flüssen, Seen und Stauseen organischer Kohlenstoff in einer Größenordnung umgesetzt, die der globalen Nettoprimärproduktionsrate auf dem Land entspricht. Die Gewässer emittieren dabei Kohlendioxid und Methan in die Atmosphäre. Das kombinierte Treibhauspotenzial dieser Emissionen entspricht etwa vier bis acht Prozent der jährlichen Emissionen aus dem Verbrennen fossiler Brennstoffe. In den meisten aktuellen Kohlenstoff- und Treibhausgasbilanzen sind diese Emissionen jedoch nicht berücksichtigt. Mit den neuen Erkenntnissen zu Treibhausgasemissionen aus Binnengewässern geht die Frage einher, welche Prozesse die Kohlenstoffumsatz- und Emissionsraten in den Gewässern kontrollieren und wie der Mensch diese Prozesse beeinflusst und verändert.

Vom Menschen gemacht

Nahezu alle Gewässer und deren Struktur wurden vom Menschen verändert, beispielsweise durch Staudämme oder den verkehrsgerechten Ausbau von Fließgewässern. Weltweit sind mehr als 60 Prozent der großen Flusssysteme

aufgestaut. Neben Wasserkraftnutzung, Hochwasserschutz und Bewässerung gehört auch der Schiffsverkehr zu den wichtigsten Gründen für das Errichten von Dämmen. Querbauwerke wie Dämme, Schleusen und Wehre sind nicht nur in den großen Flüssen allgegenwärtig, sondern auch in deren Zuflüssen bis hin zu den Bächen in den Einzugsgebieten.

Ein Forschungsschwerpunkt unserer Arbeitsgruppe ist die Frage, wie Flusstauhaltungen die Emissionen von Treibhausgasen beeinflussen. Dazu quantifizierten wir in einer Referenzstudie an der Saar die unterschiedlichen Emissionspfade von Methan aus den Stauhaltungen. Unser Ziel ist es, eine Gesamtemissionsrate zu bestimmen und Gesetzmäßigkeiten zu finden, die sich auch auf andere Gewässer übertragen lassen.

Folgenreiche Ablagerungen

Die Aufstauung durch Querbauwerke reduziert die Fließgeschwindigkeit im Oberwasser. Dadurch kommt es zu einer verstärkten Ablagerung von mitgeführten Partikeln am Gewässerboden, zur Akkumulation von Sedimenten und damit von organischem Material. Bereits in einigen Millimetern Tiefe ist der Sauerstoff im Sediment aufgebraucht. Es dominie-

ren dann anaerobe, ohne Sauerstoff stattfindende Abbauprozesse. Dabei entsteht unter anderem das Treibhausgas Methan.

Das im Sediment produzierte Methan gelangt durch Diffusion in das Flusswasser. In der Grenzschicht zwischen Sediment und Wasser wird ein großer Teil des Methans von Mikroorganismen zu Kohlendioxid oxidiert. Dennoch übersättigt das verbleibende Methan das Wasser mit mehreren 1.000 bis 80.000 Prozent. An der Wasser-Luft-Grenzschicht wird Methan an die Atmosphäre abgegeben (diffusive Emissionen). Die Geschwindigkeit, mit der dieser Transport abläuft, hängt wesentlich von der Turbulenz in der obersten Wasserschicht und somit von der Fließgeschwindigkeit und Windeinwirkung ab.

Wenn das Sediment mehr Methan bildet als durch Diffusion abtransportiert werden kann, reichert sich Methan im Porenwasser an. Erreicht der Gesamtdruck der im Porenwasser gelösten Gase den Umgebungsdruck der auflastenden Wassersäule, bilden sich Gasblasen. Mit diesen Gasblasen gelangt Methan größtenteils direkt in die Atmosphäre, wo es erst nach 10 bis 15 Jahren oxidiert wird.

Wann und wo Gasblasen aus dem Sediment an die Wasseroberfläche aufsteigen, ist sehr unterschiedlich und aufwendig zu messen. Zumeist steigen die Blasen auf, wenn sich der Umgebungsdruck verringert, beispielsweise durch eine Absenkung des Wasserspiegels, den Durchlauf von Wellen oder dem Absinken des Luftdrucks. Im Vergleich zur Diffusion führt das Aufsteigen von Gasblasen zu einer massiv erhöhten Methanemission aus dem Gewässer. Zusätzliche Emissionen entstehen unmittelbar an den Stauwerken: Wasser, das durch Turbinen und Schleusen oder über Wehre fließt, hat eine stark vergrößerte Kontaktfläche zur Luft und ist zudem enormen Turbulenzen unterworfen. Die Gas-Austauschgeschwindigkeit ist deshalb höher als in den langsam fließenden Flussabschnitten oberhalb von Staustufen. Dies sorgt dafür, dass Methan bei einer Übersättigung des Wassers an den Stauwerken verstärkt an die Atmosphäre abgegeben wird.

Unerwartete Hotspots

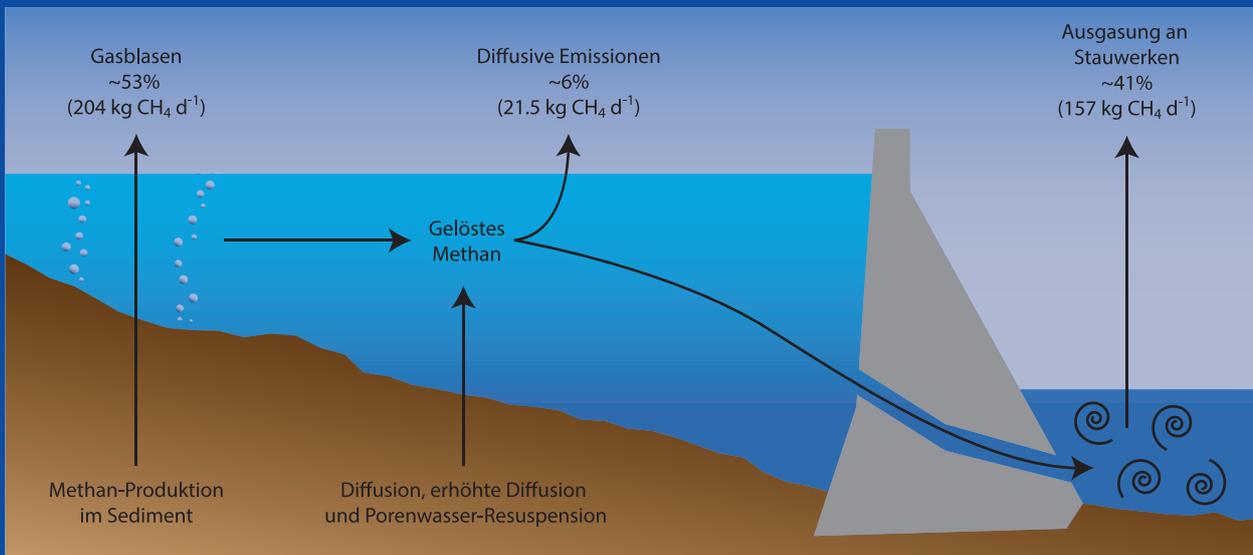
Mit einem Hausboot, das mit unterschiedlichsten Sensoren und Messgeräten ausgestattet war, haben wir alle relevanten Methanemissionspfade entlang der staugeregelten Saar auf 93 Kilometer Länge quantifiziert. Als absolute Emissions-Hotspots haben sich dabei die Oberwasser der sechs Staustufen erwiesen, die sich auf der Strecke befinden. Der Grund für die hohen Emissionsraten sind aufsteigende Gasblasen.

Die sich an unsere Expedition anschließende Quantifizierung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Blasenemissionen erwies sich als große Herausforderung. Um die aufsteigenden Blasen quantifizieren zu können, mussten

„Flüsse und Stauseen werden in den globalen Treibhausgasbilanzen bislang kaum berücksichtigt.“



Gasblasen steigen in einer Sedimentprobe auf. (Foto: Andreas Mäck)



Querschnitt einer Staustufe mit den relevanten Methan-Transportpfaden und den für die Saar bestimmten Emissionsraten. (Grafik: Andreas Mäck/Berend Barkela)

Messgeräte speziell entwickelt und gebaut werden, beispielsweise automatisch arbeitende Gasfallen oder ferngesteuerte Fluggeräte für Luftbildaufnahmen. Diese Messungen zeigten, dass die Blasen hauptsächlich durch die regelmäßig stattfindenden Schleusungen ausgelöst werden. Aufgrund des Schleusens entstehen Flutwellen, die zwischen zwei benachbarten Dämmen reflektiert werden. Räumlich sind aufsteigende Gasblasen überall dort zu finden, wo sich Sedimente auf der Gewässersohle ablagern – je mehr frisches Sediment, desto mehr Blasen. Diesen Zusammenhang konnten wir aufzeigen, als wir unsere Messungen mit den Daten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung verglichen, die die zeitliche Entwicklung der Gewässertiefe mit hoher räumlicher Auflösung überwacht.

Insgesamt haben unsere Messungen gezeigt, dass aus der Saar pro Tag etwa 380 Kilogramm Methan in die Atmosphäre emittiert werden. Der größte Teil der Methanemissionen stammt aus Blasen in den Stauhaltungen (54 Prozent) und aus der Ausgasung direkt hinter den Dämmen (41 Prozent). Der diffusive Transport über die Wasseroberfläche trägt nur mit rund fünf Prozent zu den Gesamtemissionen an der Saar bei.

Die Saar ist kein Einzelfall

Die an der Saar gemessenen Emissionsraten von Methan sind extrem hoch. Sie sind vergleichbar mit Emissionsraten aus tropischen Stauseen und wurden in den gemäßigten Breiten in dieser Größenordnung nicht erwartet. Messungen an anderen Flusssystemen in Europa deuten darauf hin, dass die Saar kein Einzelfall ist. Flüsse und Stauseen in der gemäßigten Klimazone wurden bisher in den globalen Treib-

hausgasbilanzen nicht oder kaum berücksichtigt. Unsere Messungen aber zeigen, dass sie einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an globalen Emissionsraten haben. Neu und unerwartet ist auch, dass die Methanemission aus diesen Gewässern aufgrund der Sedimentation von organischem Material, das die Flüsse mitführen, mit der Zeit wohl noch weiter zunehmen wird. Bisherige Untersuchungen in tropischen Stauseen hatten eher auf abnehmende Emissionen mit zunehmendem Alter des Stausees hingedeutet.

Was bedeuten diese Ergebnisse hinsichtlich der Nutzung von Wasserkraft, um regenerative Energie zu erzeugen und zu speichern? Trotz der hohen Emissionsraten ist der Ausstoß an Treibhausgasen verglichen mit fossilen Energieträgern eher gering. An der Saar ist eine Kraftwerksleistung von 32,5 Megawatt installiert: Der Ausstoß von Treibhausgasen betrug im Untersuchungszeitraum in Kohlendioxidäquivalenten je erzeugter Kilowattstunde Strom zirka vier beziehungsweise acht Prozent dessen, was herkömmliche Kohle- oder Gaskraftwerke emittieren.

Ausgewählte Literatur:

Bastviken, D., Tranvik, L. J., Downing, J. A., Crill, P. M. & Enrich-Prast, A. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. 2009. *Science*, 331, 50.

DeSontro, T., McGinnis, D. F., Sobek, S., Ostrovsky, I. & Wehrli, B. 2010. Extreme Methane Emissions from a Swiss Hydropower Reservoir: Contribution from Bubbling Sediments. *Environmental Science & Technology*, 44, 2419-2425. doi:10.1021/es9031369.

Tranvik, L. J. et al. 2009. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography*, 54 (2), 2298-2314.

Wandel der Landnutzung

Früher Regenwald – heute Ackerfläche

Rund um den Globus sind die Ökosysteme von einem erhöhten Stickstoffeintrag betroffen. Artenverlust, saurer Regen, Überdüngung, Belastung des Trinkwassers und die Emission von Treibhausgasen heißen die damit einhergehenden Umweltprobleme. Die Wissenschaftler der Landauer Arbeitsgruppe Geoökologie und Physische Geographie erforschen das Zusammenwirken von Landnutzung und erhöhtem Stickstoffangebot. Ein Schwerpunkt sind die ökologischen Folgen des global bedeutendsten Wandels der Landnutzung: die Umwandlung von Regenwald in Ackerfläche.

*Prof. Dr. Hermann Jungkunst (AG Geoökologie und Physische Geographie); Kontakt: jungkunst@uni-landau.de
www.geoecology.uni-landau.de; www.carbiocial.de*

Der Stickstoffkreislauf ist der wohl am stärksten von Menschen beeinflusste biogeochemische Kreislauf. Im Unterschied zum allgemein und prominent diskutierten Kohlenstoffkreislauf, der fast ausschließlich mit dem Klimawandel in Verbindung steht, geht der Stickstoffkreislauf mit mannigfaltigen negativen ökologischen Auswirkungen einher. Der Grund dafür ist, dass die meisten Ökosysteme an einen Stickstoffmangel angepasst sind – der Mangel an Stickstoff ist der natürliche Regelfall und die Stickstofflimitierung begrenzt den Zuwachs an Biomasse und damit die landwirtschaftliche Produktion. Diese natürliche Einschränkung ist mit dem „Haber-Bosch-Verfahren“ aufgehoben worden, das es möglich machte, „reaktiven“ Stickstoff künstlich herzustellen. Diese pflanzenverfügbaren Stickstoffverbindungen können als Dünger in der Landwirtschaft verwendet werden.

Das erhöhte Angebot an reaktivem Stickstoff blieb nicht allein auf landwirtschaftlich genutzte terrestrische Flächen begrenzt: Durch Auswaschung und Bodenerosion gelangte Stickstoff von Anfang an auch in angrenzende aquatische Systeme, was wiederum auf benachbarte terrestrische Systeme rückwirkte. Über den atmosphärischen Transport sind gegenwärtig faktisch alle Ökosysteme weltweit von einem erhöhten Eintrag an reaktivem Stickstoff betroffen. Die da-

mit einhergehenden Umweltprobleme sind gravierend und lassen sich mit den Schlagworten Artenverlust, saurer Regen, Überdüngung (Eutrophierung), Belastung des Trinkwassers und Emission von Treibhausgasen umreißen. Da das erhöhte Angebot an Stickstoff mit der Landnutzung eng zusammenhängt, ist die Erforschung dieses Zusammenhangs ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeitsgruppe Geoökologie und Physische Geographie am Institut für Umweltwissenschaften Landau.

Maßgebend für die Fülle komplexer Auswirkungen, die reaktiver Stickstoff auf ökosystemare Stoffflüsse hat, ist die Tatsache, dass reaktiver Stickstoff in sehr unterschiedlichen Oxidationsstufen vorkommt, die zudem bei biologischen Stoff- und Energieumsätzen wechseln. Ein Beispiel ist Lachgas (N_2O), ein Treibhausgas, das hinsichtlich des Erwärmungspotenzials die etwa 300-fache Wirkung von Kohlendioxid (CO_2) hat. Die Landnutzung und der Landnutzungswandel haben erheblichen Einfluss auf die Emissionsraten von Lachgas aus Böden.

Forschungsgroßprojekt „Carbiocial“

Der global bedeutendste Wandel der Landnutzung ist sicherlich die Umwandlung von tropischem Regenwald in



*In Südamazonien muss der Regenwald
immer häufiger der Landwirtschaft weichen.
(Foto: Stefan Hohnwald)*



Oben: Kein seltener Anblick im Regenwald des Amazonas: Junge Rinder an einer Entwaldungsfront in der Nähe der Stadt Novo Progresso. (Foto: Michael Klingler)

Unten: Der Landauer Wissenschaftler Hermann Jungkunst begutachtet ein Gebiet, das illegal gerodet worden ist. (Foto: Stefan Hohnwald)



landwirtschaftliche Nutzflächen. Aber auch in den Industrieländern der gemäßigten Breiten vollzieht sich derzeit ein wichtiger Wandel der Landnutzung weg von der Produktion von Nahrungsmitteln und Holz hin zum Anbau von Pflanzen, um Bioenergie zu gewinnen. Bei der Gewinnung von Bioenergie kann es zu Lachgasemissionen kommen, die die „positiven“ Ansätze des Gewinnens von Bioenergie, um die Klimaerwärmung zu mindern, leicht zunichte machen können. Wir untersuchen das Problemfeld Landnutzungswandel beispielsweise in einem Regenwald-Projekt. Bereits hinlänglich bekannt ist, dass die Umwandlung von Regenwald in landwirtschaftliche Nutzflächen mit vielfältigen ökologischen Problemen einhergeht; auch die negativen Rückkopplungen mit dem klimatischen System konnten in Modellen bereits sehr überzeugend vorausgesagt werden – einige der Vorhersagen haben sich bereits bewahrheitet.

Uns stellt sich die Frage, ob durch einen Wandel der Landnutzung – etwa durch eine Optimierung bereits bestehender landwirtschaftlicher Flächen in Regenwaldgebieten – der negative Einfluss auf das Klima gemildert werden und die Umwandlung von weiteren Regenwald- in Ackerflächen reduziert werden kann. Dieser wichtigen Frage gehen wir derzeit in Südamazonien in dem seit Ende 2011 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Großprojekt „Carbiocial“ intensiv nach. Der bisherigen wissenschaftlichen Literatur ist zu entnehmen, dass Lachgas in dieser Region nur eine sehr untergeordnete Rolle für land-

„Auch in den Industrieländern der gemäßigten Breiten vollzieht sich derzeit ein wichtiger Wandel der Landnutzung: Weg von der Produktion von Nahrungsmitteln – hin zum Anbau von Pflanzen für die Energiegewinnung.“

wirtschaftlich genutzte Flächen spielt. Diesen Befund gilt es zu bestätigen – oder zu widerlegen.

Erste Modelle, in die wir die regionale Landnutzung sowie die regionalen Boden- und Klimabedingungen einbezogen haben, untermauern den bisherigen Befund einer niedrigen Lachgasemission – sie zeigen aber zugleich eine große zeitliche Variabilität der Emissionen von Lachgas auf. Die Fragen, die sich jetzt stellen, sind: Wird der gedüngte Stickstoff tatsächlich fast vollständig durch die Biomasse der landwirtschaftlichen Produktion fixiert? Oder gerät der reaktive Stickstoff in anderer Form, beispielsweise als Nitrat, in angrenzende, insbesondere in aquatische Ökosysteme? Erweisen sich die im Modell simulierten Höhepunkte der Emissionen eventuell in der Realität als höher und sind deshalb auch insgesamt höhere Jahresemissionen zu erwarten?

Pappelplantagen in Belgien

Die extreme zeitliche Variabilität der Lachgasemissionen aus Ökosystemen erschwert es auch sehr, die „Klimabilanzen“ von Äckern abzuschätzen, auf denen Pflanzen wachsen, um Bioenergie zu gewinnen. Unsere Arbeitsgruppe war kürzlich an einer Studie zur Bestimmung der zweijährigen N_2O -Bilanz von Pappelplantagen in Belgien beteiligt. Dazu erfolgten kontinuierliche Messungen und es zeigte sich, dass 35 Prozent der gesamten N_2O -Emissionen in der zweijährigen Umtriebszeit innerhalb von nur einer Woche auftraten. Insgesamt waren die Emissionen niedrig, sodass die Klimabilanz

der Pappelplantagen nicht ins Negative getrieben wurde. Es zeichnet sich allerdings ab, dass die nächsten Pappelzuwachsrate geringer ausfallen werden und deshalb aus ökonomischer Sicht gedüngt werden muss. Das wird die Treibhausgasbilanzen sicherlich relevant verändern.

Es zeigt sich immer wieder, dass ein Stoff einen wesentlichen Anteil an umweltpolitisch relevanten Bilanzen haben kann – aber noch nicht immer vorhersagbar haben muss. Unser Ziel ist es, die für umweltpolitische Fragen neuralgischen Punkte wissenschaftlich zu begleiten und Lösungsangebote für auftretende Probleme zu erarbeiten.

Ausgewählte Literatur:

Cox, P. M., Betts, R. A., Collins, M., Harris, P. P., Huntingford, C. & Jones, A. M. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 137-156.

Jungkunst, H. F., Bargsten, A., Timme, M. & Glatzel, S. 2012. Spatial variability of nitrous oxide emissions in an unmanaged old-growth beech forest. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175, 739-749.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. P., Chapin, F. S., Lambin, E. F. et al. 2009. A safe operation space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.

Zona, D., Janssens, I. A., Gioli, B., Jungkunst, H. F., Marta, C. S. & Ceulemans, R. 2012. Early view. N_2O fluxes of a bio-energy poplar plantation during a two years rotation period. *GCB - Bioenergy*.



Dr. Carsten Brühl studierte an der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg Biologie und wurde dort zum Thema „Biodiversität von Ameisengemeinschaften auf Borneo“ promoviert. Ab dem Jahr 2001 arbeitete er in der Abteilung Ökotoxikologie der Firma Syngenta in der Schweiz und England, zuletzt als Leiter der Terrestrischen Ökotoxikologie. Seit dem Jahr 2006 leitet er in der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt von Prof. Dr. Ralf Schulz das Team Gemeinschaftsökologie und Ökotoxikologie.



Dr. Constanze Buhk forschte zu den Themen Feuerökologie, Biodiversität in der Kulturlandschaft, Störungsökologie und Invasionsökologie an den Universitäten von Halle-Wittenberg, Bayreuth, Trier und am Umweltforschungszentrum von Leipzig. Seit dem Jahr 2009 arbeitet sie in der von Prof. Dr. Hermann Jungkunst geleiteten Arbeitsgruppe Geoökologie und Physische Geographie.



Dr. Mirco Bundschuh studierte Umweltwissenschaften in Landau und wurde dort im Jahr 2011 zur ökotoxikologischen Bewertung von Mikroschadstoffen in konventionell gereinigtem Abwasser promoviert. In der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt von Prof. Dr. Ralf Schulz leitete Bundschuh das Team Funktionelle Aquatische Ökotoxikologie. Seit Ende 2012 ist Mirco Bundschuh Assistant-Professor für „Aquatic Ecology and Ecotoxicology“ an der Swedish University of Agricultural Sciences.



Prof. Dr. Martin Entling ist Biologe und wurde von der Georg-August Universität Göttingen in den Agrarwissenschaften promoviert. Er habilitierte sich im Jahr 2010 an der Universität Bern im Fach Ökologie. Seit 2010 leitet er die Arbeitsgruppe Ökosystemanalyse.

Prof. Dr. Oliver Frör studierte Geoökologie in Bayreuth und Volkswirtschaftslehre in Albany, USA. Er wurde 2007 mit dem Thema „Rationalitätskonzepte in der Umweltbewertung“ an der Universität Hohenheim in Stuttgart promoviert, wo er an mehreren Forschungsprojekten zur ökonomischen Umweltbewertung in Deutschland, Thailand, Vietnam und China beteiligt war. Seit dem Jahr 2011 leitet er die Arbeitsgruppe Umweltökonomie.



Dr. René Gergs studierte Biologie in Freiburg und absolvierte seine Diplomarbeit im Max-Planck-Institut für Limnologie in Schlitz. Von der Universität Konstanz wurde er im Jahr 2009 über die Bedeutung einer eingeführten Muschelart im Bodensee promoviert. In der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt von Prof. Dr. Ralf Schulz leitet Gergs das Team Limnologie von Lebensgemeinschaften. Aktuell arbeitet René Gergs über invasive Arten. Deren Einflüsse auf das Nahrungsnetz untersucht er mithilfe stabiler Isotope und genetischer Analysen; Feldstudien ergänzen die Studien.



Prof. Dr. Hermann Jungkunst studierte Geographie in Erlangen und Tübingen. Er wurde von der Universität Hohenheim in Agrarwissenschaften (Bodenkunde) promoviert. Danach forschte er am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena und an der Universität Göttingen überwiegend zu Treibhausgasen aus Böden.



Prof. Dr. Andreas Lorke ist Physiker und promovierte am Leibniz-Institut für Gewässerökologie (1998). Danach arbeitete er am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Magdeburg, an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz in Zürich und Luzern und an der Universität Konstanz auf dem Gebiet der Umweltströmungsmechanik. Seit dem Jahr 2009 leitet Andreas Lorke die Arbeitsgruppe Umweltphysik.





Andreas Mäck ist Geoökologe und forscht als wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-geförderten Projekt MethaneFlux der von Prof. Dr. Andreas Lorke geleiteten Arbeitsgruppe Umweltphysik.



Benjamin Peikert studierte Lebensmittelchemie in Hohenheim und erlangte im Chemischen und Veterinäruntersuchungsamt in Karlsruhe den Abschluss zum Lebensmittelchemiker. Seit dem Jahr 2011 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-Projekt OLIVEOIL der von Prof. Dr. Gabriele Schaumann geleiteten Arbeitsgruppe Umwelt- und Bodenchemie.



Jun.-Prof. Dr. Ralf Schäfer ist Umweltwissenschaftler und promovierte an der Leuphana Universität und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig zum Thema „Pestizideinträge in kleine Fließgewässer“. Danach arbeitete er am Royal Melbourne Institute for Technology in Australien, wo er die Wirkung anthropogener Stressoren auf Gewässerökosysteme erforschte. Seit dem Jahr 2010 leitet Ralf Schäfer die Arbeitsgruppe Quantitative Landschaftsökologie.



Prof. Dr. Gabriele Schaumann studierte Chemie an der Universität Ulm, wurde von der Technischen Universität Berlin zu einem bodenchemischen Thema promoviert und habilitierte sich 2006 in den Fächern Umweltchemie und Bodenchemie. Seit dem Jahr 2008 leitet Gabriele Schaumann die Arbeitsgruppe Umwelt- und Bodenchemie; seit 2013 ist sie Dekanin des Landauer Fachbereichs 7: Natur- und Umweltwissenschaften.

Jun.-Prof. Dr. Katrin Schuhen wurde im Jahr 2007 von der Universität Heidelberg zum Thema „Synthese und Anwendung von Olefinpolymerisationskatalysatoren und Trägermaterialien“ promoviert und arbeitete als Laborleiterin bei den Firmen Lyondellbasel in Frankfurt und Aecsulap AG in Tuttlingen. Seit Mai 2012 leitet Katrin Schuhen die in Landau neu eingerichtete Arbeitsgruppe für Organische und Ökologische Chemie.



Prof. Dr. Ralf Schulz studierte Biologie in Braunschweig und habilitierte sich im Jahr 2001 nach Forschungsaufenthalten in Südafrika und den USA für das Fachgebiet Tierökologie und Umweltwissenschaften. Ab dem Jahr 2002 arbeitete er bei der Firma Syngenta in Großbritannien, 2004 wechselte er als Leiter des Instituts für Umweltwissenschaften an die Universität in Landau. In den Jahren von 2011 bis 2013 war Ralf Schulz Dekan des Fachbereichs 7: Natur- und Umweltwissenschaften. Seit April 2013 ist er Vizepräsident für Forschung. Zugleich leitet Ralf Schulz die Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt.



Prof. Dr. Klaus Schwenk studierte Biologie an der Goethe-Universität Frankfurt und wurde von der Universität Utrecht, Niederlande, promoviert. Anschließend arbeitete er an der Universität von Amsterdam sowie an der Guelph-University in Kanada und habilitierte sich an der Goethe-Universität Frankfurt auf dem Gebiet der molekularen Ökologie aquatischer Organismen. Seit dem Jahr 2009 leitet Klaus Schwenk die Arbeitsgruppe Molekulare Ökologie.



Dr. Kathrin Theissing studierte Biologie in Mainz, schloss mit dem Diplom ab und erwarb einen Master in Canberra, Australien. Im Jahr 2012 wurde sie von der Universität Mainz mit einer Arbeit zur Phylogeographie und Populationsgenetik von aquatischen Insekten promoviert. In der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt von Prof. Dr. Ralf Schulz leitet Kathrin Theissing das Team Naturschutzgenetik. Beispiele für ihre aktuellen Arbeitsschwerpunkte sind der Einsatz molekular-genetischer Methoden für den Artenschutz sowie die stoffliche Belastung der Umwelt und die Konsequenzen für die genetische Diversität.





Die **Arbeitsgruppe Geoökologie und Physische Geographie** befasst sich mit den Auswirkungen der Landnutzung auf Boden und Pflanzen mit den Schwerpunkten Treibhausgasen und invasive Pflanzen. Die Wechselwirkungen aquatischer und terrestrischer Systeme analysieren die Wissenschaftler derzeit für Moore und Auen, insbesondere in Wäldern. Sie ergründen dabei die Auswirkung der Landnutzung, beispielsweise durch Holzentnahme, aber auch aufgrund landwirtschaftlicher Nutzung, und erarbeiten Bewertungskriterien sowie Hochrechnungen im regionalen, nationalen und kontinentalen Maßstab.



Die **Arbeitsgruppe Molekulare Ökologie** befasst sich mit der Entstehung und dem Erhalt der Biodiversität und der genetischen Variation in natürlichen und anthropogen beeinflussten Populationen. Verschiedene Modellorganismen, etwa Kleinkrebse der Gattung *Daphnia*, werden hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an aktuelle Umweltstressoren wie Chemikalien oder globale Klimaerwärmung genetisch untersucht.



Die **Arbeitsgruppe Ökosystemanalyse** befasst sich mit der Ökologie auf verschiedenen räumlichen Skalenebenen – von kleinräumigen Interaktionen bis hin zur Biogeographie. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Struktur und Funktion von Ökosystemen in Hinblick auf die Landwirtschaft, den Naturschutz, invasive Arten sowie Wasser-Land-Interaktionen.



Die **Arbeitsgruppe Ökotoxikologie und Umwelt** beschäftigt sich mit dem Vorkommen, den Wirkungen, Bewertungs- und Managementmaßnahmen für Schadstoffe in aquatischen und terrestrischen Systemen. Die Wissenschaftler versuchen, die Verbindung zwischen den beiden Systemen zu verstehen. Hierzu werden Schadstoffe im Zusammenhang mit anderen Stressoren im Ökosystem betrachtet, um Muster wie Variationen im Artenreichtum, Produktivität, Struktur der Nahrungsnetze und Prozesse der Gemeinschaftszusammensetzung zu verstehen. Zusätzlich zu anderen Stressoren wie der Zerstörung von Lebensräumen oder Krankheit betrachten die Wissenschaftler z. B. die Effekte von Pestiziden, um beobachtete Muster zu erklären. Die Forschungsarbeiten der Arbeitsgruppe sind anwendungsorientiert und sollen als Grundlage der Entscheidungsfindung im Naturschutzmanagement oder der Risikobewertung dienen.

Die **Arbeitsgruppe Organische und Ökologische Chemie** befasst sich mit der Synthese und Charakterisierung von strukturierten anorganisch-organischen Hybridmaterialien und deren Anwendung in der Abwassersanierung als Absorber für organische Stressoren.



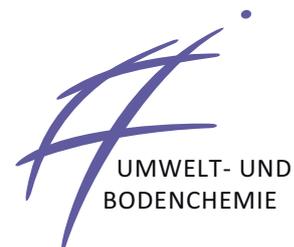
Die **Arbeitsgruppe Quantitative Landschaftsökologie** erforscht die Auswirkungen verschiedener Stressoren auf Gewässerökosysteme. Dazu nutzen die Wissenschaftler Felduntersuchungen, meist auf regionaler Ebene, und Computermodelle, mit denen sie analysieren, wie sich Schadstoffe, menschliche Landnutzung oder der Klimawandel auf Gewässer auswirken.



Die **Arbeitsgruppe Umweltökonomie** befasst sich in der Forschung schwerpunktmäßig mit Kosten-Nutzen-Analysen im Umweltbereich. Aufgabe ist es, bisherige Methoden so weiterzuentwickeln, dass die Präferenzen der Menschen hinsichtlich Natur und Umwelt in umweltpolitische Entscheidungen einbezogen werden können. Daneben untersucht die Arbeitsgruppe organisatorische Abläufe in Unternehmen mit dem Ziel, die Energie- und Ressourceneffizienz zu verbessern.



Die **Arbeitsgruppe Umwelt- und Bodenchemie** erforscht Prozesse an biogeochemischen Grenzflächen, die das Schicksal von Schadstoffen, synthetischen Nanopartikeln und Wasser in terrestrischen Ökosystemen sowie die Wechselbeziehung zwischen natürlichen Wässern, Abwässern und Böden beeinflussen. Zu den Forschungsprojekten der Arbeitsgruppe zählen das DFG-Projekt OLIVEOIL, dem Wissenschaftler aus Israel, Palästina und Deutschland angehören und die DFG-Forscherguppe INTERNANO.



Die **Arbeitsgruppe Umweltphysik** befasst sich mit physikalischen Prozessen in Gewässern. Die Wissenschaftler untersuchen beispielsweise die Wechselwirkungen von Strömungsmechanik, Stofftransport und biogeochemischen Umsatzraten. Dazu nutzen sie Laborexperimente und Freilanduntersuchungen.



Impressum

UNIPRISMA
ist das Wissenschaftsmagazin der
Universität Koblenz-Landau

UNIPRISMA spezial
jede Ausgabe widmet sich
einem Themenschwerpunkt

Herausgeber:
Der Präsident

Redaktion:
Kerstin Theilmann (verantw.)
Claudia Eberhard-Metzger

Layout:
Medienzentrum Campus Landau
Berend Barkela

Anschrift der Redaktion:
Universität Koblenz-Landau
Campus Landau
Referat für Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit

Fortstraße 7
76829 Landau/Pfalz

Telefon: +49 6341 280-32219
Telefax: +49 6341 280-32236
Email: theil@uni-koblenz-landau.de

Bildnachweise Titelbild:
nobeastsofierce – Fotolia.com,
Carsten Brühl, Karin Hiller, Sonja
Pfister, Uschi Schmidt

Druck:
Stork Druck, Bruchsal



Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwenden wir in unseren Artikeln die männliche Form. Damit sind stets Frauen und Männer gemeint.