

oekotoxzentrum news

24. Ausgabe Mai 2022

Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie



Schadstoffmonitoring
von Schweizer Sedimenten S. 3

Empfindlichere Biotests
auf Dünnschichtplatten S. 6

Neues Grossprojekt
zur Risikobewertung
von Chemikalien S. 8



Dr. Benoît Ferrari,
Leiter des Oekotoxenzentrums

Kennen Sie das Konzept der neun planetaren Grenzen? Dieses Konzept ist nicht nur interessant, sondern auch wissenschaftlich nützlich, um sich einen Überblick über die ökologische Belastung unseres Planeten und deren Entwicklung zu verschaffen. Im Jahr 2009 hat ein internationales Forschungsteam neun planetare Grenzen definiert, die nicht überschritten werden dürfen, wenn die Erde in einem stabilen Zustand bleiben soll. Diese Grenzen legen seit fast 10 000 Jahren den sicheren Handlungsspielraum für die Menschheit fest. Sie umfassen den Klimawandel, den Zustand der Biosphäre, Veränderungen in der Landnutzung, den Süßwasserverbrauch, biogeochemische Stoffkreisläufe (Stickstoff und Phosphor), die Versauerung der Meere, die Luftverschmutzung durch Aerosole, den Abbau des stratosphärischen Ozons und der Eintrag neuartiger Substanzen in die Umwelt. Unter diese neuartigen Substanzen fallen synthetische Chemikalien und andere künstliche Materialien wie Kunststoffe oder gentechnisch veränderte Organismen sowie natürlich vorkommende Elemente (z. B. Metalle), die durch menschliche Aktivitäten mobilisiert werden.

Die jüngsten Schätzungen der Forschungswelt für das Jahr 2022 ergeben ein trauriges Bild: Nämlich dass die menschlichen Aktivitäten inzwischen mindestens fünf der neun

planetaren Grenzen überschritten haben, darunter auch die Grenze für den Eintrag neuartiger Substanzen. Zur Verdeutlichung der Situation hier einige Zahlen: Die Produktion von Chemikalien hat sich seit 1950 um das Fünzigfache erhöht. Prognosen zufolge wird sie sich bis 2050 im Vergleich zu 2010 noch einmal verdreifachen. Allein die Produktion von Kunststoffen ist zwischen 2000 und 2015 um 79 % gestiegen. Weltweit sind 350 000 synthetische Chemikalien (oder Stoffgemische) auf dem Markt, von denen nur ein winziger Teil auf seine Toxizität hin bewertet wird. Es gibt nur wenige Daten über die kumulativen Effekte dieser Stoffe oder darüber, wie sie sich in einem Gemisch verhalten. Für die Belastung mit synthetischen Chemikalien ist dies sehr wichtig, da alle Organismen im Lauf ihres Lebens geringen Konzentrationen von Tausenden von Stoffen ausgesetzt sind. Die Forschenden kamen zum Schluss, dass die stetige Zunahme bei der Vielfalt, der Produktionsmenge und der Freisetzung der Stoffe grösser ist als die Fähigkeit von Forschungseinrichtungen und Regulierungsbehörden, diese neuartigen Substanzen zu bewerten und zu überwachen, geschweige denn zu managen.

Wenn wir anhaltende und kumulative Auswirkungen auf die Biodiversität, die Ökosystemleistungen und die menschliche Gesundheit vermeiden wollen, sind also sofort Massnahmen notwendig, um uns wieder unter die planetare Grenze zu bringen. Dafür müssen wir einen präventiven und vorsorglichen Ansatz verfolgen, der auf der Bewertung der

Gefahren und Risiken von Chemikalien und Abfällen beruht. Nur so können wir die bestehenden Schäden mildern und zukünftige Überraschungen vermeiden. Damit dies funktioniert, müssen solche Massnahmen auf globaler Ebene organisiert werden. Vor einiger Zeit forderten fast 2100 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sowie Fachleute aus 90 Ländern die Einrichtung eines unabhängigen zwischenstaatlichen wissenschaftlichen und politischen Expertengremiums für Chemikalien, Abfälle und Umweltverschmutzung, ähnlich wie der IPCC für das Klima oder die IPBES für die Biodiversität. Die Umweltversammlung der Vereinten Nationen (UNEA 5.2) hat sich im März dieses Jahres ebenfalls für ein solches Gremium ausgesprochen. Wir begrüßen dies, auch wenn es nur ein erster Schritt ist, um die globale Bedrohung durch chemische Belastungen zu bewältigen.

Diese Ausgabe widmet sich verschiedenen Aspekten aus diesem Editorial, insbesondere den Methoden zur Gefahren- und Risikobewertung. Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre!

Titelbild: Das Oekotoxzentrum hat die Sedimentqualität in zahlreichen Schweizer Gewässern – im Bild der Küntenerbach im Kanton Aargau – zum ersten Mal umfassend untersucht (mehr ab S. 3).

Schadstoffmonitoring von Schweizer Sedimenten

Das Oekotoxzentrum hat eine Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität entwickelt. Darin werden die gemessenen Konzentrationen von bedenklichen Einzelstoffen mit neu erarbeiteten Sediment-Qualitätskriterien verglichen. Ein Einsatz der Methode in Schweizer Sedimenten gibt eine erste Idee über den aktuellen Zustand.

In den letzten Jahren hat das Oekotoxzentrum eine Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz etabliert. Denn obwohl der Gewässerboden der bevorzugte Lebensraum von Wasserorganismen ist und sich dort viele Schadstoffe anreichern, werden Sedimente im Gewässermonitoring nicht ausreichend berücksichtigt. Für das Sediment-Monitoring empfiehlt das Oekotoxzentrum insgesamt 20 Substanzen oder Substanzklassen. Darunter sind einige klassische Sedimentschadstoffe wie Metalle, polychlorierte Biphenyle (PCB) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) aber auch neue Substanzen wie Pestizide, Arzneimittel und Inhaltsstoffe von Körperpflegeprodukten (siehe Tabelle). Die Stoffliste kann je nach Art des Gewässers, den vorhandenen Schadstoffquellen und den Zielen der Studie angepasst werden.

Zu wenig Daten zur Sediment-Toxizität

Für diese ausgewählten Stoffe hat das Oekotoxzentrum Sediment-Qualitätskriterien (SQK) erarbeitet: Diese Werte geben an, ab

welcher Konzentration schädliche Effekte auf Sedimentorganismen nicht ausgeschlossen werden können. Die SQK stehen neu auch auf der Webseite des Oekotoxentrums zur Verfügung (www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/sediment-qualitaetskriterien). Als «Kochbuch» für die SQK diente den beteiligten Wissenschaftlerinnen dabei der technische Leitfaden der EU für die Ableitung von Wasser-Qualitätskriterien, der auch eine Anleitung für Sedimente enthält. Die Genauigkeit der Methode hängt jedoch von der Anzahl der verfügbaren Toxizitätsdaten ab. «Für fast die Hälfte der Substanzen gibt es nicht genügend Toxizitätsdaten für Sedimentorganismen, die für die Ableitung verwendet werden können», betont Projektleiterin Carmen Casado-Martinez. Zum einen fehlen Daten aus Versuchen mit Sedimenten, die mit einer bekannten Schadstoffmenge versetzt wurden. Zum anderen können die existierenden Studien oft nicht verwendet werden, da sie die notwendigen Kriterien nicht erfüllen oder wichtige Informationen fehlen.

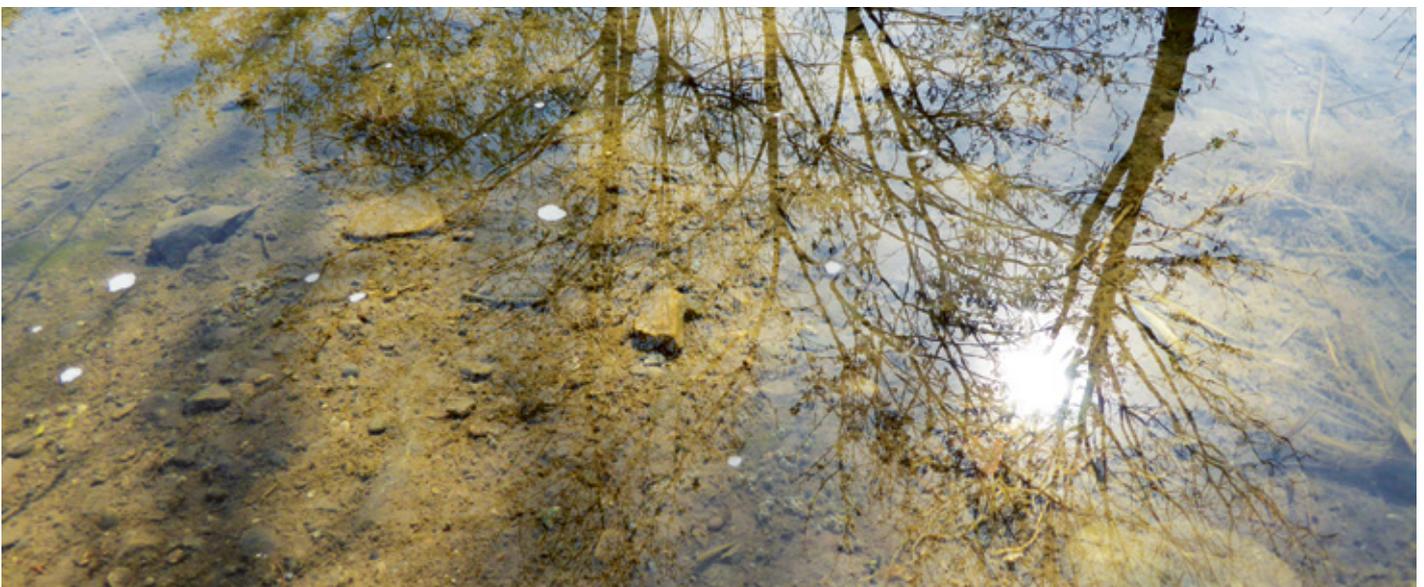
In diesen Fällen wurden die SQK aus den chronischen Qualitätskriterien der Substanzen für Oberflächengewässer und ihrem Verteilungskoeffizienten zwischen Sediment und Wasser berechnet oder erhielten wegen der schlechten Datenlage grosse Sicherheitsfaktoren. Wegen der höheren Unsicherheit werden solche SQK als vorläufig betrachtet. Für die Sedimentbewertung wird die Konzentration der Schadstoffe im Sediment chemisch bestimmt und mit den SQK

verglichen. Je nach Grad der Überschreitung der SQK wird das Sediment anschliessend einer von 5 Qualitätsklassen zugeordnet. Vorläufige SQK können nicht zur Einteilung in Qualitätsklassen verwendet werden. Um die Methode zu validieren, wurde sie 2018 auf 18 kleine Schweizer Bäche mit unterschiedlichen Schadstoffquellen angewendet. Die Ergebnisse zeigen ein differenziertes Bild (siehe Tabelle).

PCB und PAK in kleinen Bächen

PAK und PCB wurden in den Sedimenten regelmässig nachgewiesen und überschritten ihre SQK am häufigsten. Da alle **PAK** einen ähnlichen Wirkmechanismus haben, können die toxischen Risiken für die Einzelstoffe addiert werden, um das Risiko der Mischung zu bewerten. Aufgrund dieses Mischungsrisikos wurde die Sedimentqualität an mehreren Standorten als unbefriedigend oder schlecht eingestuft. **PCB** sind besonders bedenklich, da sie sich in Organismen und der Nahrungskette anreichern können. «Die SQK für PCB sind vorläufig, können aber verwendet werden, um besonders belastete Standorte zu priorisieren», sagt Carmen Casado-Martinez.

Insgesamt wurden in der Studie 4 **Metalle** erfasst, die ebenfalls zu den klassischen Sediment-Schadstoffen gehören, nämlich Kupfer, Blei, Quecksilber und Zink. Die Blei- und Quecksilberkonzentrationen erreichten nie die SQK. Die Zink- und Kupferkonzentrationen dagegen lagen jeweils an mehreren



Die Sedimentbelastung spielt eine entscheidende Rolle für die Gewässerqualität

Standorten über den SQK, was dort zu einer mässigen oder schlechten Sedimentqualität führte. «Dies liegt daran, dass der Einsatz von Blei und Quecksilber in den letzten Jahrzehnten eingeschränkt wurde», erklärt Carmen Casado-Martinez. «Kupfer und Zink hingegen gelangen immer noch über viele verschiedene Quellen in die Gewässer».

Perfluorierte Stoffe, Antibiotika und Östrogene in Sedimenten

Die Studie berücksichtigte auch Stoffe, die in der Schweiz noch nicht regelmässig in Sedimenten überwacht werden. Ein Beispiel sind die perfluorierten Verbindungen, die etwa in Löserschäumen und Beschichtungen eingesetzt werden. So wurde **PFOS** (Perfluoroc-tansulfonsäure), das als Indikator für eine Belastung mit perfluorierten Stoffen vorgeschlagen wird, an den Messstellen regelmässig nachgewiesen, ebenso 12 andere perfluorierte Verbindungen. Die PFOS-Konzentration überschritt jedoch an keinem der Standorte das SQK für eine direkte Toxizität.

Die Studie liefert ausserdem Hinweise darauf, dass sich Antibiotika und östrogene Hormone in Sedimenten anreichern. Für das Antibiotikum **Ciprofloxacin** wurde das (vorläufige) SQK nie überschritten. Das synthetische Hormon **Ethinylestradiol** wurde nie nachgewiesen, das natürliche Hormon **17 β -Estradiol** jedoch an 8 Standorten und das natürliche Hormon **Estron** an allen ausser einem. Die SQK für die drei Hormone, die auf der Grundlage von Wasserqualitätskriterien berechnet wurden, liegen unterhalb der analytischen Nachweisgrenzen – daher wurden sie an allen Standorten überschritten, an denen die Stoffe nachgewiesen wurden.

Phthalate, PBDE und andere

Ausserdem war die Konzentration von **Phthalaten** an zahlreichen Standorten erhöht, einer Stoffklasse, die hauptsächlich in Kunststoffen eingesetzt wird. Obwohl das Indikator-Phthalat **DEHP** (Diethylhexylphthalat) das SQK nie überschritt, sollten Phthalate wegen einer möglichen Summentoxizität dennoch überwacht werden.

Polybromierte Diphenylether (**PBDE**), die als Flammenschutzmittel eingesetzt werden, wurden häufig nachgewiesen, überschritten aber an keinem der Standorte die SQK für eine chronische Toxizität. **Tonalid**, **Octylphenole** und **Nonylphenole** wurden

ebenfalls mehrfach unterhalb ihres SQK nachgewiesen. Auch das Lösungsmittel Hexachlorbutadien **HCBD** (ein halogener Schadstoff aus der EU-Liste der prioritären Substanzen) lag in Konzentrationen weit unterhalb des SQK vor.

SQK für Pestizide unterhalb der Nachweisgrenze

Es wurde auch vier Pflanzenschutzmittel quantifiziert: nämlich das Herbizid **Diuron**, die Insektizide **Chlorpyrifos** und **Cypermethrin** und das Fungizid **Tebuconazol**. Die Bewertung dieser Substanzen war an vielen Standorten nicht möglich, da die analytischen Bestimmungsgrenzen oberhalb der SQK liegen. Chlorpyrifos überschritt an mehreren Standorten das (vorläufige) SQK und wurde in einigen Fällen sogar in Konzentrationen gemessen, die in Labortests toxisch für Sedimenttiere sind. Die Verwendung von Chlorpyrifos ist seit 2019 weitgehend verboten. Für Diuron und Tebuconazol gab es nur einen Standort, an dem das SQK überschritten wurde. Cypermethrin konnte nie bewertet werden, da die Konzentrationen stets unter der Nachweisgrenze lagen.

Die Ergebnisse geben einen ersten Überblick über den Zustand der Schweizer Sedimente

und über die Stoffe, die im Rahmen von Sedimentmonitoringkampagnen überwacht werden sollten. Für einige Stoffe konnten nur vorläufige SQK bestimmt werden, so dass diese Werte mit Vorsicht betrachtet werden müssen. Ausserdem bedeutet die Überschreitung der SQK nicht unbedingt, dass sich die Organismengemeinschaft verändert oder die Stoffe direkt toxisch wirken. «Die Bioverfügbarkeit der Schadstoffe kann in ähnlich belasteten Sedimenten je nach den Umweltbedingungen sehr unterschiedlich sein. Aus diesem Grund sollten SQK nur als Screening-Methode verwendet und immer mit zusätzlichen Informationen ergänzt werden», sagt Carmen Casado-Martinez. «Am Oekotoxzentrum prüfen wir bereits verschiedene ergänzende Methoden wie Biotests oder die Analyse von Lebensgemeinschaftsanalysen, um auch hier Empfehlungen zu geben.»

Weitere Informationen: Casado, C., Wildi, M., Ferrari, Benoit J.D., Werner, I. 2021. Strategie zur Beurteilung der Sedimentqualität in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. www.oekotoxzentrum.ch/news-publikationen/berichte/

Kontakt. Carmen Casado-Martinez, carmen.casado@centreecotox.ch



Sedimentproben werden auf ihre Belastung mit Schadstoffen untersucht und die erhaltenen Konzentrationen mit Sediment-Qualitätskriterien verglichen

Diese Substanzen werden für das Sediment-Monitoring vorgeschlagen

Substanz	Kategorie/Verwendung	Sedimentqualität der geprüften Standorte*
Kupfer	Metall	
Zink	Metall	
Quecksilber	Metall, Verwendung eingeschränkt	
Blei	Metall	
PAK (16 Indikatoren)	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	a
PCB (7 Indikatoren)	Polychlorierte Biphenyle	**b
PBDE (8 Indikatoren)	Flammschutzmittel	
DEHP	Phthalat, Weichmacher	
Nonylphenole	Nichtionische Tenside, in zahlreichen Produkten	
Octylphenole	Zwischenprodukte	
Tonalid	Duftstoff	
HCBD	Lösungsmittel	**
PFOS	Zahlreiche Produkte, z.B. in Beschichtungen und Löschsäumen	**
Diuron	Herbizid	**
Chlorpyrifos	Insektizid, Verwendung seit 2019 eingeschränkt	**
Cypermethrin	Insektizid	**
Tebuconazol	Fungizid	
Ciprofloxacin	Antibiotikum	**
Ethinylestradiol, 17β-Estradiol, Estron	Hormone	**
Triclosan	Bakterizid, Desinfektionsmittel	keine Daten verfügbar**

* Anteil der Standorte mit der folgenden Sedimentqualität: Blau: sehr gut, grün: gut, gelb: mässig, orange: unbefriedigend, rot: schlecht, grau: nicht bewertbar, da die Nachweisgrenze oberhalb des SQK liegt

** Bewertung ist vorläufig, da das SQK wegen Datenmangel vorläufig ist

a Nur die Indikatorstoffe mit endgültigem SQK wurden für die Bewertung verwendet,

b Rot: Anteil der Standorte, an denen mindestens zwei PCB ihre SQK überschritten

Empfindlichere Biotests auf Dünnschichtplatten

Das Oekotoxzentrum hat eine innovative Methode etabliert, um die Toxizität von unbekanntem Mischungen empfindlich zu bestimmen und die verantwortlichen Stoffe zu enttarnen. Dies ist nicht nur für die Lebensmittelsicherheit interessant, sondern auch für die Umweltanalytik.

Chemikalien aus Verpackungsmaterial können in Lebensmittel übergehen und so Verbraucher gefährden. Doch die Überwachung dieser Stoffe ist schwierig: Denn hier handelt es sich nicht nur um Bestandteile des Verpackungsmaterials, sondern auch um Verunreinigungen und um Stoffe, die während der Herstellung oder der Lagerung der Verpackungen entstehen. Einige dieser Stoffe können toxisch sein, doch wie soll man diese herausfiltern? Da die Verbraucher vor giftigen Stoffen geschützt werden sollen, müssen Stoffe, die aus Verpackungsmaterial in die Nahrung migrieren könnten, überwacht werden.



Für die Durchführung von Biotests auf Dünnschichtplatten werden die Platten mit den Testorganismen besprüht.

Chemikalien, die in Lebensmittelverpackungen verwendet werden, sind daher reguliert. Dabei erhalten die Chemikalien je nach Toxizität spezifische Migrationsgrenzwerte, die angeben, welche Menge der Stoffe in die Nahrung übergehen darf. Diese Stoffe sind alle bekannt und können daher bei der Lebensmittelkontrolle mit gezielter chemischer Analytik überprüft werden. Dies gilt jedoch nicht für die Stoffe, die ungewollt ins Verpackungsmaterial gelangen. Da die Anzahl dieser Stoffe sehr gross ist, ist es auch nicht realistisch, sie mit ungerichteter chemischer Analytik zu erfassen und anschliessend zu identifizieren. Um die Verbraucher zu schützen, ist hier ein alternativer Ansatz notwendig.

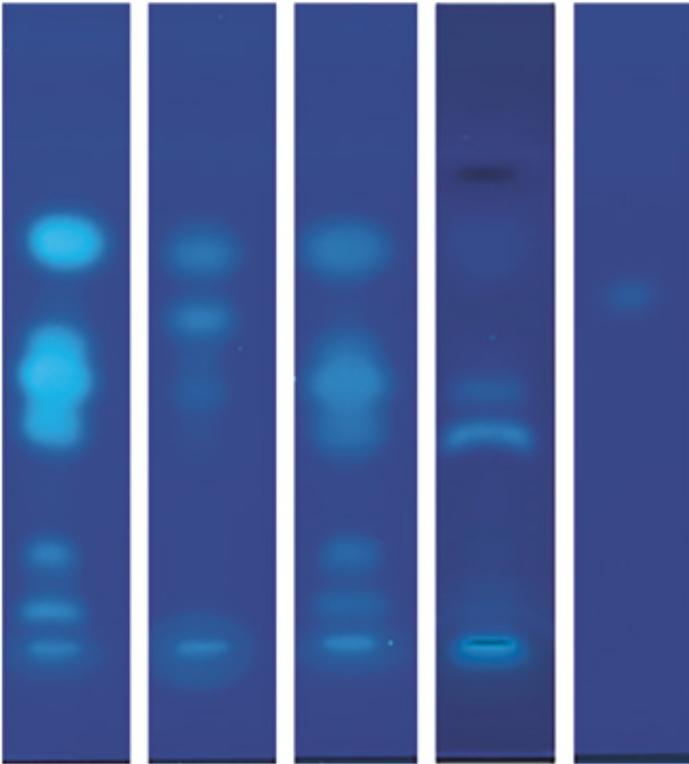
Stoffreduktion und Nachweis unbekannter Giftstoffe

Eine elegante Lösung hat nun Postdoktorand Alan Bergmann am Oekotoxzentrum weiterentwickelt: nämlich eine Kombination aus Hochleistungs-Dünnschichtchromatographie (HPTLC = high performance thin-layer chromatography) und Biotests, die toxische Stoffe über ihre biologische Wirkung nachweisen. «Dieser Ansatz schlägt gleich zwei Fliegen mit einer Klappe», erläutert Alan Bergmann. «Auf der einen Seite ermöglicht es der Einsatz von Biotests, auch unbekannte Schadstoffe zu erfassen. Auf der anderen Seite macht es die Auftrennung der Stoffmischung in kleinere Fraktionen während der Chromatographie möglich, gezielt nur die toxischen Fraktionen weiter zu untersuchen.» Finanziert wurde das Projekt vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen.

Zunächst wird die komplexe Stoffmischung in einer Probe auf der Dünnschichtplatte aufgetragen und während der Flüssigchromatographie nach Masse und Polarität der Stoffe in Fraktionen aufgetrennt, die nur noch eine kleinere Zahl an Einzelstoffen enthalten. Um die Fraktionen zu finden, die toxische Stoffe enthalten, werden anschliessend Biotests direkt auf der Platte durchgeführt: Je nach verwendetem Biotest werden so verschiedene Substanzgruppen detektiert. Mit Hilfe von hochauflösender Massenspektrometrie (LC-HRMS/MS) kann nun gezielt die Identität der giftigen Stoffe bestimmt werden. «Dies geht einfacher, da die Fraktion nicht mehr so viele Stoffe enthält wie die ursprüngliche Probe», so Alan Bergmann. «Und im Vergleich zur Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC), einer alternativen Methode zur Fraktionierung, können bei der HPTLC mehrere Proben zur selben Zeit fraktioniert werden». Die Methode lässt sich nicht nur im Lebensmittelbereich einsetzen, sondern auch in der Umweltanalytik.

Gentoxizität besonders gefährlich

Gentoxische Substanzen, die Schäden an der DNA anrichten, gelten in Lebensmitteln als die kritischsten Substanzen: Sie besitzen die höchste Toxizität und stellen daher das höchste Risiko für die menschliche Gesundheit dar. Deshalb hat Alan Bergmann die neue Methode für diese Stoffgruppe angepasst und überprüft. Die Gentoxizität wird dabei mit gentechnisch verändert Bakterien der Gattung Salmonella nachgewiesen. Für den Nachweis nutzt Bergmann die Aktivierung des zelleigenen Reparatursystems, das DNA-Schäden beheben soll. «Zuerst trennen wir die Stoffe in der Probe chromatographisch auf», erklärt Alan Bergmann. «Dann bestimmen wir die Gentoxizität der entstandenen Banden,



Die Durchführung von Biotests auf den Dünnschichtplatten ermöglicht es, die Banden mit einer toxischen Wirkung zu identifizieren.

indem wir die Platten mit der Bakterienlösung besprühen.» Wird das umuC-Gen aktiviert – ein Bestandteil des DNA-Reparatursystems der Zelle – so wird über ein gekoppeltes Reportergen ein Enzym produziert, das eine Farbreaktion hervorruft. Die toxischen Banden werden anschliessend über ihre Fluoreszenz sichtbar gemacht. Dieser Biotest ist schon lange bekannt, wird aber sonst in Mikrotiterplatten durchgeführt und wurde in diesem Projekt für Dünnschichtplatten adaptiert.

Empfindliche Nachweismethode für gentoxische Stoffe

Alan Bergmann testete die Methode zunächst mit mehreren bekannten gentoxischen Chemikalien aus. Die Stoffe konnten mit dem neuen Test alle verlässlich nachgewiesen werden. Wenn man die Durchführung des Biotests auf der Dünnschichtplatte mit der Durchführung desselben Tests auf der Mikrotiterplatte vergleicht, so zeigt sich, dass der Test auf der Dünnschichtplatte durchwegs empfindlicher reagierte, nämlich ungefähr zwei Grössenordnungen. Damit ist das Testsystem ausreichend empfindlich, um die gefährlichsten gentoxischen Stoffe im Bereich ihrer erlaubten Grenzwerte nachzuweisen. «Für schwächer wirkende Stoffe reicht dies allerdings noch nicht ganz aus», räumt Alan Bergmann ein. «Man müsste dazu die Proben stärker aufkonzentrieren.»

Kartonverpackungen enthalten gentoxische Substanzen

Um die Relevanz des Systems für die Praxis zu bestimmen, setzte Alan Bergmann den Test auf Extrakte echter Lebensmittelverpackungen aus Karton ein, die Projektpartner von der Lebensmittelkontrolle der Kantone Zürich und St. Gallen zur Verfügung

gestellt hatten. Zunächst wurden die Verpackungen mit Lösungsmitteln extrahiert, um darin enthaltenen Chemikalien herauszulösen. Mit Hilfe des neuen Kombinationstests konnte Bergmann in den Extrakten mehrere gentoxische Stoffe nachweisen: In einer Probe identifizierte er vier gentoxische Banden. «Die geprüften Lebensmittelverpackungen enthielten also tatsächlich gentoxische Stoffe, die mit unserem Test nachgewiesen wurden», sagt Alan Bergmann. «Ob die Stoffe aus dem Verpackungsmaterial tatsächlich in die Lebensmittel gelangen, sollte allerdings noch genauer abgeklärt werden.»

Doch um welche Stoffe handelt es sich dabei? Die vorgeschaltete HPTLC vor dem Biotest reduzierte die Zahl der Einzelstoffe in den einzelnen Banden um 98% im Vergleich zur ursprünglichen Probe. Wird die Chromatographie zweidimensional durchgeführt, das heisst nacheinander in zwei Richtungen, so konnte die Stoffanzahl gar auf 0.6% reduziert werden. So ist es bei unbekannt komplexen Mischungen leichter möglich, mit Hilfe von Massenspektrometrie die verantwortlichen Chemikalien für eine beobachtete Toxizität zu identifizieren: Für eine Bande der Verpackung gelang dies Bergmann bereits und er konnte nachweisen, dass es sich hier um CMIT handelte, ein bekanntes Biozid, das bei der Herstellung von Karton eingesetzt wird.

Auch andere Stoffklassen werden erkannt

Doch gentoxische Stoffe sind nicht die einzige Stoffgruppe, für die die Kombination von HPTLC und Biotests eingesetzt wird: Alan Bergmann hat das Testsystem schon für Stoffe mit hormonähnlicher Wirkung etabliert und ausgetestet (siehe Oekotoxzentrum News 20). Für diese Stoffe setzte er den Hefezellöstrogentest mit gentechnisch veränderten Hefen ein (YES = yeast estrogen screen). Auch für hormonaktive Stoffe lag die Nachweisgrenze bei der Durchführung des Biotests auf Dünnschichtplatten deutlich niedriger als bei der herkömmlichen Durchführung in Mikrotiterplatten. Hormonaktive Stoffe können in Lebensmittelverpackungen beispielsweise in Beschichtungen von Konservendosen vorkommen. «Wir haben den Dünnschicht-YES nicht nur erfolgreich auf Lebensmittelverpackungen eingesetzt, sondern auch auf Trinkwasser- und Flusswasserproben», sagt Alan Bergmann.

In der Zukunft sollen noch andere Biotests auf Dünnschichtplatten adaptiert werden. So sind die Forschenden momentan daran, Biotests mit Leuchtbakterien für die Messung der allgemeinen Toxizität am Oekotoxzentrum zu etablieren. Auch der Einsatz eines Biotests für den Nachweis von Neurotoxizität steht auf dem Programm. «Wir möchten die neue Methode in Zukunft vermehrt auf Umweltproben anwenden», betont Alan Bergmann. So zum Beispiel in einem Projekt, in dem die Ökotoxizität von Reifenpartikeln auf den Grund gegangen wird. «Wir sind überzeugt davon, dass unsere Methode robust und sensitiv genug ist, um sie in zahlreichen Settings einzusetzen», sagt Alan Bergmann. Er möchte die bestehende Zusammenarbeit mit den kantonalen Laboratorien und der Industrie fortsetzen und das Know-How an interessierte Stakeholder weitergeben.

Kontakt: Alan Bergmann alanjames.bergmann@oekotoxzentrum.ch

Neues Grossprojekt zur Risikobewertung von Chemikalien

Das Oekotoxzentrum vergleicht zusammen mit Partnern aus der Schweiz und der EU die prospektive und retrospektive Risikobeurteilung von Pestiziden und entwickelt Bewertungsansätze und Konzepte weiter. Weitere Aktivitäten betreffen die Bewertung von Stoffgemischen und das Monitoring von hormonaktiven Stoffen und perfluorierten Chemikalien in der Umwelt.

Die schädlichen Auswirkungen von Chemikalien sollen verringert werden: Dies steht im Zentrum der Politik weltweit. Nur so können laut den Vereinten Nationen die nachhaltigen Entwicklungsziele erreicht werden. Eine Abnahme der Chemikalieneffekte ist auch eines der Ziele des 7. Umweltaktionsprogramms der EU und eine wichtige Komponente des Green Deal, mit dem die Europäische Kommission den Klimawandel bekämpfen und die Umwelt verbessern möchte. Am 1. Mai wurde daher unter dem Finanzierungsprogramm Horizon der EU das PARC Projekt für die Risikobewertung von Chemikalien (PARC = Partnership for the Assessment of Risks from Chemicals) gestartet, das mit über 200 Projektpartnern aus ganz Europa und einem Budget von 400 Mio. € eines der grössten Projekte dieser Art weltweit ist. Das Oekotoxzentrum beteiligt sich an mehreren Modulen des ambitionierten Programms.

Innovative Methoden für Analytik und Risikobewertung

PARC möchte die Organisationen der EU und ihrer Mitgliedsländer unterstützen, die für die Bewertung von chemischen Risiken und das Risikomanagement verantwortlich sind. So werden Methoden entwickelt und verbessert, um neue Schadstoffe mit Hilfe von non-target screening und suspect screening zu erkennen und Schadstoffmischungen zu überwachen. In der Ökotoxikologie soll die Bewertung von Stoffgemischen, von Umwelthormonen und von Immuntoxizität verbessert werden. Um mit der grossen Anzahl an Chemikalien fertig zu werden, werden ausserdem In-vitro-Hochdurchsatztests, 'omics, High-Content-Analysen und Methoden der computergestützten Toxikologie weiterentwickelt.

Innovative Methoden für die Risikobewertung stehen ebenfalls auf dem Programm. Die Registrierung und Risikobewertung von Chemikalien in Europa ist momentan auf verschiedene rechtliche Rahmenwerke verteilt: Dies soll sich nach dem Grundsatz «Ein Stoff,

eine Bewertung» aus dem Green Deal ändern, der eine einheitliche Bewertung für alle Rahmenwerke anstrebt. Das Oekotoxzentrum ist über die nächsten 7 Jahre an mehreren Modulen von PARC beteiligt.

Unterschiedliche Grenzwerte für dieselbe Chemikalie

So leitet das Oekotoxzentrum zusammen mit dem Bundesamt für Umwelt eine Fallstudie, in der die Risikobewertung von Pestiziden in den verschiedenen rechtlichen Rahmenwerken analysiert wird. Die Wirkung von Pestiziden (Pflanzenschutzmittel und Biozide) wird sowohl im Rahmen ihrer Zulassung (prospektive Risikobewertung) als auch zur Bestimmung von Umweltgrenzwerten (retrospektive Risikobewertung) bestimmt. Dadurch können für jede Substanz, je nach Einsatzgebiet, bis zu 3 unterschiedliche regulatorische Effektwerte existieren, da sich die Geltungsbereiche und Schutzziele der verschiedenen Rechtsrahmen unterscheiden: RAC (regulatory acceptable concentrations) aus dem Pflanzenschutzmittel-Zulassungsverfahren, PNEC (predicted no effects concentrations) aus der Biozidprodukteverordnung und EQS (environmental quality standards) aus der Umweltgesetzgebung.

In einem ersten Schritt analysieren die Forscherinnen die Eigenschaften und Ähnlichkeiten zwischen der prospektiven und der retrospektiven Risikobewertung von Pestiziden, um mögliche Limitationen und Widersprüche des Systems aufzuzeigen. In einer zweiten Phase untersuchen sie die Effekte in Bächen in Landwirtschaftsgebieten, die die Stoffe in Konzentrationen oberhalb ihrer Effektwerte enthalten. Die Resultate sollen zeigen, wie die unterschiedlichen Effektwerte verwendet und interpretiert werden sollten. Auf dieser Basis möchten die Forscherinnen einen Vorschlag für die Regulatoren in den verschiedenen Rechtsrahmen entwickeln, wie diese am besten zusammenarbeiten sollten und wie die Ansätze aneinander angeglichen werden könnten.

Ausserdem beteiligt sich das Oekotoxzentrum an Projekten für die Bewertung und das Management von Stoffgemischen, die Förderung der Biodiversität und das Monitoring von hormonaktiven Stoffen und perfluorierten Verbindungen in Europa.

Kontakt: Marion Junghans marion.junghans@oekotoxzentrum.ch



Von vielen Chemikalien gehen toxische Risiken aus. Doch je nach Rechtsrahmen können für dieselbe Chemikalie unterschiedliche Grenzwerte gelten.



Expertenbericht: Strategie zur Bewertung der Sedimentqualität in der Schweiz

Sedimente spielen eine entscheidende Rolle für die Gewässerqualität. Ein Ziel der Schweizer Gewässerschutzverordnung ist es daher, dass Sedimente keine persistenten Stoffe enthalten und auch keine Stoffe anreichern, die eine schädliche Wirkung auf Lebewesen haben. Doch bis jetzt gibt es keine einheitliche Methode für die Kantone, um die Qualität der Sedimente zu überwachen. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt hat das Oekotoxzentrum einen Vorschlag erarbeitet, wie Sedimente in der Schweiz beprobt, weiterverarbeitet und bewertet werden sollten, dies in enger Zusammenarbeit mit kantonalen Gewässerschutzfachstellen, dem VSA und Expertinnen und Experten aus der Wissenschaft.

Im kürzlich publizierten Expertenbericht wird eine robuste Strategie zur Überwachung und zur Qualitätsbewertung von Sedimenten auf Basis ihres chemischen Zustands vorgestellt. Die Strategie umfasst Verfahren zur Probenahme und zur Probenvorbehandlung für die chemische Analyse. Zudem enthält sie eine Stoffliste, die für das Sedimentmonitoring vorgeschlagen wird, Sedimentqualitätskriterien (SQK) für diese Schadstoffe sowie ein mehrstufiges Bewertungssystem, welches sich an das Modul-Stufen-Konzept anlehnt. Die Strategie ist für den Routineeinsatz konzipiert und baut auf Methoden auf, die bereits in den Kantonen angewendet werden.

Casado, C., Wildi, M., Ferrari, Benoit J.D., Werner, I. 2021. Strategie zur Beurteilung der Sedimentqualität in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie, Lausanne.
www.oekotoxzentrum.ch/news-publikationen/berichte

Sediment-Qualitätskriterien neu auf Webseite

Für das Sediment-Monitoring empfiehlt das Oekotoxzentrum insgesamt 20 Substanzen oder Substanzklassen. Darunter sind einige klassische Sedimentschadstoffe wie Metalle, polychlorierte Biphenyle (PCB) oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und auch neue Substanzen wie Pestizide (z. B. Chlorpyrifos, Cypermethrin, Tebuconazol), Arzneimittel (Ciprofloxacin, östrogene Hormone) und Inhaltsstoffe von Körperpflegeprodukten (z. B. Triclosan, Tonalid). Für diese priorisierten Stoffe hat das Oekotoxzentrum Sediment-Qualitätskriterien (SQK) auf der Grundlage von Wirkdaten erarbeitet, die angeben, ab welcher Konzentration schädliche Wirkungen auf Sedimentorganismen nicht ausgeschlossen werden können. Die Werte und die dazugehörigen Dossiers stehen neu auf der Webseite des Oekotoxzentrums zur Verfügung. Als «Kochbuch» für die SQK diente den beteiligten Wissenschaftlerinnen der technische Leitfaden der EU für die Ableitung von Wasser-Qualitätskriterien, der auch eine Anleitung für Sedimente enthält.

www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/sediment-qualitaetskriterien



Erhebliche ökotoxikologische Risiken durch Pyrethroid- und Organophosphat-Insektizide

Von März bis Oktober 2019 wurde an 17 Messstellen in kleinen Bächen die Menge an Pyrethroid- und Organophosphat-Insektiziden gemessen. Dies erlaubt es zum ersten Mal, die Gewässerbelastung durch diese Insektizide schweizweit abzuschätzen. Die Insektizide wurden in allen überwachten Wasserläufen gefunden, die zum Messnetz der NAWA (Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität) gehören. Obwohl die gemessenen Konzentrationen meist niedrig waren und unterhalb von 1 ng/l lagen, stellen sie ein erhebliches Risiko für Gewässerorganismen dar: Die ökotoxikologischen Qualitätskriterien für die Stoffe wurden nämlich insgesamt 248-mal überschritten. Die Ergebnisse zeigen auch, dass nur sieben von den rund 60 Pestiziden, die an diesen Standorten regelmässig gemessen werden, für mehr als 60 % des Gesamtrisikos für die Gewässerorganismen verantwortlich sind.

Daou, S., Doppler, T., Scheidegger, R., Kroll, A., Junghans, M., Moschet, C., Singer, H. (2022) Insecticides dans les eaux de surface. Quels risques représentent les insecticides pyréthrinoides et organophosphorés en Suisse ? *Aqua & Gas* 102 (4), 58-66



Neu am Oekotoxzentrum

Seit Januar 2022 verstärkt **Sibylle Maletz** das Biotest-Team im Bereich aquatische Ökotoxikologie. Dabei liegt der Fokus ihrer Arbeit auf Biotests zum Nachweis von endokrinen Disruptoren, also Stoffen, die das Hormonsystem beeinflussen können. Ausserdem möchte sie die etablierten Testsysteme auf die Untersuchung von Extrakten aus Sedimenten und Schwebstoffen ausweiten. Sibylle hat an der Ruprecht-Karls-Universität in Heidelberg (D) Biologie studiert. Anschliessend hat sie an der RWTH Aachen über den Gebrauch verschiedener Biotests zum Nachweis endokriner Disruptoren in Grundwasser, Oberflächengewässern und Abwasser promoviert – übrigens damals schon in Zusammenarbeit mit dem Oekotoxzentrum. Nach ihrer Promotion sammelte Sibylle Erfahrungen als Reproduktionsbiologin in der assistierten Reproduktion des Menschen. «Jetzt freut ich mich sehr darauf, am Oekotoxzentrum wieder mehr im Umweltbereich zu arbeiten», sagt Sibylle.

Seit April 2022 arbeitet **Gianna Ferrari** in der Gruppe für Risikobewertung. Dort unterstützt sie die Weiterentwicklung einer Datenbank für toxische Effekte von Chemikalien auf Umweltorganismen, die auch in das europäische NORMAN-Netzwerk (Network of reference laboratories for monitoring of emerging environmental pollutants) integriert werden soll. Für Gianna ist es eine Rückkehr zur Ökotoxikologie und ans Oekotoxzentrum: Sie hat bereits 2018 im Rahmen ihres ETH-Studiums der Umweltnaturwissenschaften ihr Berufspraktikum am Oekotoxzentrum gemacht. Dabei untersuchte sie, ob Umweltqualitätskriterien für Antibiotika auch vor der Entstehung von Antibiotika-Resistenzen in der Umwelt schützen. Ihre anschliessende Masterarbeit schrieb Gianna am Institut für integrative Biologie, wo sie sich mit den genetischen Grundlagen von Antibiotikaresistenzen auseinandersetzte.

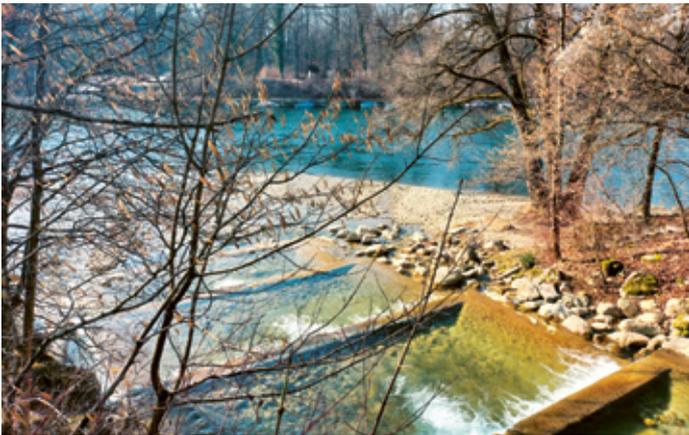


Biomarker in Zuckmücken zum Nachweis der Sedimentqualität

Zuckmückenlarven sind Schlüsselorganismen der Gewässerböden und spielen daher eine wichtige Rolle für Studien zur Bioverfügbarkeit von sedimentgebundenen Chemikalien, ihrer Toxizität oder ihrem Transfer in der Nahrungskette. Die Larven der Art *Chironomus riparius* leben in den ersten Zentimetern der Oberflächensedimente und können leicht im Labor gezüchtet werden. Ihr Genom wurde sequenziert und ist teilweise annotiert – dies macht sie interessant für die Entwicklung von Biomarkern für die Bewertung der Sedimentqualität. In Verbindung mit Biotests im Labor oder im Feld sind diese Biomarker eine vielversprechende Methode, um Effekte empfindlich und frühzeitig zu erkennen und so die Qualität von Oberflächengewässern zu bewerten.

Daher etabliert das Oekotoxzentrum in einem neuen Projekt Biomarker in Zuckmücken: Es werden Gene betrachtet, die an verschiedenen Stoffwechselprozessen beteiligt sind, wie zum Beispiel der Entgiftung, der Hormonsteuerung und dem Immunsystem. Durch Messung der Genexpression über die Bildung der mRNA (mit quantitativer PCR oder Sequenzierung) lassen sich Effekte feststellen, die zwar nicht direkt zum Tod des Organismus führen, aber eine wirkungsspezifische Stressantwort auslösen und so den Organismus langfristig schädigen können.

Kontakt: Rebecca Beauvais rebecca.beauvais@centreecotox.ch



Beurteilung der Sedimentqualität in der Aare

Seit 2001 wird die biologische Qualität der unteren Aare zwischen Bielersee und Rhein durch die Gewässerschutzämter der Kantone Aargau, Bern und Solothurn immer wieder überwacht. Denn ein Langzeitmonitoring ist der beste Ansatz, um die biologische Besiedlung und ihre Veränderungen im Laufe der Zeit zu beobachten. 2008 und 2018 wurde auch die biologische Qualität der oberen Aare zwischen Thunersee und Bielersee durch den Kanton Bern untersucht. 2018 wurde ausserdem die Sedimentqualität untersucht, und zwar nicht nur durch chemische Analysen auf Metalle und PCB, sondern auch die ökotoxikologische Qualität mit einem Sedimentkontakttest.

2022 ist nun wieder die biologische Qualität der unteren Aare an der Reihe: Dabei werden die wirbellosen Kleinlebewesen der Flusssohle (Makrozoobenthos) erfasst, der Algenaufwuchs (vor allem Kieselalgen), der Bewuchs mit anderen Algen sowie die Population an Jungfischen. Ausserdem werden Wasserproben zur Analyse der eDNA- genommen. Die Sedimentproben werden durch den Kanton Bern und die Universität Bern auf Metalle und organische Mikroverunreinigungen untersucht. Das Oekotoxzentrum bewertet schliesslich die ökotoxikologische Sedimentqualität mit Hilfe von Biotests in einer gemeinsamen Bachelorarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW). Dabei werden Biotests mit Muschelkrebse und mit Zuckmückenlarven eingesetzt. So wird es möglich, die Sedimentqualität entlang der gesamten Aare umfassend zu beurteilen.

Kontakt: Carmen Casado-Martinez carmen.casado@centreecotox.ch



Zusätzliche Qualitätskriterien für Gewässer verfügbar

Das Oekotoxzentrum hat eine grosse Zahl von Qualitätskriterien hergeleitet und auf seiner Webseite publiziert. Neu stellt es dort Qualitätskriterien für zusätzliche Stoffe zur Verfügung, die entweder von anderen Organisationen bestimmt wurden oder für die keine vollständige Datenrecherche durchgeführt wurde. Diese Werte sollten primär zur Überprüfung der Umweltrelevanz von Substanzen verwendet werden, die in Monitoringkampagnen von Oberflächengewässern gemessen wurden.

Bei einem Teil der Werte handelt es sich um Umweltqualitätsnormen für prioritäre Stoffe unter der EU-Wasserrahmenrichtlinie, nationale Umweltqualitätsnormen oder nationale Qualitätskriterienvorschläge. Die Umweltqualitätskriterien der EU und ihrer Mitgliedsstaaten wurden mit derselben Methode bestimmt wie die Qualitätskriterienvorschläge des Oekotoxzentrums und sind daher genauso belastbar. Sie beruhen auf einer breiten Recherche von Daten, die anschliessend auf ihre Relevanz und Verlässlichkeit überprüft wurden. Beim einem anderen Teil handelt es sich um *ad hoc* Qualitätskriterien des Oekotoxzentrums. Diese Werte basieren in der Regel ausschliesslich auf den Zulassungsdaten und auf keiner vollständigen Datenrecherche.

www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/

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.

Pestizide belasten kleine Gewässer

81% der kleinen Bäche in Deutschland enthalten Pestizide in Konzentrationen, die ökotoxikologisch bedenklich sind: Dies zeigt eine gross angelegte Studie an mehr als 100 Fliessgewässern. Die Belastung mit Pestiziden aus der Landwirtschaft ist damit die Hauptursache für die Abnahme an empfindlichen Insektenpopulationen. In der Studie waren 20 der untersuchten 75 Pestizide für mehr als 80 Prozent der beobachteten Überschreitungen der regulatorisch akzeptablen Konzentrationen verantwortlich. Zudem fanden die Forschenden deutlich höhere Pestizidkonzentrationen als die Behörden, da sie auch Proben während starker Niederschläge nahmen, die zur Abschwemmung der Pestizide führen. Die Forschenden stellten fest, dass die derzeitige Pestizidzulassung das tatsächliche ökotoxikologische Risiko unterschätzt, und schlagen Verbesserungen für die Bewertung vor. Liess, M. et al (2021) Pesticides are the dominant stressors for vulnerable insects in lowland streams. *Water Research* 201, 117262

Effektmodellierung für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln

Da eine riesige Zahl an Pflanzenschutzmitteln (PSM) eingesetzt wird, ist es nicht realistisch, die Auswirkung jeder Einzelsubstanz in Tierversuchen auszutesten. Ein neuer Übersichtsartikel stellt die mathematischen Modelle vor, die zur Bewertung der ökotoxikologischen Auswirkungen von PSM verwendet werden können ((Q)SAR-, DR- und TKTD-, Populations-, Multi-Spezies-, Landschafts- und Mischmodelle). Die Stärken und Grenzen der überprüften Modelle werden diskutiert und Möglichkeiten zur Verbesserung aufgezeigt. Auch wenn die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) mechanistische Modelle für die Risikobewertung von PSM zunehmend anerkannt, werden sie bisher in Leitfäden nicht berücksichtigt. Larras, F. et al. (2022) A critical review of effect modeling for ecological risk assessment of plant protection products. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022 Apr 7. doi: 10.1007/s11356-022-19111-3.

Larras, F. et al. (2022) A critical review of effect modeling for ecological risk assessment of plant protection products. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022 Apr 7. doi: 10.1007/s11356-022-19111-3.

Welche Mikroverunreinigungen sind am gefährlichsten?

Unzählige Chemikalien verschmutzen die Gewässer weltweit, doch welche sind am gefährlichsten und sollten daher priorisiert werden?

Die Substanzen wurden mit Hilfe ihres Risikoquotienten priorisiert und ein Ansatz entwickelt, der auch die Risikointensität und das Vorkommen der Mikroverunreinigungen berücksichtigt. Anhand einer Analyse der Metadaten präsentieren die Forschenden eine Rangliste der 53 wichtigsten Mikroverunreinigungen für das Risikomanagement und Sanierungsmassnahmen. Unter den Stoffen sind 36 Arzneimittel und Körperpflegeprodukte (z. B. Sulfamethoxazol, Diclofenac, und Ibuprofen), 7 Pestizide (z. B. Diuron und Diazinon) und 10 Industriechemikalien (z. B. Perfluorooctansulfonsäure und 4-Nonylphenol).

Yang, Y. et al. (2022) Which micropollutants in water environments deserve more attention globally? *Environ. Sci. Technol* 56, 13-29

EU schlägt Verbot von PFAS in Feuerlöschschäumen vor

Die Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) hat der EU vorgeschlagen, alle Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) in Feuerlöschschäumen zu verbieten. Die Agentur kam zum Schluss, dass eine EU-weite Beschränkung gerechtfertigt ist, da die von PFAS ausgehenden Umwelt- und Gesundheitsrisiken nicht angemessen kontrolliert werden und die Freisetzung der Stoffe minimiert werden sollte. Dänemark, Deutschland, die Niederlande, Norwegen und Schweden arbeiten an einem zusätzlichen Vorschlag, der die Verwendung von PFAS in anderen Anwendungen einschränken soll.

<https://echa.europa.eu/-/proposal-to-ban-forever-chemicals-in-fire-fighting-foams-throughout-the-eu>

Plastikextrakte fördern Bildung von Fettzellen

Versuche in Zellkulturen weisen darauf hin, dass Chemikalien in Kunststoffen Übergewicht fördern. Ein Forschungsteam aus Norwegen hat nämlich gezeigt, dass Extrakte aus Kunststoffprodukten in Mäusezellkulturen die Bildung von Fettzellen anregen können. 11 von 34 der getesteten Materialien – darunter auch mehrere Lebensmittelverpackungen – förderten das Wachstum von Fettzellen. Verantwortlich für diesen Effekt sind vermutlich hormonaktive Chemikalien, die das Hormonsystem beeinflussen, das wiederum Stoffwechsel und Gewicht steuert. Mit hochauflösender Massenspektrometrie wies das Team in den Extrakten mehr als 50 000 verschiedene Einzelsubstanzen nach. Die Vielzahl der gefundenen Stoffe und ihre unbekanntenen Wirkmechanismen zeigen, wie dringlich das Problem der Chemikalien in Kunststoffprodukten ist.

Völker, J. et al (2022) Adipogenic Activity of Chemicals Used in Plastic Consumer Products. *Environmental Science and Technology* 56, 13-29

Impressum

Herausgeber: Oekotoxzentrum

Eawag
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.centreecotox.ch

Redaktion: Anke Schäfer, Oekotoxzentrum

Copyright: © Die Texte und die nicht anders markierten Fotos unterliegen der Creative-Commons-Lizenz «Namensnennung 4.0 International». Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden. Weitere Informationen zur Lizenz finden Sie unter <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Fotos: Oekotoxzentrum, Adobe Stock (S. 8), Matthias Ruff, Eawag (S. 9)

Erscheinungsweise: zweimal jährlich

Gestaltungskonzept, Satz und Layout: visu'1 AG identity, Bern

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