

# oekotoxzentrum news

11. Ausgabe November 2015

Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie | Eawag-EPFL



Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln für Bodenorganismen _____	3
Haben Holzschutzmittel eine Wirkung auf Bodenorganismen? _____	5
Risikobeurteilung potentiell belasteter Standorte _____	7
Bioindikatoren für die Bodenqualität _____	9
GISFI: Umstrukturierung von geschädigten Standorten und Böden _____	11
Kurzmeldungen aus dem Oekotoxzentrum _____	13
Ökotoxikologie anderswo _____	16

Titelbild: Schnitt durch einen Moräneboden im Hügellgebiet, Zimmerwald, Kanton Bern.  
Photo: Gabriela Brändle und Urs Zihlmann (Agroscope), Andreas Chervet (Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern).



## Editorial

# Der Boden: eine unverzichtbare Ressource



Dr. Inge Werner,  
Leiterin des Oekotoxentrums



Benoît Ferrari,  
Gruppenleiter für Sediment- und  
Bodenökotoxikologie

Die Generalversammlung der Vereinten Nationen hat das Jahr 2015 zum «Internationalen Jahr des Bodens» erklärt. Das ist eine gute Gelegenheit, daran zu erinnern, dass Boden nicht nur einfach eine Oberfläche ist, auf der wir leben und uns fortbewegen. Der Boden ist ein gewaltiges Ökosystem, dessen Gesundheit für die Menschheit lebenswichtig ist. Zum Beispiel kann ein Gramm Boden bis zu 10 Mrd. Mikroorganismen aus 100000 Arten beherbergen; und Böden speichern weltweit mehr Kohlenstoff (>2000 Gigatonnen) als die Atmosphäre (820 Gt) und die Vegetation (610 Gt) zusammen.

In der Schweiz bieten mehrere Organisationen in diesem Jahr verschiedene Aktivitäten an, um die Öffentlichkeit besser mit diesem Ökosystem vertraut zu machen ([www.sols2015.ch](http://www.sols2015.ch)). Da Boden besonders durch Bevölkerungswachstum und Umweltverschmutzung zunehmend belastet wird, ist es höchste Zeit, für seinen Schutz zu sorgen, um die nachhaltige Entwicklung der menschlichen Gesellschaft sicherzustellen. Um diesem Ziel näher zu kommen, braucht es Methoden, mit denen schädliche Auswirkungen auf Böden vorausgesagt und beurteilt werden können. Das Oekotoxzentrum möchte mit dieser Spezialausgabe der Oekotoxzentrum News zum Jahr des Bodens beitragen und gibt daher fünf internationalen Experten das Wort, die verschiedene Ansätze zur Beurteilung der Bodenqualität für den Bodenschutz näher beleuchten.

Bei den prädiktiven Ansätzen können Sie entdecken, wie man in der Schweiz das ökotoxikologische Risiko von Pflanzenschutzmitteln, die in der Landwirtschaft verwendet werden, für Bodenorganismen beurteilt. Ausserdem berichten wir über ein Projekt, das die Verwendung von Holzschutzmitteln in der Schweiz betrachtet und ihre potentielle Toxizität bewertet.

Bei den retrospektiven Studien erfahren Sie, wie man verschiedene ökotoxikologische Methoden im Rahmen eines Triaden-Ansatzes zur Beurteilung potentiell belasteter Standorte einsetzen kann. Um dem Bedarf nach Methoden nachzukommen, die die Komplexität einer solchen Matrix

berücksichtigen, werden Bioindikatoren zur Erfassung des allgemeinen Bodenzustands verwendet. Der Artikel bietet Ihnen eine gute Gelegenheit, sich selbst ein Bild über die Relevanz eines solchen Ansatzes für die Praxis zu machen.

Ein Verständnis der Bodenfunktion und die Entwicklung von extrem leistungsfähigen Methoden zur Erfassung von Schädigungen wären kaum denkbar ohne die Schaffung von experimentellen Plattformen als Bindeglied zwischen Laborversuchen und echten Feldstudien. Daher erfahren Sie zum Abschluss mehr über die Geschichte und Entstehung einer einzigartigen Versuchstation, die der Studie von Industriebranchen gewidmet ist

Wir hoffen, Ihnen damit einen informativen Einblick in die Bodenökotoxikologie geben zu können. Diese Disziplin muss und wird in der Zukunft weiterhin an Bedeutung gewinnen. Seit 2013 gibt es in der Schweiz das NFP68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden», das diese Entwicklung unterstützt, indem es Methoden zur Bewertung des Bodens entwickelt und Strategien zu seiner nachhaltigen Nutzung erarbeitet.

Mit freundlichen Grüßen,



# Ökotoxikologische Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln für Bodenorganismen

**Vor der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln muss gezeigt werden, dass diese keine unannehmbaren Wirkungen auf Bodenorganismen haben. Dazu werden in einem mehrstufigen Verfahren Würmer und Arthropoden getestet.**

*Eva Kohlschmid*

Abhängig von der Qualität eines Bodens können in einer Handvoll Erde mehr als 10 Milliarden Bodenorganismen vorkommen. Allerdings beträgt ihr Gewichtsanteil weniger als 1 % der gesamten Bodensubstanz: Dadurch wird deutlich, wie klein diese Organismen sind. Bodenorganismen übernehmen viele Funktionen, die für die Struktur und Fruchtbarkeit des Bodens eine wichtige Rolle spielen. Dazu gehören die Zersetzung und der Abbau organischer Substanz zu anorganischen Verbindungen (z.B. Nährstoffe) bzw. die Umwandlung zu stabilen Humuskomplexen, die Bindung und Umwandlung von Stickstoff, die Verbesserung der Bodendurchlüftung (z.B. durch Wurmgänge) und der Abbau anthropogener Verbindungen (z.B. Pflanzenschutzmittel). Damit nach einem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) die Bodenorganismen in ihren Funktionen nicht dauerhaft gestört bleiben, wird jedes PSM vor der Zulassung streng überprüft.

Die Umweltprüfung von PSM ist Teil des Zulassungsverfahrens und durch die Schweizer Pflanzenschutzmittelverordnung (PSMV) geregelt. In der Schweiz beurteilen die beiden Agroscope-Forschungsgruppen «Ökotoxikologie» und «Pflanzenschutzchemie» die Nebenwirkungen der PSM auf den Naturhaushalt zu Händen der Zulassungsstelle des Bundesamtes für Landwirtschaft. Die basalen Schutzziele in der PSMV sind es, unannehmbare Auswirkungen auf die Umwelt, insbesondere auf die biologische Vielfalt und das Ökosystem, zu vermeiden. Diese Schutzziele werden im Rahmen einer Umwelttrisikobewertung mit Hilfe von Studien zum Umweltverhalten und zur Toxizität der Substanzen umgesetzt.

## **Umweltverhalten von Pflanzenschutzmitteln**

Das Umweltverhalten eines PSM erlaubt eine Voraussage darüber, in welchem Mass das Umweltmedium Boden nach der Anwendung des Mittels belastet sein kann. Um die Konzentration des aktiven Wirkstoffs eines PSM im Boden voraussagen zu können, muss allerdings immer die vorgesehene Anwendung berücksichtigt werden. Denn die Anwendungstechnik, die ausgebrachte Menge pro Flächeneinheit und andere Faktoren wie zum Beispiel der Grad der

Bodenbedeckung der Kultur beeinflussen die Verteilung des Wirkstoffs im Boden. Versuche zum Umweltverhalten geben Aufschluss über mögliche Abbauewege, Abbaumechanismen und Abbaugeschwindigkeiten in Boden, Wasser und Luft bei unterschiedlichen Bedingungen. Dabei sind typische Kenngrössen die Zeitspannen, in denen 50 % bzw. 90 % der Ausgangskonzentration ab- oder umgebaut werden, die sogenannten  $DT_{50}$ - und  $DT_{90}$ -Werte (siehe Glossar).

## **Toxizität auf Bodenorganismen**

Toxizitätsversuche zur Wirkung auf Tiere und Pflanzen werden unter standardisierten Laborbedingungen an einer Reihe von Stellvertreterarten durchgeführt, die die Flora und Fauna der Agrarlandschaft repräsentieren sollen. Zum Abschätzen des Risikos für die Bodenorganismen, werden sogenannte Toxizitäts-Expositions-Verhältnisse (TER Werte) ermittelt. Dabei werden die im Experiment bestimmten Effektschwellen (z. B.  $LC_{50}$ , die Konzentration, bei der 50 % der Versuchsorganismen innerhalb eines bestimmten Zeitraums sterben, oder NOEC, die höchste Konzentration, bei der noch kein Effekt auf die Versuchsorganismen beobachtet wird) einer berechneten Umweltkonzentration (PEC Wert = Predicted Environmental Concentration) gegenübergestellt (siehe Glossar). Zusätzlich werden bei der Risikobewertung vorgeschriebene Sicherheitsfaktoren eingesetzt. Diese sollen verschiedene Unsicherheiten berücksichtigen, beispielsweise, dass im Freiland vorkommende Arten empfindlicher reagieren können als im Labor untersuchte Arten oder dass nur wenige Arten getestet wurden.

## **Risikobewertung von PSM auf Boden-Makroorganismen**

Die ökotoxikologische Risikobewertung der PSM auf die Boden-Makroorganismen ist ein sogenanntes mehrstufiges Verfahren («Tiered Approach»), um schnell und effizient wenig problematische Wirkstoffe herauszufiltern. Das Verfahren besteht aus «First-Tier» Labortests (Regenwurm, akut), «Second-Tier» erweiterten Labortests (Regenwurm, chronisch) und «Third-Tier» Mikrokosmen-Studien (Modellökosystem Tests) oder Feldtests. Alle Stufen haben zum Ziel, das gleiche Schutzniveau zu erreichen.



Die «First-Tier» Risikobewertung für Boden-Makroorganismen beruht auf akuten Toxizitätswerten (Mortalität,  $LC_{50}$ -Werte) für die Standard-Testspezies *Eisenia fetida*, eine Regenwurmart. Diese dient als Stellvertreterorganismus für andere Regenwurmarten sowie für andere Boden-Makroorganismen. Wenn Bedenken aufgrund des akuten Regenwurmtests, aufgrund der Persistenz des Wirkstoffs im Boden (DT90 grösser als 365 Tage) oder aufgrund seiner mehrmaligen Anwendung in den Kulturen bestehen, müssen chronische Langzeittests mit *E. fetida* zur Beurteilung der Toxizität des Pflanzenschutzmittels auf Reproduktion, Biomasse und Verhalten durchgeführt werden. Die toxikologischen Endpunkte aus den chronischen Versuchen beruhen auf NOEC-Werten.

Manchmal stellen persistente Wirkstoffe in ihrer Anwendung zwar kein Risiko für Regenwürmer dar, aber ein Risiko für die Standard-Testarten der Nichtziel-Arthropoden, die parasitische Wespe *Aphidius rhopalosiphii* und die Raubmilbe *Typhlodromus pyri*, beides Nützlinge, die auf Pflanzen leben, kann nicht ausgeschlossen werden. In diesem Fall werden zusätzlich Boden-Arthropoden wie der Springschwanz *Folsomia candida* oder die Raubmilbe *Hypoaspis aculeifer* in die Prüfung miteinbezogen. Die beiden Indikatorarten *T. pyri* und *A. rhopalosiphii* zählten in den Sensitivitätsanalysen mit verschiedenen Testspezies und PSM zu den Sensitivsten und wurden aus diesem Grund für die «First-Tier» Risikobeurteilung für die Nichtziel-Arthropoden ausgewählt.

#### Risikobewertung von PSM auf Boden-Mikroorganismen

Der Einfluss von PSM auf Mikroorganismen wird anhand des Einflusses auf die Stoffwechselaktivität der Stickstoffumwandlung und der Kohlenstoffmineralisierung beurteilt. Effekte unter 25 % nach einer Testdauer von 100 Tagen werden als akzeptabel eingestuft. Werden nach 100 Tagen Effekte über 25 % ermittelt, müssen weiterführende Versuche durchgeführt werden.

#### Neuerungen in der Schweizer Pflanzenschutzmittelverordnung ab 2016

In der seit 2014 geltenden Datenanforderung der Europäischen Union (Verordnung (EU) Nr.283/2013) für die Wirkstoffe im Rah-

men der Verordnung über das Inverkehrbringen von PSM (EG) Nr. 1107/2009 wird der akute Regenwurmtest nicht mehr verlangt, dafür soll aber der chronische Regenwurmtest routinemässig durchgeführt werden. Diese Anforderung wird ab 2016 in die Schweizer PSMV übernommen. Dies bedeutet, dass das Risiko von Pflanzenschutzmitteln auf Boden-Makroorganismen im «First-Tier» in Zukunft auf der Basis der Wirkung auf Reproduktion, Biomasse und Verhalten bewertet wird. Daten zur Wirkung auf Boden-Arthropoden können von den nationalen Behörden immer gefordert werden und sollten vor allem dann verlangt werden, wenn die Blattanwendung Bedenken in Bezug auf die dort lebenden Nichtziel-Arthropoden aufwirft oder wenn das Pflanzenschutzmittel direkt auf den Boden ausgebracht wird. Bei den Mikroorganismen-Tests werden zukünftig keine Untersuchungen zur Kohlenstoffmineralisierung mehr verlangt, da dieser Test als weniger sensitiv angesehen wird als der Test zur Stickstoffumwandlung.

Dr. Eva Kohlschmid ist Spezialistin für die ökotoxikologische Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln und arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Agroscope.

Kontakt: [eva.kohlschmid@agroscope.admin.ch](mailto:eva.kohlschmid@agroscope.admin.ch)

#### Glossar

$DT_{50}/DT_{90}$ : Zeitspanne (Disappearance Time), die benötigt wird, bis 50 % bzw. 90 % der Ausgangssubstanz ab- oder umgebaut wurde

TER: Toxizitäts-Expositions-Verhältnis (Toxicity Exposure Ratio =  $LC_{50}/PEC$  oder  $NOEC/PEC$ )

$LC_{50}$ : Tödliche Konzentration (Lethal Concentration) für 50 % der Testorganismen

NOEC: Höchste Konzentration, bei der noch kein Effekt auf den Testorganismus beobachtet wird (No Observed Effect Concentration)

PEC: Vorhergesagte Umweltkonzentration für eine Substanz (Predicted Environmental Concentration)



# Haben Holzschutzmittel eine Wirkung auf Bodenorganismen?

**Um Holz als Baumaterial vor Pilz- und Bakterienfäule zu schützen, werden verschiedene Biozide eingesetzt. Durch direkten Kontakt oder durch Auswaschung können die Biozide in den Boden gelangen, wo sie ein potenzielles Risiko für die Bodenorganismen und damit für die Bodengesundheit darstellen. Das Oekotoxzentrum hat untersucht, wie giftig in der Schweiz häufig eingesetzte Wirkstoffe in Holzschutzmitteln auf Bodenorganismen wirken.**

*Sophie Campiche*

Holz ist ein natürliches Baumaterial, das sowohl im Innen- als auch im Aussenbereich von Bauwerken verwendet wird. Es unterliegt einem Alterungs- und Abbauprozess und kann von holzfressenden Insekten, Braun- und Weissfäulepilzen sowie Schimmel befallen werden. Um Qualitätsverluste zu reduzieren und Störfälle zu vermeiden, ist es von Nutzen, das Holz gegen diese biologischen Angriffe zu schützen. Zu diesem Zweck werden Holzschutzmittel eingesetzt, also Biozid-Produkte, die üblicherweise eine Mischung aus 2 oder 3 Wirkstoffen aus der Familie der Insektizide oder Fungizide enthalten. Die Wahl des jeweiligen Produktes hängt vom biologischen Risiko ab, dem das Holz ausgesetzt ist. In der Schweiz setzt man Metallsalze, quaternäre Ammoniumsalze, Carbamate und Triazole zum Schutz von Hölzern im Aussenbereich ein, die Witterungseinflüssen ausgesetzt sind und in direktem Kontakt mit dem Boden stehen können (z. B. Fassaden, Terrassen, Absperungen oder Pfähle). Weil die Stoffe auf der Holzaussenseite aufgebracht werden, ist es möglich, dass sie in den Boden ausgewaschen werden. Die Bodenorganismen können also potentiell durch diese Stoffe beeinträchtigt werden.

## **Genehmigung und Verwendung biozider Wirkstoffe**

Bevor die in Holzschutzmitteln verwendeten Wirkstoffe auf dem Markt eingeführt und genutzt werden können, müssen sie zunächst von den schweizerischen oder euro-

päischen Behörden beurteilt und genehmigt werden. Zu diesem Zweck müssen nicht nur Daten über den Eintrag der Stoffe in die Umwelt bereitgestellt werden, sondern auch Daten zu ihrer Toxizität für Nichtzielorganismen. Trotzdem sind derzeit nur wenige Angaben über die Toxizität der Stoffe für Bodenorganismen verfügbar. Es gibt auch fast keine Informationen über die Umwelttoxizität der Substanzen, wenn sie in Mischung im Holzschutzmittel vorliegen, oder über die Umweltkonzentrationen von Substanzen, die in den Boden ausgewaschen werden.

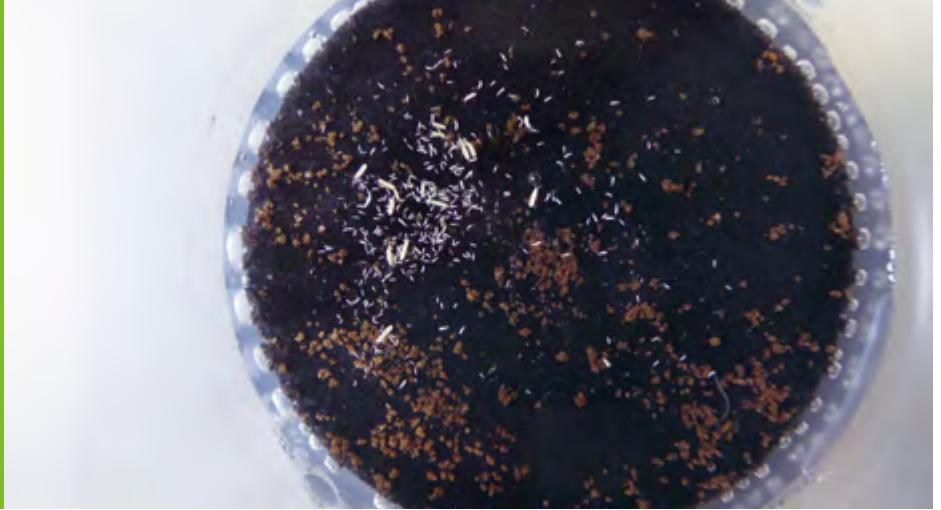
## **Und die Bodenorganismen?**

Um sich einen Überblick über die aktuelle Situation der Böden zu verschaffen, hat das schweizerische Bundesamt für Umwelt das Oekotoxzentrum und das Institut für Werkstoffe und Holztechnologie der Berner Fachhochschule beauftragt, eine Literaturstudie durchzuführen und gegebenenfalls durch eine Studie über die potentielle Toxizität von Holzschutzmitteln für Bodenorganismen zu ergänzen. Dazu führten die Wissenschaftler zunächst eine Marktanalyse durch, um die in der Schweiz vorwiegend verwendeten Produkte zu identifizieren. In der Schweiz sind zwar insgesamt 32 Wirkstoffe für eine Anwendung in Holzschutzmitteln zugelassen, doch etwa 75 % der Einträge wurden durch lediglich 7 Wirkstoffe verursacht (Stand August 2014). Bei diesen Substanzen handelt es sich um Iodocarb (IPBC), Propiconazol, Permethrin, Tebuconazol, Borsäure, quaternäre Ammoniumsalze und Kupfersalze, die alle ausschliesslich für die Behandlung von Holz im Aussenbereich verwendet werden.

Auf dieser Grundlage wurden vier Holzschutzmittel ausgewählt, die nach ökotoxikologischen Gesichtspunkten beurteilt werden sollten: Zwei der Produkte enthielten IPBC oder Propiconazol als einzigen Wirkstoff, das dritte (CuCrB) eine Kombination der Wirkstoffe Borsäure und Kupfer(II)-hydroxid mit Chrom als Bindemittel und das vierte (Quats) eine Mischung aus Kupfer(II)-karbonat, Kupfer(II)-hydroxid, Didecylpoly(ethoxy)ethylammoniumborat (DPAB) und Borsäure. Für die Wirkstoffe IPBC und DPAB, die ausschliesslich als Biozide eingesetzt werden und im Prinzip nicht direkt in den Boden eingetragen werden, zeigte die Literaturstudie, dass Informationen über ihre Toxizität für Bodenorganismen entweder vollkommen fehlten oder lediglich allgemein für Mikroorganismen, Pflanzen und Regenwürmer verfügbar waren. Für Wirkstoffe aus der Klasse der Metalle oder Metalloide wie Kupfer, Chrom oder Bor, die für verschiedene andere Anwendungen eingesetzt werden oder für Umweltbelastungen bekannt sind, gibt es dagegen umfassende Toxizitätsdaten für andere Bodenorganismen wie Springschwänze (Collembolen) oder Enchyträen. Es existieren keine Literaturdaten zur Toxizität von Substanzmischungen.

## **Toxizitätstests mit Bodenorganismen**

Um zusätzliche Daten zur Toxizität der Substanzen oder Substanzmischungen auf Bodenorganismen zu erhalten, untersuchten die Wissenschaftler des Oekotoxzentrums die Fortpflanzung von Collembolen der Art *Folsomia fimetaria* und das Vermeidungsverhalten von Regenwürmern der Art *Eisenia*



*andrei* in ISO- oder OECD-standardisierten Biotests. Dazu wurden die Organismen in Kontakt mit Böden gebracht, die zuvor mit unterschiedlichen Mengen der Substanzen oder mit Substanzmischungen versetzt worden waren.

Die Organismen reagierten auf unterschiedliche Art und Weise auf die getesteten Produkte. Für IPBC ergaben die Biotests, dass die Substanzkonzentrationen, bei denen die Fortpflanzung der Collembolen um 50 % gehemmt wurde oder 50 % der untersuchten Regenwürmer den Boden vermieden ( $EC_{50}$ ), einander sehr ähnlich waren und etwa 35 mg IPBC pro kg Bodensubstanz betragen. In der Literatur fand sich für Regenwürmer nur eine  $LC_{50}$ , das heisst die Konzentration, die für 50 % der getesteten Organismen tödlich ist, von über 1000 mg/kg, was einer etwa 30-fachen Konzentration entspricht. Dieser Parameter wird jedoch als weniger empfindlich eingestuft als das Verhalten der Würmer. Für IPBC wurde in der Literatur keine Angabe zur Collembolentoxizität gefunden. Propiconazol beeinflusste das Verhalten der Würmer ( $CE_{50}$ ) bei einer Konzentration von 50 mg/kg Bodensubstanz. Diese Konzentration liegt in der Spanne der zwei Toxizitätswerte, die für den Regenwurm aus der Literatur entnommen wurden. Collembolen waren dreimal weniger empfindlich gegenüber Propiconazol als Regenwürmer. Auf Basis der erhaltenen Ergebnisse und der Kriterien zur Klassifizierung der Umweltrisiken werden IPBC und Propiconazol in die Toxizitätskategorie «schädlich» für Regenwürmer eingestuft.

Bei beiden Holzschutzmitteln, die aus einem Wirkstoffgemisch bestanden, wurde eine stark toxische Wirkung auf Regenwürmer beobachtet. Für CuCrB betrug die  $EC_{50}$  11 mg/kg, für die Quats 47 mg/kg. Diese Konzentrationen waren 20-mal geringer als für die Collembolen. In beiden Fällen war die Toxizität der Substanzmischung wesentlich stärker als die jeweilige Toxizität der Einzelwirkstoffe (Literaturangaben). Darüber hinaus scheint Chrom eine wichtige Rolle für die Toxizität der Mischung CuCrB zu spielen. Cr wird allerdings nicht als eigenständiger Wirkstoff des Holzschutzmittels betrachtet und in Studien über den Eintrag der Substanzen durch Auswaschung nicht immer berücksichtigt. Über im Boden gemessene Umweltkonzentrationen der ausgewählten Wirkstoffe bei behandeltem Holz konnten keine Angaben gefunden werden.

#### **Forschungsperspektiven**

Die Literaturstudie bestätigt, dass es nur sehr wenige Informationen über die Toxizität der in Holzschutzmitteln enthaltenen Wirkstoffe für Bodenorganismen gibt. Daher sollten die Untersuchungen zur Ergänzung der fehlenden Informationen fortgesetzt werden. Ausserdem sollten Wirkstoffmischungen, die in der Schweiz häufig in Holzschutzmitteln verwendet werden, einer näheren Kontrolle unterzogen werden, so wie das im Gemisch CuCrB enthaltene Chrom. Die Toxizität von Holzschutzmitteln, die durch Auswaschung in den Boden gelangen, sollte ebenfalls in Mikrokosmen oder unter Feldbedingungen näher untersucht werden.

Dr. Sophie Campiche arbeitet beim Oekotoxzentrum als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Bodenökotoxikologie.

Kontakt: [sophie.campiche@centreecotox.ch](mailto:sophie.campiche@centreecotox.ch)

Weitere Informationen zu diesem Thema sowie den Projektbericht finden Sie unter [www.oekotoxzentrum.ch/projekte/boden-oekotoxikologie/oekotoxizitaet-von-holzschutzmitteln](http://www.oekotoxzentrum.ch/projekte/boden-oekotoxikologie/oekotoxizitaet-von-holzschutzmitteln)



# Ökotoxikologische Tests als Teil der Risiko- beurteilung potentiell belasteter Standorte

**Für die Beurteilung der Bodenqualität gibt es bis jetzt kein einheitliches, international anerkanntes Vorgehen, obwohl bereits zahlreiche aussagekräftige ökotoxikologische Testverfahren existieren. Es wird empfohlen, solche Biotests in Zukunft regelmässig bei der Umweltrisiko-Beurteilung von Böden einzusetzen, am besten im Rahmen eines stufenweise anzuwendenden Konzepts wie dem TRIAD-Ansatz.**

Jörg Römbke

Potentiell kontaminierte Böden wie zum Beispiel Altlastenstandorte werden heute nicht einheitlich bewertet. Häufig wird in einem ersten Schritt versucht, gemessene Chemikalienkonzentrationen im Boden mit Grenzwerten abzugleichen, die vorab auf der Grundlage ökotoxikologischer Testergebnisse für die jeweilige Chemikalie festgelegt wurden. In Deutschland wurden solche Werte in einem mehrstufigen System für einige Metalle und wenige organische Stoffe in der Bundesbodenschutzverordnung veröffentlicht (BBodSchV 1999). Auch in anderen europäischen Staaten, speziell den Niederlanden oder Skandinavien, gibt es ähnliche Bodenwerte (Carlson 2007). Ein Vorschlag für eine europäische Regelung zum Bodenschutz («Soil Framework Directive» [EU 2006]) wurde aber im letzten Jahr nach mehrjährigen Beratungen zurückgezogen.

## Problematische Bodenvariabilität

Wird ein solcher Bodengrenzwert an einem bestimmten Standort überschritten, ist entweder dessen Nutzung einzuschränken oder eine genauere Prüfung notwendig, z. B. mittels ökotoxikologischer Tests. In den letzten 30 Jahren wurde eine Vielzahl von Verfahren verschiedener Komplexität entwickelt. Heute stehen ca. 50 Tests mit Mikroorganismen, Pflanzen und wirbellosen Tieren zur Verfügung, von denen viele durch die ISO (International Organisation for Standardization) validiert und standardisiert worden sind (ISO 2002) (für Beispiele siehe Tabelle). Für die Tests werden aus dem Freiland Bodenproben ins Labor geholt, dort gesiebt und auf eine bestimmte Feuchte eingestellt, bevor die jeweiligen Testorganismen dazugesetzt werden. Da sich die Böden in ihren Eigenschaften wie pH-Wert, Textur, oder organischem Gehalt stark unterscheiden, sollten die Testspezies möglichst wenig auf diese Faktoren

## Übersicht über wichtige Standardtests (ISO) für potentiell belastete Böden

Testname	Testspezies	Testprinzip + Dauer	Richtlinie
Chronischer Regenwurmtest	<i>Eisenia fetida</i> , <i>E. andrei</i>	Biomasse, Reproduktion; 56 Tage	ISO 11268-2
Regenwurm-Vermeidungstest	<i>Eisenia fetida</i> , <i>E. andrei</i>	Verhalten; 48 h	ISO 17512-1
Chronischer Enchytraeentest	<i>Enchytraeus albidus</i> , <i>E. crypticus</i>	Reproduktion; 42 bzw. 28 Tage	ISO 16387
Chronischer Collembolentest	<i>Folsomia candida</i>	Reproduktion; 28 Tage	ISO 11267
Collembolen-Vermeidungstest	<i>Folsomia candida</i>	Verhalten; 48 h	ISO 17512-2
Keimlingsauf- und -wachstumstest	<i>Avena sativa</i> , <i>Brassica rapa</i> ; andere Nutzpflanzen	Auflaufrate, Biomasse Ca. 14 Tage	ISO 11269-1
Chronischer Pflanzentest	<i>Avena sativa</i> , <i>Brassica rapa</i> ; andere Nutzpflanzen	Biomasse, Blütenzahl Samen kapseln; 35 Tage	ISO 22030
Kohlenstofftransformationstest	Natürliche Mikrobengemeinschaft	Respirationsrate. 28 Tage; 100 Tage möglich	ISO 14240-1
Stickstofftransformationstest	Potentielle Nitrifikation	Ammoniumoxidation; 4 Tage	ISO 15685
Extrazellulärer Enzymtest	Enzymaktivitätstest	Fluoreszenzmessung; 3 h	ISO 22939
Bestimmung mikrobieller DNA	Natürliche Mikrobengemeinschaft	Quantitative Polymerase-Kettenreaktion (PCR)	ISO 17601
Boden-Kontakttest	<i>Arthrobacter globiformis</i> (Bakterium)	Dehydrogenaseaktivität	ISO 18187
Köderstreifentest	Bodenorganismengemeinschaft	Frassaktivität; Dauer variabel	ISO 18311

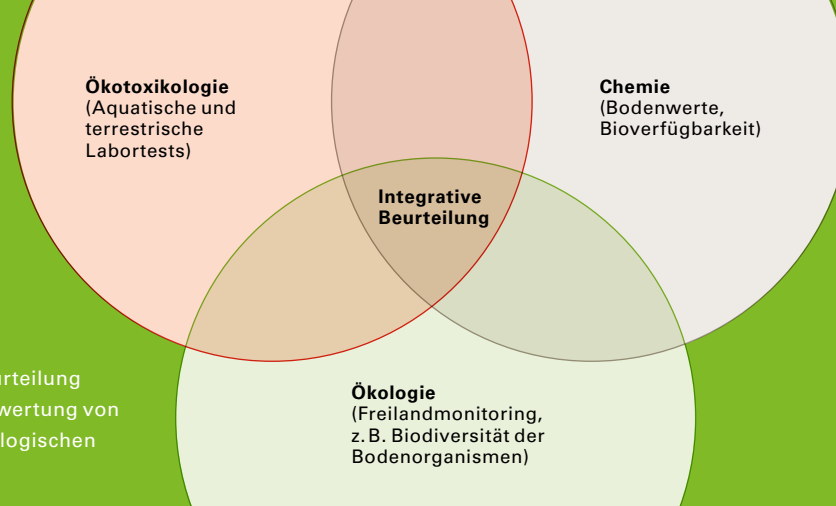


Abbildung 1: TRIAD-Ansatz zur Beurteilung der Bodenqualität: Integrative Auswertung von rückstandsanalytischen, ökotoxikologischen und ökologischen Daten

reagieren. Zudem ist zu berücksichtigen, dass diese Faktoren die Wirkung von Chemikalien erhöhen oder mindern können, indem sie ihre Verfügbarkeit verändern (z. B. nimmt mit abnehmenden pH-Wert im Boden die Verfügbarkeit von Schwermetallen für Organismen zu). Problematisch ist dann, dass es beim Auftreten von Wirkungen auf die Organismen schwierig ist, zwischen der jeweiligen Belastung und Auswirkungen der Bodeneigenschaften zu unterscheiden.

Bestätigt sich die Umweltgefährdung anhand der ökotoxikologischen Tests, so können die zuständigen Behörden Sanierungsmassnahmen an dem jeweiligen Standort anordnen. Alternativ könnte der Standort genauer überprüft werden, speziell mit dem in Nordamerika für Sedimente entwickelte TRIAD-Ansatz. Darunter versteht man eine integrative Auswertung von rückstandsanalytischen, ökotoxikologischen und ökologischen Daten (Abb. 1), die in einem Stufenansatz mit zunehmender Komplexität erhoben werden. Kürzlich wurde der TRIAD-Ansatz international standardisiert (ISO 2014).

Dieses Vorgehen kann zum Beispiel wie folgt aussehen (die Auswahl kann in Abhängigkeit von den vom jeweiligen Standort bekannten Daten modifiziert werden [Jensen & Mesman 2006]):

#### Testebene I (Ersteinschätzung)

*Chemie:* Verfeinerung der Bodenwerte; *Ökotoxikologie:* Arthro-bacter-Test (ISO 18187); Einfacher Pflanzentest (ISO 17126); Regenwurm- oder Collembolen-Fluchtttest (ISO 17512-1/2). *Ökologie:* Vegetationserfassung und –beurteilung mittels Standortbegehung.

#### Testebene II (Verfeinerte Einschätzung)

*Chemie:* Bestimmung des bioverfügbaren Anteils im Boden (z. B. mittels 0,001 mol/l CaCl<sub>2</sub>) oder «Solid phase micro extraction» (SPME); *Ökotoxikologie:* Reproduktionstests mit Regenwürmern (ISO 11268-2), Enchytraeen (ISO 16387) oder Collembolen (ISO 11267), Pflanzenwachstumstest mit zwei Arten (ISO 11269-2); *Ökologie:* Köderstreifentest (ISO/DIS 18311); Stickstoff-Mineralisierungstests (ISO 14238), Verteilung der trophischen Gruppen der Nematoden.

#### Testebene III (Detaillierte Beurteilung):

*Chemie:* Anwendung chemischer Modelle oder fortgeschrittener analytischer Methoden; *Ökotoxikologie:* Multi-Spezies-Tests, z. B. mit Collembolen, Enchytraeen und Raubmilben; Chronischer Pflanzentest (ISO 22030); Mikrobielle Diversitätstests, z. B. auf DNA-Basis (ISO 17601). *Ökologie:* Bestimmung biologischer Funktionen (z. B. im Streubeuteltests) bzw. der Diversität von Mikroorganismen, Pflanzen und Bodentieren.

Dabei sollten soweit wie möglich standardisierte Tests verwendet werden (im Bereich der Testebene 3, in der Freilandtests anzuwenden sind, gibt es allerdings noch relativ wenige Standardverfahren). Die jeweils generierten Daten werden zuerst pro Testebene ausgewertet. Wenn dabei ein Risiko nicht ausgeschlossen werden kann, ist zur nächsten Ebene vorzugehen, so dass eine umfassende Beurteilung des Umweltrisikos möglich ist. In Hinsicht auf einen umfassenden und transparenten Bodenschutz in ganz Europa ist zu empfehlen, dass die (weitgehend) vorhandenen ökotoxikologischen Testverfahren zukünftig regelmässig bei der Umweltrisiko-Beurteilung potentiell belasteter Standorte eingesetzt werden, am besten im Rahmen eines stufenweise anzuwendenden Konzepts wie dem TRIAD-Ansatz.

Dr. Jörg Römbke ist Geschäftsführer der ECT Oekotoxikologie GmbH.  
Kontakt: j-roembke@ect.de

#### Weiterführende Literatur

- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes. BGBl I, 36, S. 1554–1582 vom 16.06.1999.
- Carlson, C. (ed.) (2007): Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Italien, EUR 22805-EN. 306 S.
- EU (European Union) (2006): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. COM 232 (2006) final. Brussels, 30 pp.
- ISO (International Organization for Standardization) (2002): Soil quality – Guidance on the ecotoxicological characterization of soils and soil materials. ISO 15799. Geneva, Switzerland.
- ISO (International Organization for Standardization) (2014): Soil quality - Procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (TRIAD approach). ISO No. 19204. Geneva, Switzerland, 2014;
- Jensen, J. & Mesman, M. (2006): Ecological risk assessment of contaminated land. Decision support for site specific investigations. Part of EU-funded 'Liberation' project. Report 711701047, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven





# Das Programm «Bioindikatoren»: Von der Entwicklung bis zur Validierung von Bioindikatoren für die Bodenqualität

**Bioindikatoren reagieren integrativ auf Umweltbelastungen und geben Auskunft über den allgemeinen Bodenzustand, den Verlust oder die Wiederherstellung von Bodenfunktionen sowie die Risiken, die mit einer Bodenverschmutzung einhergehen.**

*Benjamin Pauget*

Boden stellt eine essentielle Ressource für Menschen und Ökosysteme dar und sollte daher einen spezifischen Schutz genießen. Im Rahmen der im Jahr 2005 veröffentlichten Studie «Millennium Ecosystem Assessment» wurden Bodenorganismen als unverzichtbar für das einwandfreie Funktionieren des Bodens identifiziert. Dank dieser Organismen erfüllt der Boden zahlreiche Funktionen und liefert eine Vielzahl an Ökosystemdienstleistungen – also für den Menschen nützliche Funktionen wie die Regulierung des Wasserhaushalts, den organischen Stoffkreislauf oder die Kapazität der Böden zum Wasserrückhalt. Der Schutz der Böden ist besonders wegen ihrer zunehmenden Belastung durch den Menschen durch Industrie, Landwirtschaft, Erosion oder Versalzung von wesentlicher Bedeutung. Die im Jahr 2006 vorgelegte europäische Bodenrahmenrichtlinie zum Schutz der Böden wurde im Jahr 2014 trotz dieser Erkenntnisse abgelehnt. Der Schutz der Biodiversität der Böden bleibt dennoch eine zentrale Herausforderung.

## **Bioindikatoren als integrative Methoden, die über den allgemeinen Zustand der Böden informieren**

Obwohl Bioindikatoren schon lange zur Beurteilung der Luft- und Wasserqualität eingesetzt werden, finden sie für Böden nur selten Verwendung. Für die Umsetzung

und Kontrolle von Schutzmassnahmen und für ein verbessertes Bodenmanagement werden Methoden benötigt, die in der Lage sind, die Komplexität dieser Matrix zu integrieren. Traditionell werden zur Beurteilung der Bodenqualität und der potentiellen Risiken für den Menschen durch Bodenschadstoffe physikalisch-chemische Indikatoren verwendet (pH, Anteil organischer Substanz, Bodenbeschaffenheit als Kriterium für die Qualität, und Methoden für das Management belasteter Standorte und Böden wie die Interpretation des Umweltzustands oder auch der Risikomanagementplan<sup>1</sup>). Diese physikalisch-chemischen Indikatoren liefern jedoch nur eine unvollständige Information. Sie geben keine Auskunft über den biologischen Zustand der Böden, obwohl dieser für ein umfassendes Verständnis ihrer Funktion unerlässlich ist. Sie berücksichtigen auch nicht die Bioverfügbarkeit (Mobilität, Transfer und Effekte), auf deren Grundlage die tatsächliche Exposition der Bodenorganismen gegenüber Schadstoffen beurteilt werden kann. Bioindikatoren reagieren integrativ auf Umweltbelastungen und geben zum Beispiel Auskunft über den allgemeinen Bodenzustand; es handelt sich also um ergänzende Methoden zur Beurteilung der Verschlechterung und/oder Wiederherstellung von Bodeneigenschaften und -funktionen sowie der Risiken, die mit einer Bodenverschmutzung verbunden sind.

## **Frankreichs nationales Programm zur Schaffung einer Bioindikator-Toolbox**

Um den Mangel an biologischen Methoden zur Beschreibung der Bodenqualität zu beheben (sowohl im landwirtschaftlichen Bereich als auch zum Management von belasteten Standorten und Böden), hat die französische Umweltagentur ADEME<sup>2</sup> im Jahr 2004 das nationale Programm «Bioindikatoren» ins Leben gerufen. Seine wichtigsten Ziele sind es, (i) neue Methoden zur Analyse der Diversität und Funktionen der Bodenorganismen zu entwickeln, (ii) die Empfindlichkeit und Komplementarität der Bioindikatoren zur Charakterisierung verschiedener Störungen nachzuweisen, (iii) und Bioindikatoren zu identifizieren, die für die spezifischen Anforderungen bei der Untersuchung von land- und forstwirtschaftlich genutzten sowie belasteten Böden relevant sind. In einer ersten Phase des Programms wurden über 80 biologische Parameter untersucht (Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere von Einzellern bis Lebensgemeinschaften), aus denen eine erste Auswahl getroffen wurde, die anschliessend an gemeinsamen Standorten getestet werden sollte. In der zweiten Phase (2009-2013) wurden die 47 ausgewählten Parameter (Tabelle 1) auf dieselben Teststandorte angewendet (47 unterschiedliche Umfelder, 13 Standorte, 3 Nutzungstypen: Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Brache), um ihre Verwendbarkeit für die jeweilige Problemstellung (Überwachung, Risikoabschätzung) zu beurteilen.

<sup>1</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Outils-de-gestion,19844.html>

<sup>2</sup> Umweltagentur Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr))



Abbildung 1: Menü der Webseite <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/>

1) Mikrobiologische Parameter	2) Tierische Parameter	3) Pflanzliche Parameter
<b>Mengenindikatoren</b> • Allgemein (Biomasse, DNA) • Speziell (Bakterien, Pilze, <i>Pseudomonas</i> )	<b>Allgemeine Indikatoren</b> • Gesamte Makrofauna, IGQS, IBQS	<b>Indikatoren → Zustand des Ökosystems</b> • Dendrochemische Untersuchungen
<b>Aktivitätsindikatoren</b> • Potentielle metabolische Aktivität • Stoffwechselfunktionen (Atmung, Mineralisierung) • Enzymatische Aktivität	<b>Indikatoren → Messungen an Lebensgemeinschaften</b> • Lumbricidae • Collembolen, Milben • Nematoden	<b>Indikatoren → Individuelle Effekte</b> • Blattlipide, Photosynthese • Aminosäuregehalt • Bioakkumulation metallischer Spurenelemente
<b>Indikatoren der genetischen Struktur</b> • PCR TIGE (Bakterien, Pilze) • PCR ARISA Abdruck(Bakterien)	<b>Indikatoren → Messungen am Einzeltier</b> • Molekulare Biomarker • Bioakkumulation metallischer Spurenelemente	

Tabelle 1: Biologische Parameter, die im Programm «Bioindikatoren 2» untersucht wurden

Darüber hinaus sollte nicht nur ihre Relevanz als Funktion ihrer Empfindlichkeit (Indikator des wissenschaftlichen Wertes) beurteilt werden, sondern auch ihre «Übertragbarkeit» auf die Praxis, insbesondere in Hinblick auf wirtschaftlich-technische Kriterien.

Das Programm «Bioindikatoren 2», an dem 22 Forscherteams (70 Partner) über zehn Jahre lang gearbeitet haben, hat nicht nur unser Verständnis vom biologischen Funktionieren der Böden erweitert. Es hat auch ein erstes nationales Referenzsystem geschaffen, um die Reaktionen von Bioindikatoren zu interpretieren, und geeignete Methoden (Indikatorbatterien, aggregierte Indizes) für die verschiedenen umweltspezifischen Problemfelder beschrieben, wie

- i) die Beurteilung der Auswirkungen landwirtschaftlicher Praktiken,
- ii) die Beurteilung der Umweltauswirkungen durch Bodenbelastungen,
- iii) und die biologische Bodenüberwachung an grossflächigen Standorten.

#### Eine informative Webseite für potentielle Anwender

Sämtliche Informationen über dieses Programm und die Methoden zur Umsetzung sind auf unserer Webseite <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/> verfügbar. Die Seite gibt Auskunft über die Geschichte des Programms, enthält eine Beschreibung der untersuchten Standorte, der Probenahmeprotokolle sowie ein Datenblatt zu jedem Bioindikator (Beschreibung der Pro-

tokolle, Beispiele von Ergebnissen). Um auf die Bedürfnisse bestimmter Nutzer (z. B. Gemeinden, Ingenieurbüros) konkret einzugehen, enthält die Webseite einen Abschnitt mit einer vereinfachten Darstellung der Programmergebnisse für jeden einzelnen Bioindikator (Minimal- und Maximalwert, Mittelwert, Standardabweichung). Diese erlaubt es den Anwendern, nach Eingabe verschiedener Kriterien wie Bodennutzung, Belastungsgrad, Bodenbeschaffenheit, pH und organischem Kohlenstoffanteil die erhaltenen «Richtwerte» mit den Daten zu vergleichen, die sie für ihren eigenen Standort ermittelt haben (Abbildung 1, Menü «Les applications»).

In einem weiteren speziellen Abschnitt der Webseite können die Anwender den oder die Bioindikatoren auswählen, die ihrer jeweiligen Problemstellung am besten entsprechen (Überwachung, Charakterisierung des biologischen Zustands, Bewertung der Übertragung von Belastungen). Auf Grundlage einer Umfrage bei potentiellen Anwendern wurden zu diesem Zweck zunächst vier wirtschaftlich-technische Kriterien ausgewählt (Kosten, Standardisierungsgrad des Indikators, Einfachheit der Umsetzung und Interpretation der Ergebnisse). Diese Kriterien wurden anschliessend für jeden Bioindikator ermittelt. In der Praxis muss der Anwender seine Problemstellung und den gewünschten Indikatortyp (Akkumulationsindikator, Auswirkungsindikator ...) auswählen und die vier wirtschaftlichen und technischen Kriterien hierarchisieren, und erhält dann die Liste

der Bioindikatoren, die seinen Bedürfnissen am besten entsprechen. Darüber hinaus bekommt er Zugang zu einer Reihe von detaillierten Informationen über die geeigneten Bioindikatoren (Methodendatenblatt, technisches Datenblatt, Anschrift des Fachlabors).

#### Ausblick auf die Zukunft

Bioindikatoren sind heute zwar voll funktionsfähig, den potentiellen Anwendern aber weitgehend unbekannt. Dies trifft besonders für ihre Anwendung auf Bodenbelastungen zu. Um die Methoden breiter bekannt zu machen und den Erfahrungsaustausch zu fördern, plant die Umweltagentur ADEME, die Methoden an belasteten Standorten anzuwenden, bei denen sie selbst mit Projekten aktiv ist (Beispiele: Standort Saint Laurent le Minier oder auch das Wiesengebiet Saint Martin der Stadt Rennes). Eine Anzahl privater und halbstaatlicher Anbieter ist heute in der Lage, den Zustand und potentiell das biologische Funktionieren eines Bodens zu beurteilen oder den Eintrag von Belastungen in die Nahrungskette zu untersuchen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Methoden in Zukunft stärker genutzt werden, so dass Managementpläne entwickelt werden können, die gleichzeitig ökologische und ökonomische Leistungen berücksichtigen.

Dr. Benjamin Pauget arbeitet als Postdoktorand bei der Staatlichen Stelle für die Entsorgung radioaktiver Abfälle, ANDRA, Université de Franche-Comté.  
Kontakt: [benjamin.pauget@univ-fcomte.fr](mailto:benjamin.pauget@univ-fcomte.fr)



# Die GISFI: ein lothringisches Forschungs- und Innovationssystem zur Umnutzung von geschädigten Standorten und Böden

**Die Wissenschaftliche Interessenvereinigung zur Erforschung von Industriebrachen (Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Friches Industrielles, GISFI) erzeugt Synergien verschiedenen Kompetenzen. Ihr wissenschaftliches und technologisches Ziel ist es, mehr über die nachhaltige Wiederaufwertung von Industriestandorten zu erfahren.**

Noële Raoult

## Industriebrachen als Wirtschaftspotential

Der soziale und wirtschaftliche Wandel hat tiefgreifende Veränderungen bei der Raumnutzung mit sich gebracht, was sich zum Beispiel an der Aufgabe von alten Industriestandorten zeigt. In Regionen wie Lothringen ist diese Entwicklung seit den 1980er Jahren besonders ausgeprägt und hat zur Entstehung von Industriebrachen geführt, die sich aufgrund des Bodendrucks (kein kurz- oder mittelfristiges Bauprojekt) oder aufgrund von Altlasten (Vorliegen von Bodenverunreinigungen) nicht für eine klassische sozioökonomische Umnutzung eignen. Da die landwirtschaftliche Nutzfläche sowie bestimmte energetische und mineralische Ressourcen in der Zukunft zurückgehen werden, stellen diese vernachlässigten Gebiete ein Wirtschaftspotential dar, dessen Wert bisher unterschätzt wurde.

## Geburt einer «*In situ*-Versuchsstation» dank privaten und öffentlichen Trägern

Die «Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Friches Industrielles» (GISFI) ([www.gisfi.fr](http://www.gisfi.fr)) ist eine multidisziplinäre Vereinigung zur Verbesserung des Wissens über Bodenverschmutzung und die Entwicklung von Technologien zur Behandlung geschädigter und belasteter Standorte. Zu ihren Aufgaben zählen die Beschreibung und Modellierung des Flusses von Schadstoffen, das Verständnis von Mechanismen, die ihre Verfügbarkeit steuern sowie die Messung ihrer Auswirkungen auf Ökosysteme und die menschliche Gesundheit. GISFI wurde im Rahmen des Planvertrages Staat/Region Lothringen (CPER 2000–2006) gegründet und beinhaltet die Aktivitäten von etwa zehn Forschungslabors der Universität von Lothringen (UL), des CNRS, des INRA, des BRGM und des INERIS. Diese Forschung mit mehreren Partnern an einem gemeinsamen, übergreifenden Projekt vereint Labors mit Kompetenzen in den Bereichen Bodenkunde, Agronomie, Mikrobiologie, Ökologie, Ökotoxikologie, Physikalische Chemie, Hydrologie und Verfahrenstechnik.

Die Labors arbeiten mit industriellen (Arcelor-Mittal, Valterra, ICF Environnement, Leces) und institutionellen Partnern zusammen

(EPFL - öffentliche Einrichtung für Immobilienerwerb auf lokaler Ebene, DREAL – lothringisches Regionalamt für Umwelt). Diese Zusammenarbeit ermöglichte in Lothringen den Aufbau einer strukturierten Forschungskraft, die dank öffentlicher Fördermittel (Staat, Region Lothringen, Generalrat des Départements Meurthe-et-Moselle und EFRE) mit einer für Europa einmaligen Versuchsstation ausgestattet werden konnte.

Diese Versuchsstation befindet sich in Homécourt (Département Meurthe et Moselle, Frankreich) auf dem Gelände einer ehemaligen Kokerei, das heute vom «Pôle en Génie de l'Environnement» (Zentrum für Umwelttechnik) genutzt wird. In dieser «*In situ*-Versuchsstation» können die im Rahmen des GISFI-Projekts geplanten Massnahmen in realen Feldversuchen getestet werden. Es handelt sich dabei um ein wesentliches betriebliches Ziel für die Koordinierung der Aktionen der verschiedenen Labors und Partner.

## Lysimeter zur Erforschung von Schadstoffumwandlung und -transport

In der experimentellen Freiland-Versuchseinrichtung werden Lysimeterstudien unter realen Klimabedingungen durchgeführt. Die Lysimeter sind parzellenweise oder in Säulen angeordnet (Durchmesser: 1 Meter, Tiefe: 2 Meter) und mit dem zu untersuchendem Erdmaterial oder anderem Material gefüllt. So können die Umwandlung und der Transport von Schadstoffen *in situ* untersucht werden. Lysimetersysteme sind in Deutschland weit verbreitet. Diese Versuchsstation ist jedoch europaweit die einzige, die ausschliesslich Böden von Industriebrachen untersucht. Das zugehörige Gebäude enthält Labors zur Vorbereitung und Analyse von Boden- und Wasserproben sowie von Proben von tierischen und pflanzlichen Organismen. Die Station beschäftigt nicht nur Wissenschaftler der GISFI sondern auch französische und ausländische Forscher im Rahmen von nationalen und internationalen Forschungsprogrammen. Ausserdem ist sie besonders geeignet für die Ausbildung von Ingenieuren und Masterstudenten der Universität Lothringen, für die Sensibilisierung der Bevölkerung für Bodenforschung und für Jugend-Umweltbildungsprogramme, wie zum Beispiel die «Fête



Foto 1: Die GISFI Versuchsstation in Homécourt - Frankreich

de la Science» (Fest der Wissenschaft) und spezifische Beiträge für verschiedene Schulen.

#### Entwicklung von Verfahren zur Bodenbehandlung

Die durch die GISFI erworbenen Kenntnisse tragen zum Verständnis der Mechanismen bei, die die Funktion dieser stark anthropogen beeinflussten und durch die industrielle Vergangenheit belasteten Zonen steuern. Darauf aufbauend können Verfahren zur Bodenbehandlung und Strategien zur Wiederaufwertung erarbeitet werden, die den Erfordernissen der nachhaltigen Entwicklung gerecht werden. In diesem Zusammenhang stellt die Behandlung der Belastungen *in situ* bei gleichzeitiger Wiederherstellung der natürlichen Bodenfunktionen einen interessanten Ansatz zur Rehabilitierung von Industriebrachen dar. Daher sollten solche Standorte als Ressourcen angesehen werden, für deren ökonomische, ökologische und soziale Wertsteigerung die GISFI ökologisch nachhaltige technische Ansätze und Verfahren erarbeitet.

Zwei Projektbeispiele sollen diese Strategie näher verdeutlichen. Das von der AME (Agentur zur wirtschaftlichen Förderung) der Region Lothringen und der EFRE finanzierte Projekt LORVER arbeitet an der Schaffung einer Branche, die pflanzliche Biomasse für industrielle Zwecke auf verlassenen Standorten erzeugt, zum Beispiel auf Industriebrachen mit geringem Siedlungsdruck. Dabei soll die Bodenfunktion mit verschiedenen Materialien und städtischen oder industriellen Abfallprodukten wiederhergestellt werden. Das Ziel dieses Projektes besteht darin, die Kompetenzen und Verfahren so miteinander zu verknüpfen, dass in Lothringen eine funktionsfähige Wertschöpfungskette entsteht, die später auch auf andere Gegenden übertragen werden kann.

Das vom «Programme des Investissements d'Avenir» unterstützte Projekt BIOXYVAL untersucht eine Reihe von Lösungen zur Diagnose und Behandlung von Standorten mit komplexen Umweltbelastungen unter Feldbedingungen. Es wird vom ELFI-Cluster koordiniert und vereint die Aktivitäten von 8 Unternehmen, des BRGM und der GISFI für eine Dauer von fünf Jahren. Das Projekt nutzt eine Brache, die von ArcelorMittal France im Rahmen des SAFIR-

Netzwerks experimenteller Standorte ([safir-network.com](http://safir-network.com)) zur Verfügung gestellt wird.

#### Eine zukünftige Plattform für den Technologietransfer?

Für das Jahr 2016 hat die GISFI die Schaffung eines Zentrums für Technologietransfer geplant. Dieses sogenannte GISFI-TECH wird den Unternehmen zukünftig einen Research&Development-Service anbieten, der sie bei der Erarbeitung ihrer Entwicklungsstrategien unterstützen kann.

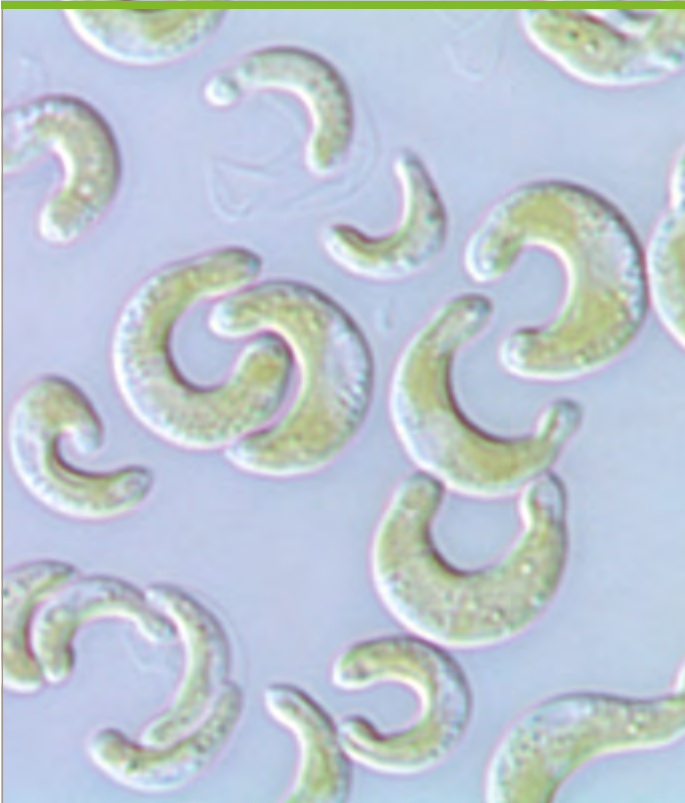
Noële Raoult, Leiterin GISFI.

Kontakt: [noele.raoult@univ-lorraine.fr](mailto:noele.raoult@univ-lorraine.fr)



Foto 2: Das Innenleben einer Gruppe von Lysimetern

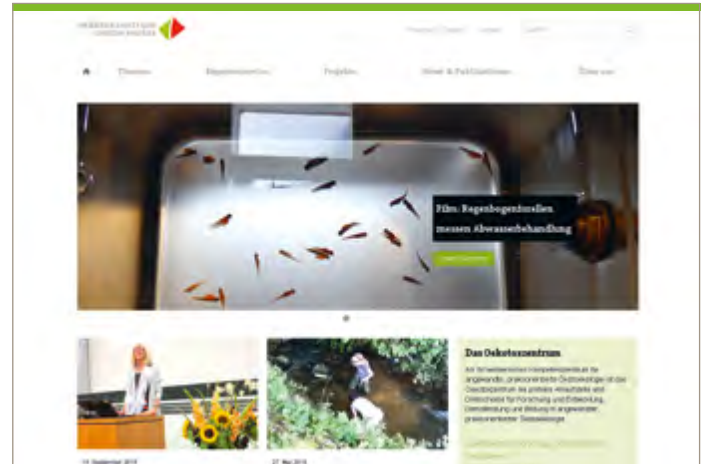
# Kurzmeldungen aus dem Oekotoxzentrum



## Fortschritte bei der Beurteilung von ökotoxikologischen Daten

In der Chemikalienzulassung oder zur Bestimmung von Umweltqualitätskriterien für Chemikalien müssen ökotoxikologische Daten auf ihre Zuverlässigkeit und Relevanz beurteilt werden. Jedoch beeinflusst die Expertenentscheidung, ob bestimmte Toxizitätsdaten die notwendigen Anforderungen erfüllen, die resultierenden Grenzwerte und damit auch die Zulassung und Umweltüberwachung. Das Oekotoxzentrum hat daher zusammen mit internationalen Experten ein System entwickelt, das diese Bewertung sicherer, nachvollziehbarer und weniger subjektiv machen soll. Eine neue Publikation stellt das verbesserte Bewertungssystem mit den verwendeten Kriterien vor und gibt Ratschläge, welche Informationen für ökotoxikologische Studien notwendig sind, um sie regulatorisch nützlich zu machen. Eine weitere Publikation, in der die neue Bewertungsmethode mit der alten Methode in einem Ringtest verglichen wird, wurde gerade eingereicht.

Moerland, C.T.A., Kase, R., Korkaric, M., Ågerstrand, M. (2015) CRED: Criteria for Reporting and Evaluating ecotoxicity Data. *Environmental Toxicology and Chemistry* DOI: 10.1002/etc.3259



## Neuer Webauftritt für das Oekotoxzentrum

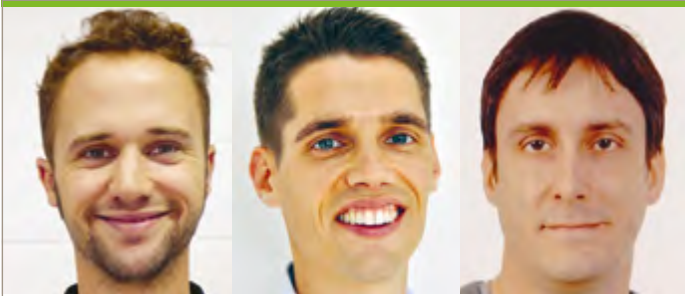
Am 21. Oktober ist die neue Webseite des Oekotoxzentrums online gegangen. Neben einem neuen Design hat die Seite ein neues Navigationssystem erhalten, das die Inhalte noch leichter erreichbar machen soll. Dank Responsive Design wird die Webseite auch auf mobilen Endgeräten optimal dargestellt. Schauen Sie doch mal rein!

[www.oekotoxzentrum.ch](http://www.oekotoxzentrum.ch)

## Infoblatt zu Mikroplastik in Gewässern

Die Verschmutzung der Weltmeere, Seen und Flüsse mit Mikroplastik nimmt immer grössere Ausmasse an, da dieses nur sehr langsam zersetzt wird und der Plastikverbrauch stetig ansteigt. Auch wenn am meisten über das Vorkommen der kleinen Partikel mit einer Grösse < 5 mm im Meer bekannt ist, hat eine Bestandsaufnahme der grösseren Schweizer Seen gezeigt, dass die kleinen Plastikteilchen auch hier omnipräsent sind. Wasserorganismen nehmen die Partikel auf, aber über ihre ökotoxikologische Wirkung ist noch zu wenig bekannt. Laboruntersuchungen haben aber gezeigt, dass die Aufnahme die Nahrungsaufnahme von Muscheln und Zooplankton herabsetzt und die Fortpflanzung von Ruderfusskrebse vermindert. Das neue Infoblatt «Mikroplastik in der Umwelt» fasst das momentane Wissen zusammen. Es gibt Auskunft, wie Mikroplastik entsteht, auf welchen Wegen es in Gewässer gelangt, wie man es sammelt und nachweist und wie es auf Wasserlebewesen wirkt.

[www.oekotoxzentrum.ch/news-publikationen/infoblaetter](http://www.oekotoxzentrum.ch/news-publikationen/infoblaetter)



### Neue Mitarbeitende am Oekotoxzentrum

Wir begrüßen drei neue Mitarbeiter, nämlich Michel Wildi, Thomas Bucher und Régis Vivien. Herzlich willkommen am Oekotoxzentrum!

**Michel Wildi** arbeitet seit September 2015 als wissenschaftlicher Assistent am Oekotoxzentrum im Lausanne und unterstützt Carmen Casado-Martinez bei der Entwicklung eines neuen Sedimentmoduls im Rahmen des Modulstufenkonzepts. «Ich finde dieses Projekt sehr spannend, da es sich mit einer komplexen Problematik mit vielen Aspekten zwischen Wissenschaft, Politik und Wirtschaft beschäftigt», sagt er. «Wenn man die Wasserqualität in der Schweiz umfassend bewerten will, braucht es einen Modul für Sedimente». Michel Wildi hat einen Bachelorabschluss in Biochemie und einen Masterabschluss in Umweltwissenschaften. In seiner Masterarbeit am Institut FA Forel (Universität Genf) hat er die Zusammensetzung des Periphytons an verschiedenen belasteten Standorten und ihre Empfindlichkeit gegenüber Metallstress untersucht. Während eines Praktikums beim Bund hat er anschliessend das Kapitel «Gewässerschutz» für das Informationssystem für Gefahrenstoffe entwickelt.

**Thomas Bucher** hat im Oktober 2015 als Biologielaborant im Bereich aquatische Ökotoxikologie begonnen. Er hat einen Masterabschluss der Fachhochschule Nordwestschweiz in Umwelttechnik und -management und hat sich in seiner Masterarbeit mit der Wasserbehandlung mit UV-Systemen auseinandergesetzt. Nach einer Lehre als Biologielaborant hat Thomas Bucher zunächst an der Forschungsanstalt Wädenswil im Bereich Weinforschung gearbeitet. Bei anschliessenden Anstellungen an der ETH Zürich, dem Zoologischen Museum der Universität Zürich und dem Kantonalen Labor Zürich hat er unter anderem an der biologischen Schädlingsbekämpfung mit insektenpathogenen Pilzen gearbeitet, genetische Studien an Wildtieren durchgeführt und Lebensmittel mit molekularbiologischen Methoden auf problematische Inhaltsstoffe analysiert. Thomas Bucher ist ausgebildeter Lebensmittelkontrolleur und Ausbilder für Biologielaboranten.

**Régis Vivien** arbeitet seit Oktober 2015 im Bereich Sediment-Ökotoxikologie des Oekotoxzentrums. Nach einem Masterabschluss in Umweltwissenschaften arbeitete er einige Jahre im Bereich Systematik und Ökologie von aquatischen Oligochaeten. Auch am Oekotoxzentrum untersucht Régis Vivien Oligochaetengemeinschaften. So prüft er die Anwendung und Validierung von Oligochaetenindizes in Flüssen und Seen und entwickelt einen Index auf der Grundlage der Bestimmung von Oligochaeten mit Hilfe von genetischen Barcodes. Ausserdem führt er Arbeiten zur Systematik und Ökologie von Nematoden durch und beteiligt sich an Projekten zur Entwicklung und Validierung von ökotoxikologischen Tests *in situ* und im Labor.



### Weiterbildungskurse 2016

Das Oekotoxzentrum wird sich im Februar 2016 wiederum am **Modul Ökotoxikologie des MAS in Toxikologie** beteiligen, den die Schule für Pharmazie Genf/Lausanne zusammen mit der Universität Genf und dem Angewandten Zentrum für Humantoxikologie SCAHT anbietet. Der berufsbegleitende Kurs richtet sich an Fachleute aus Industrie, Behörden und Wissenschaft und kann für die professionelle Registrierung als Toxikologe/Toxikologin benützt werden.

Am 8. und 9. Juni 2016 führt das Oekotoxzentrum wieder eine **Einführung in die Ökotoxikologie** durch. Darin wird auf den Einfluss von Schadstoffen auf aquatische und terrestrische Ökosysteme eingegangen und es werden Testsysteme vorgestellt, um diese Wirkung zu messen. Ausserdem stehen das Verhalten von Schadstoffen in der Umwelt, die Risikoabschätzung von Umweltchemikalien und die dazugehörige Gesetzgebung auf dem Programm. In einem praktischen Teil gewinnen die Teilnehmenden einen Einblick in ein aquatisches ökotoxikologisches Labor mit ausgewählten Tests und Testorganismen.

Am 25. und 26. Oktober 2016 bietet das Oekotoxzentrum einen Kurs zum Thema **Mischungstoxizität: Praxisorientierte Konzepte zur Beurteilung von Mischungen in der Umwelt** an, der sich mit der ökotoxikologischen Beurteilung von Mischungen in der regulatorischen Praxis auseinandersetzt. Es werden Konzepte und Methoden aus der Zulassung von Pestiziden und Industriechemikalien vorgestellt. Ausserdem wird auf die Beurteilung der Gewässerqualität mit chemischen und biologischen Analysemethoden eingegangen. Mit Biotests für bestimmte Wirkmechanismen lässt sich die Gesamtwirkung von Substanzmischungen ermitteln, ohne deren exakte Zusammensetzung zu kennen. Mit Hilfe von chemischen Monitoringdaten und der bekannten Wirkung der gefundenen Substanzen können weiterhin die am stärksten gefährdeten Organismengruppen identifiziert werden.

Wir würden uns freuen, Sie an einem der Kurse begrüßen zu dürfen!

[www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/weiterbildungsangebot](http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/weiterbildungsangebot)

[www.unige.ch/formcont/toxico](http://www.unige.ch/formcont/toxico)



### **Neue Daten zur ökotoxikologischen Beurteilung von Bromat**

Zahlreiche Abwasserreinigungsanlagen sollen in den nächsten Jahren mit einer Ozonung aufgerüstet werden, um die Entfernung von Mikroverunreinigungen zu verbessern. Die Ozonung entfernt sehr viele Stoffe mit negativen Wirkungen aus dem Abwasser, erzeugt je nach Abwasserzusammensetzung aber unerwünschte Nebenprodukte. So kann Bromid in Bromat umgewandelt werden, einen Stoff, der in höheren Konzentrationen für den Menschen krebserregend sein kann und für den deshalb für Trinkwasserversorgungen ein Toleranzwert festgesetzt wurde. Bis jetzt gab es allerdings nicht genügend Untersuchungen, um die Wirkung von Bromat auf Gewässerorganismen zu beurteilen. Daher hat das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) das Oekotoxzentrum beauftragt, mögliche Risiken für Organismen zu beurteilen. Zunächst wurde in Zusammenarbeit mit dem ökotoxikologischen Labor Soluval Santiago die Toxizität von Bromat für Wasserflöhe, Algen, Rädertierchen und Wasserlinsen untersucht. Auf Grundlage der erweiterten Daten erarbeitete das Oekotoxzentrum einen Vorschlag für Umweltqualitätskriterien für Bromat, also Konzentrationen, oberhalb derer mit einer Beeinträchtigung der Lebewesen gerechnet werden muss. Die Einhaltung dieser Kriterien soll aquatischen Lebewesen einen besseren Schutz vor kurzfristigen und längerfristigen schädlichen Auswirkungen von Bromat ermöglichen.

Die Werte sowie weitere Unterlagen finden Sie demnächst unter [www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien](http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien)  
Kontakt: Robert Kase [robert.kase@oekotoxzentrum.ch](mailto:robert.kase@oekotoxzentrum.ch)



### **Perspektiven zur Passiven Probenahme**

Passivsammler, die Stoffe aus der Wasserphase sorbieren, liefern aussagekräftige Wasserproben für verschiedene Fragestellungen, werden aber noch wenig regelmässig eingesetzt. In einer neuen Publikation, zu der auch das Oekotoxzentrum beitrug, präsentieren Experten einen Strategieplan, um die Anwendung von Passivsammlern für die Risikobewertung und das Routine-Monitoring in Gewässern zu fördern. Der Plan fokussiert auf die Identifizierung von robusten Methoden, auf neue Technologien, und auf die Beziehung zwischen der Stoffkonzentration in Passivsammlern und in Organismen beziehungsweise der freien Schadstoffkonzentration. Es wird ein gestufter Ansatz vorgeschlagen, um Regionen mit einer potentiellen Überschreitung der Umweltqualitätskriterien zu identifizieren. Ausserdem empfehlen die Experten verschiedene Aktionen wie zum Beispiel Ringtests, um die Akzeptanz der passiven Probenahme durch Entscheidungsträger zu verbessern.

Miège, C., Mazzella, N., Allan, I., Dulio, V., Smede, F., Tixier, C., Vermeirssen, E., Branti, J., O'Toole, S., Budzinski, H., Ghestem, J.-P., Stau, P.-F., Lardy-Fontan, S., Gonzalez, J.L., Coquery, M., Vrana, B. (2015) Position paper on passive sampling techniques for the monitoring of contaminants in the aquatic environment – Achievements to date and perspectives. *Trends in Environmental Analytical Chemistry* 8, 20–26



### **Gast aus Vietnam**

Im September 2016 verbrachte ein Gastwissenschaftler aus Vietnam einen Monat am Oekotoxzentrum, um sowohl ökotoxikologische Tests zur Bestimmung der Sedimentqualität kennenlernen, als auch Ansätze zur Probenahme und zur Probenvorbereitung von Sedimentproben. Ein People Exchange Grant der EPFL ermöglichte Bui Le Thanh Khiet vom Institute for Environment and Resources der Vietnam National University-Hochiminh City den Besuch in Lausanne. «Unser ökotoxikologisches Labor hatte schon verschiedene Tests zur Bestimmung der Wasserqualität etabliert, doch es fehlten uns Tests zur Sedimentbewertung», so Khiet. Dem Besuch wird ein Gegenbesuch von Carmen Casado-Martinez an der Vietnam National University-Hochiminh City folgen, um bei der Einführung der neuen Techniken beratend zur Seite zu stehen und eine Zusammenarbeit zwischen den beiden Laboren zu initiieren.

# Ökotoxikologie anderswo

In dieser Rubrik informiert das Oekotoxzentrum über interessante internationale Neuigkeiten aus der Ökotoxikologie in den Bereichen Forschung und Regulatorik. Die Auswahl von Beiträgen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Inhalte in den einzelnen Beiträgen spiegeln nicht in jedem Fall die Standpunkte des Oekotoxzentrums wider.

## Landnutzung in Europa beeinflusst Biodiversität und Bodenfunktionen

Bodendaten von 76 Standorten aus 11 Ländern in Europa zeigen, dass die Intensität der Landnutzung die Biodiversität und die Bodenfunktionen systematisch beeinflussen. In den Bodenproben aller Standorte wurden insgesamt 14 verschiedene biologische Parameter bestimmt wie zum Beispiel die Anzahl und Artenzusammensetzung verschiedener Organismengruppen, die bakterielle Biomasse und die Nitrifikation. Eine Netzwerkanalyse zeigte, dass die Organismen in Ackerland weniger vernetzt waren als in Gras- oder Waldsystemen. Dies ist die erste Studie, die so viele biologische Bodenparameter an Standorten in ganz Europa erhoben hat.

Cremer, R.E. et al. (2015) Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe. *Applied Soil Ecology* doi:10.1016/j.apsoil.2015.08.006

## Blattabbau funktioniert auch in Metall-belastetem Boden

Eine Bodenbelastung mit Metallen muss das Funktionieren des Bodens nicht systematisch beeinträchtigen, wie eine neue Studie zeigt. Französische Wissenschaftler konnten zeigen, dass Blattmaterial an einem ehemaligen Industriestandort, der stark mit Cadmium, Zink und Blei belastet war, schneller abgebaut wurde als an den unbelasteten Kontrollstandorten. Obwohl sich die Zusammensetzung der detritivoren Organismen an den Standorten unterschied, war ihre Effizienz beim Blattabbau vergleichbar. Am belasteten Standort war die Dichte an Organismen entgegen den Erwartungen deutlich höher als an den Kontrollstandorten. Die Wissenschaftler führen die höhere Rate beim Blattabbau auf indirekte Effekte durch den niedrigeren Ligningehalt und den höheren pH Wert am belasteten Standort zurück.

Lucisine, P. et al. (2015) Litter chemistry prevails over litter consumers in mediating effects of past steel industry activities on leaf litter composition. *Science of the Total Environment*, 537, 213–224

## Genetische Barcodes für das Biomonitoring von Oligochaeten

Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften von aquatischen Oligochaeten ist ein guter Indikator für die Sediment- und Wasserqualität. Die Tiere sind allerdings nur schwierig durch ihre Morphologie zu bestimmen, was ihren regelmässigen Einsatz als Bioindikatoren einschränkt. Eine neue Studie zeigt, dass die Organismen mit Hilfe ihrer genetischen Barcodes leichter bestimmt werden können. Die einfache Vervielfältigung der ausgewählten DNA-Sequenzen und

ihre gute Artenauflösung machen damit aquatische Oligochaeten zur ersten Wahl für eine neue Generation von Biomonitoringsystemen für Gewässer auf der Basis von DNA.

Vivien, R., Wyler, S., Lafont, M., Pawlowski, J. (2015) Molecular barcoding of aquatic oligochaetes: implications for biomonitoring. *PLoS ONE* 10:e0125485

## Bienen bevorzugen Nektar mit Neonikotinoiden

Die Beweislast gegen Neonikonoide, die wegen ihrer schädlichen Wirkung auf Bienen in Verruf geraten sind, nimmt weiter zu. So zeigt eine neue Studie, dass Honigbienen und Hummeln aktiv Nektar bevorzugen, der die Neonikotinoide Imidacloprid oder Thiamethoxam enthält. Der Mechanismus dieser Präferenz ist noch unklar, da neurologische Untersuchungen gezeigt haben, dass die Bienen die Pestizide nicht schmecken können. In einer anderen Studie entdeckten Forschende aus Schweden, dass die Wildbienen in Rapsfeldern, deren Samen mit dem Neonikotinoid Clothanidin behandelt worden waren, nur halb so gross war wie in unbehandelten Feldern.

Kessler, S.C. et al. (2015) Bees prefer food containing neonicotinoid pesticides. *Nature* 521, 74–76

Rundlöf, M. et al. (2015) Seed coating with neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature* 521, 77–80

## Sind auch Fungizide ein Problem für Bienen?

Zwei neue Studien wecken Bedenken, ob nicht auch Fungizide das Wohlergehen von Bienen beeinträchtigen können. Wissenschaftler auf Wisconsin fanden heraus, dass Hummeln, die Nektar von Fungizid-behandelten Blüten sammelten, geschädigt wurden. Die Kolonien solcher Hummeln waren weniger gross, ihre Arbeiterinnen kleiner und ihre Königinnen kränklicher als diejenigen der Kontrollgruppe. Eine andere Studie zeigt, dass die Wildbienen in Feldern, die mit verschiedenen Pestiziden behandelt wurden, wesentlich niedriger waren als in unbehandelten Kontrollfeldern. Die Anwendung von Fungiziden trug entscheidend zum beobachteten Effekt bei.

Bernauer, O.M., Gaines-Day, H.R., Steffan, S.A. (2015) Colonies of Bumble Bees (*Bombus impatiens*) Produce Fewer Workers, Less Bee Biomass, and Have Smaller Mother Queens Following Fungicide Exposure. *Insects* 2015, 478–488

Park, M.G., Blitzer, E.J., Gibbs, J., Losey, J.E., Danforth, B.N. (2015) Negative effects of pesticides on wild bee communities can be buffered by landscape context, *Proceedings of the Royal Society B*, 282: 20150299

### Impressum

**Herausgeber:** Oekotoxzentrum

Eawag/EPFL

Überlandstrasse 133

8600 Dübendorf

Schweiz

Tel. +41 58 765 5562

Fax +41 58 765 5863

www.oekotoxzentrum.ch

EPFL-ENAC-IIE-GE

Station 2

1015 Lausanne

Schweiz

Tel. +41 21 693 6258

Fax +41 21 693 8035

www.centrecotox.ch

**Redaktion und nicht gezeichnete Texte:** Anke Schäfer

**Übersetzungen:** Laurence Frauenlob-Puech (f), Valérie Cardona (d)

**Copyright:** Nachdruck möglich nach Absprache mit der Redaktion

**Copyright der Fotos:** Oekotoxzentrum, Gabriela Brändle und Urs Zihlmann (Agroscope) und Andreas Chervet (LANAT) (Titelbild), Eva Kohlschmid (S. 4) Jörg Römbke (S. 7) Benjamin Pauget (S. 9, 10), Noëlle Raoult (S. 11,12)

**Erscheinungsweise:** zweimal jährlich

**Gestaltungskonzept, Satz und Layout:** visu'1 AG, Zürich

**Druck:** Mattenbach AG, Winterthur

**Gedruckt:** auf Recyclingpapier

**Abonnement und Adressänderung:** Neuabonnentinnen und Neuabonnenten willkommen, info@oekotoxzentrum.ch