

## Chemikalien in unserer Umwelt

Wie die Ökotoxikologie  
den Gefahren auf der Spur ist

# analytik





# **Chemikalien in unserer Umwelt**

**Wie die Ökotoxikologie  
den Gefahren auf der Spur ist**

## IMPRESSUM

Chemikalien in unserer Umwelt  
Wie die Ökotoxikologie den Gefahren auf der Spur ist

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Telefon: 0821 9071-0  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Redaktion und Text:

LfU: Dr. Christa Barkschat, Antonia Wanner u.  
Dr. Marion Letzel

Stefan Zowislo  
Geschwister-Scholl-Straße 25  
06886 Lutherstadt Wittenberg

### Gestaltung:

LfU, Karina Fuchs u. Katharina Binner (Werkstudentinnen)

### Bildnachweis:

Siehe Seite 32

### Stand:

Januar 2024

### Druck:

Uhl-Media GmbH  
Kemptener Straße 36  
87730 Bad Grönenbach  
06/2024



Dieses Druckerzeugnis ist mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

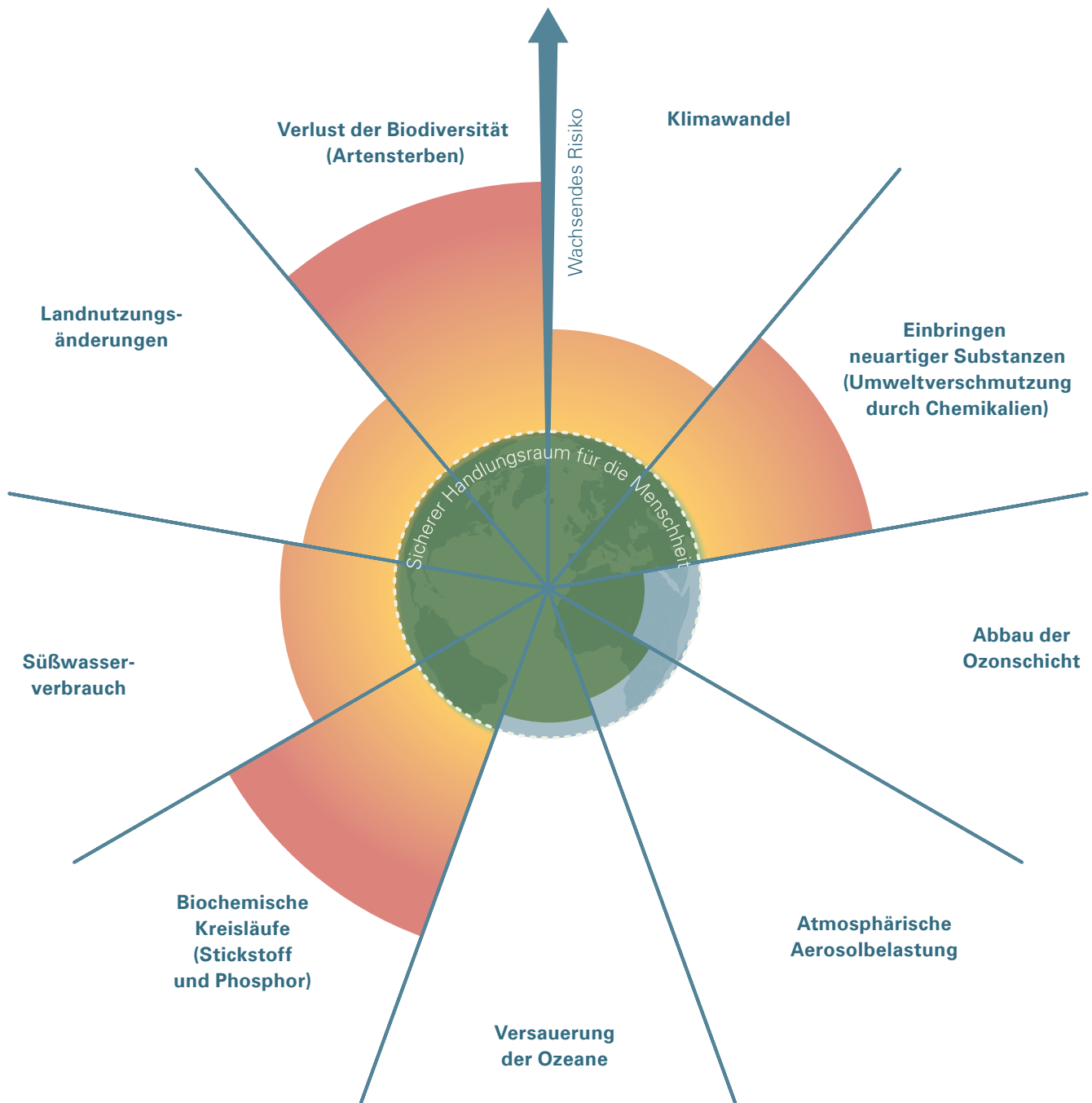
Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.



## INHALT

<b>Impressum</b>	<b>2</b>
<b>Einführung</b>	<b>5</b>
<b>Was ist Ökotoxikologie?</b>	<b>6</b>
<b>Alle Chemikalien können gefährlich sein – unter bestimmten Bedingungen</b>	<b>7</b>
Über umweltrelevante Eigenschaften von Chemikalien	
<b>Biotests</b>	<b>10</b>
Der Toxizität chemischer Substanzen auf der Spur	
<b>Wenn im Feld alles zusammenkommt</b>	<b>13</b>
Über ökotoxikologische Forschung an Insekten in Bayern	
<b>Der Weg zur Risikobewertung</b>	<b>16</b>
Am Beispiel einer alltäglichen Schmerztablette	
<b>Der Fall der Fälle</b>	<b>20</b>
Notwendigkeit und Grenzen der Risikobewertung von Chemikalien	
<b>„Eine anspruchsvolle Agenda“</b>	<b>23</b>
Ein Interview mit Priv.-Doz. Dr. Wolfgang Körner, Referatsleiter „Organische Analytik“ beim Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU)	
<b>Steckbrief: PFAS</b>	<b>27</b>
<b>Steckbrief: Mikroplastik</b>	<b>28</b>
<b>Steckbrief: Schwermetalle</b>	<b>30</b>
<b>Bildnachweis</b>	<b>32</b>



Grafik 1: Die neun planetaren Grenzen markieren die ökologische Widerstandskraft der Erde. In den roten Bereichen wurden diese bereits ausgeschöpft und überschritten.

## EINFÜHRUNG

Die Belastung unserer Umwelt mit Chemikalien ist ein immer dringlicher werdendes Thema. Viele Stoffe machen uns das Leben leichter. Kunststoffe sind enorm praktisch – und so schlecht abbaubar, dass sie sehr lange in der Umwelt verbleiben. Arzneimittel helfen uns, immer gesünder und älter zu werden. Nur scheiden wir sie auch wieder aus – und die Fische in den Gewässern müssen mit den Resten unserer Medikamente leben. Pestizide sichern hohe Ernteerträge – und gelten als einer der Hauptfaktoren für das Insektensterben.

Heute sind über 204 Millionen chemische Substanzen weltweit registriert; und täglich kommen Tausende dazu. Mehr als 350.000 davon sind derzeit auf den globalen Märkten im Umlauf. Die Chemieindustrie ist die zweitgrößte produzierende Industrie weltweit – mit einer Steigerung der weltweiten Produktion seit den 1950er-Jahren um das 50-Fache! Wie all diese Chemikalien auf die Ökosysteme wirken, ist – trotz aller Forschung – letztlich weitgehend unbekannt.

Im Jahr 2009 präsentierte eine international besetzte Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern eine Beschreibung der Widerstandskraft der Erde. Sie nannten es die „planetaren Grenzen“ und meinten damit: Was kann unser Planet aushalten? Das Forschungsteam beschreibt neun Bereiche, die für die Widerstandskraft der Erde und damit für die Lebensgrundlage der Ökosysteme und der menschlichen Zivilisation entscheidend sind. Dazu gehören beispielsweise Klimawandel und Biodiversität – und ebenso die Belastung durch neue Chemikalien. 13 Jahre später, im Jahr 2022, ist klar, dass die Menschheit die planetare Grenze für neue Chemikalien bereits weit überschritten hat.

„Die Geschwindigkeit, mit der diese Schadstoffe in der Umwelt auftreten, übersteigt bei weitem die Fähigkeit der Regierungen, globale und regionale Risiken zu bewerten, geschweige denn mögliche Probleme zu kontrollieren,“ bilanziert Bethanie Carney Almroth, Umweltwissenschaftlerin an der Universität Göteborg die 2022 publizierten Erkenntnisse. Auf dieser Grundlage kommt die Studie zu dem Schluss, dass die zunehmende Produktion und die Freisetzung von Chemikalien die Gesundheit des Erdsystems gefährden und fordert Maßnahmen zur Verringerung der Produktion und Freisetzung von Schadstoffen.

So dramatisch und zugespitzt die Lage auch erscheint – Chemikalien spielen eine wesentliche Rolle bei der nachhaltigen Entwicklung von Wohlstand, Gesundheit und Bildung. Und: Chemikalien lassen sich nicht alle über einen Kamm scheren. Manche sind gefährlich, andere nicht, auf viele könnten wir verzichten, andere sind unerlässlich.

Wenn wir als Gesellschaft nicht die Vorteile vieler Stoffe missen wollen, müssen wir genau hinschauen und uns solchen Fragen widmen: Was macht Stoffe gefährlich? Wie werden Risiken beherrschbar? Wo sind Grenzen, wie werden sie festgelegt, wer entscheidet?

In dieser Broschüre versuchen wir – das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) – darauf Antworten zu finden. Wir unternehmen dies in einer intensiven Zusammenarbeit mit Lehrstühlen an Universitäten und Hochschulen unter dem Dach des Bayerischen Forschungsverbundes BayÖkotox. Finanziert und begleitet wurde der Verbund vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. ■



# Was ist Ökotoxikologie?

Chemikalien spielen in unserem Alltag eine große Rolle. Welche Auswirkungen sie auf die Umwelt haben – das untersucht die Ökotoxikologie. Und zwar komplett: vom Einzeller bis zum Ökosystem, auf allen biologischen Ebenen. Ökotoxikologie ist somit eine Wissenschaft, die sich mit dem Eintrag von Chemikalien in Luft, Wasser und Boden beschäftigt, mit ihren Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen – und, das sei hinzugefügt: nicht auf den Menschen (das übernimmt die Humantoxikologie)! Anders gesagt: Ökotoxikologie betrachtet Auswirkungen auf Populationen in der Umwelt, Humantoxikologie auf jeden einzelnen Menschen.

Dabei können die erwähnten Wirkungen sowohl akut als auch chronisch sein. Akute Wirkungen treten unmittelbar auf und können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen oder gar tödlich sein. Sind sie chronisch, sorgen sie erst nach längerer Zeit beispielsweise für Wachstumshemmungen bei Algen oder Nierenschäden bei Fischen.

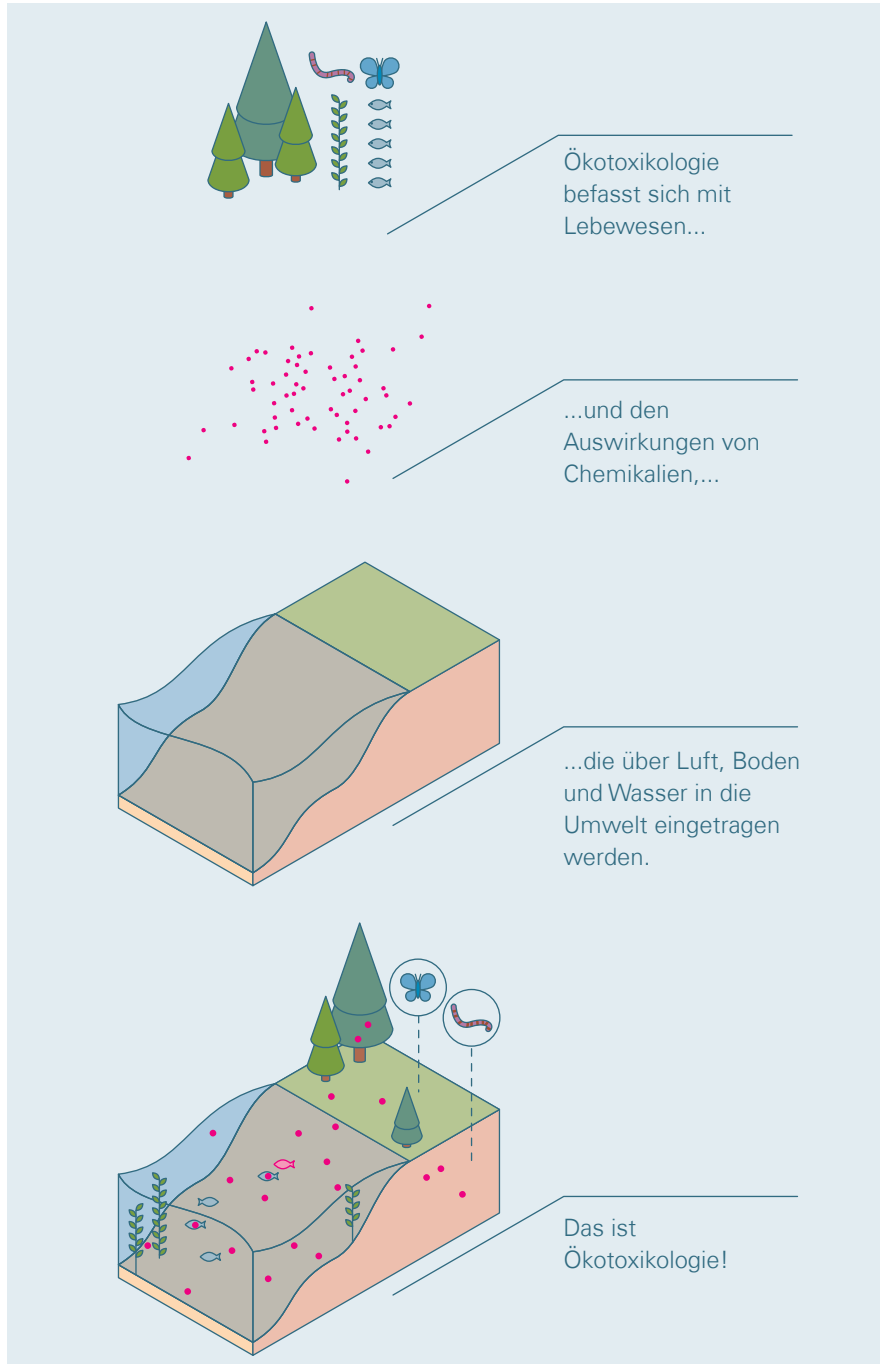
Zum Instrumentarium der Ökotoxikologie gehören:

- **Biotests**, wie sie auch im Bayerischen Landesamt für Umwelt durchgeführt werden,
- **Risikobewertungen**, woraus sich Empfehlungen zum Umgang mit

## Gut zu wissen:

Umweltrelevante Chemikalien sind vor allem:

- Pflanzenschutzmittel
- Industriechemikalien
- Biozide
- Arzneimittel
- Schwermetalle
- Umwandlungsprodukte



dem Risiko an den Gesetzgeber ableiten, und

- **Vorschläge für Maßnahmen zur Regulierung**, deren Palette von Überwachungen, Emissionsbegrenzungen bis hin zu Beschränkungen und schließlich Verboten reichen kann. ■

Grafik 2: Unsere Grafik zeigt die unterschiedlichen Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen und will eine bildliche wie anschauliche Antwort auf die Frage geben: Was ist eigentlich Ökotoxikologie?



# Alle Chemikalien können gefährlich sein – unter bestimmten Bedingungen

## ÜBER UMWELTRELEVANTE EIGENSCHAFTEN VON CHEMIKALIEN

Von jeder Chemikalie kann eine Gefahr ausgehen – doch ein Schaden kann nur dann entstehen, wenn Lebewesen einer schädigenden Dosis ausgesetzt werden. Oder, wie es in der Fachsprache heißt: exponiert sind. Wie hoch diese Dosis für einen Organismus im Einzelfall ist, kann durch Biotests bestimmt werden. Was Biotests sind und wie sie für die Bewertung von Chemikalien eingesetzt werden, wird im folgendem Kapitel genauer beschrieben.

Mit den Ergebnissen solcher Biotests und anhand von chemischen und physikalischen Eigenschaften können Ökotoxikologen die Umweltrelevanz

einer Chemikalie einschätzen und das Risiko für die Umwelt bewerten.

### Toxizität

Die Toxizität einer Chemikalie kann meist nicht durch den Blick auf die chemische Struktur eines Stoffes abgeleitet werden; dafür sind Biotests mit realen Organismen notwendig. Denn Biotests offenbaren, welche konkreten gesundheitlichen Beeinträchtigungen in einem Ökosystem ab welcher Dosis zu erwarten sind – ob zum Beispiel die Leber eines Fisches geschädigt oder die Embryonalentwicklung oder Fortpflanzungsfähigkeit einer Spezies gehemmt wird.

Man unterscheidet zwischen akuter Toxizität und chronischer Toxizität. Ist ein Stoff akut toxisch, treten schädigende Effekte oder gar der Tod eines



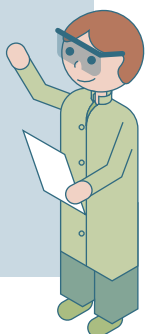
Abb. 1: Gefährliche Chemikalien werden mit Gefahrensymbolen markiert.

Schadstoff	Verwendung	Empfindlichste Spezies	LC 50 in µg/L
Parathion	Insektizid; seit 2001 in der EU nicht mehr zugelassen	Amerikanischer Flusskrebs	0,04
6PPD-Chinon	Abbauprodukt eines Reifenadditivs	Silberlachs	0,08
Mirex	Insektizid; seit 2004 weltweit verboten	Flusskrebs	0,10
Chlorpyrifos	Pflanzenschutzmittel; seit 2020 nicht mehr in der EU zugelassen	Seeflohkrebs	0,11
Cadmium	Schwermetall; in vielen Produkten enthalten	Regenbogenforelle	0,35

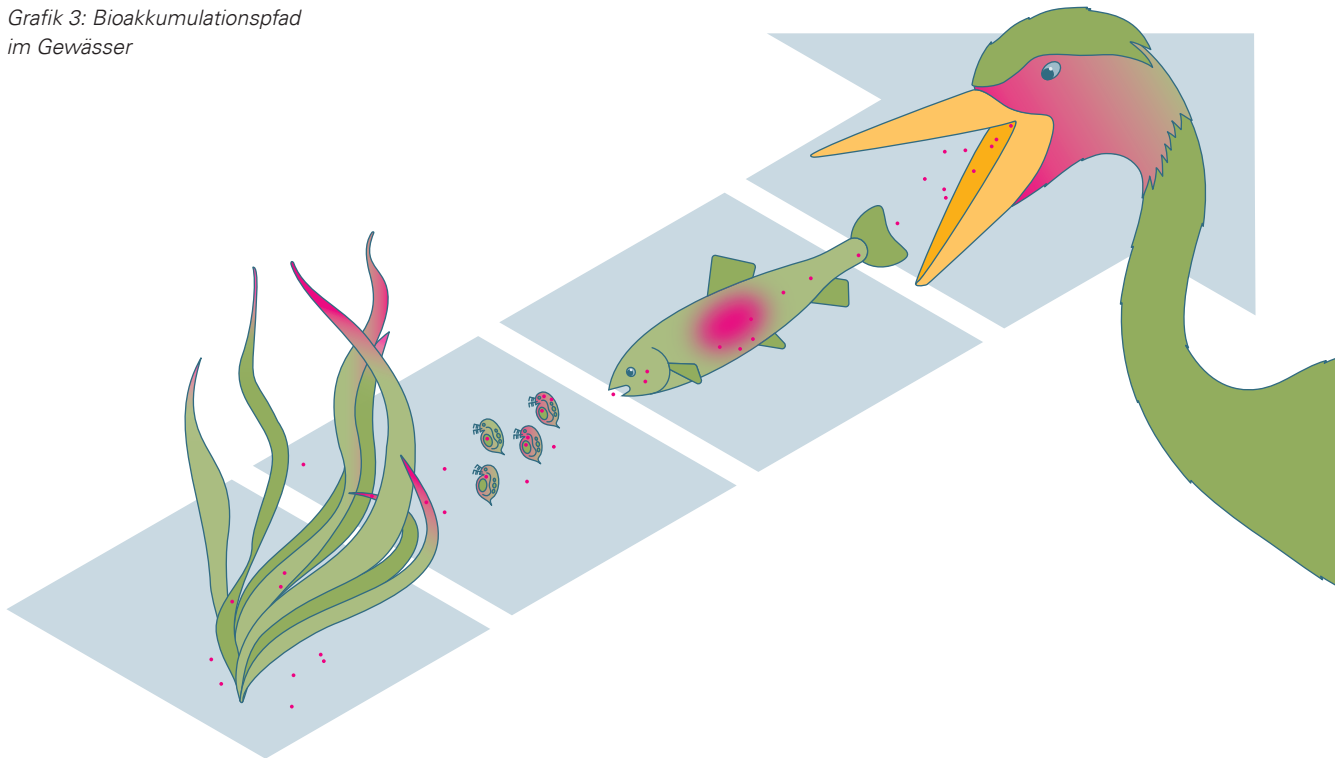
Tabelle 1: Liste sehr giftiger Chemikalien für aquatische Lebewesen; je niedriger die LC50, desto giftiger ist der Stoff.

### Gut zu wissen:

Die LC50 (lethal concentration) bezeichnet die Konzentration eines Stoffes, die bei der Hälfte der Tiere innerhalb des Untersuchungszeitraums zum Tode führt.



Grafik 3: Bioakkumulationspfad  
im Gewässer



Lebewesens nach kurzzeitiger Exposition auf, im Biotest in der Regel nach bis zu maximal 96 Stunden. Bei der chronischen Toxizität tritt eine schädigende Wirkung nach langfristiger Gabe auch deutlich unterhalb der Dosis einer akuten Wirkung auf. Insbesondere Stoffe, die in Kläranlagen nicht oder nur schlecht abgebaut werden können wie bestimmte Arzneimittel oder Süßstoffe, Einleitungen von Industrieabwasser oder Einträge von Pflanzenschutzmitteln spielen bei Risikobewertungen in der Praxis eine Rolle.

Häufig sind Stoffe nicht für alle Organismen innerhalb der Nahrungskette gleich toxisch. So kann es vorkommen, dass die Dosis eines Unkrautbekämpfungsmittels (Herbizid), bei der keine schädigenden Effekte beobachtet werden (der sogenannte NOEC-Level), für Grünalgen tausendmal niedriger ist als für Fische, weil die herbizide Wirkung z. B. auf der Hemmung der Photosynthese beruht. Für die Ableitung von gesetzlichen Grenzwerten im Gewässer stützt man sich auf die empfindlichste Spezies, in diesem Fall auf die Grünalgen und

berücksichtigt zusätzlich einen geeigneten Sicherheitsfaktor (mehr dazu auf Seite 16).

## Bioakkumulation

Bioakkumulation bezeichnet die Anreicherung von Schadstoffen im Organismus. Dabei sind zwei Aufnahmewege möglich: Zum einen werden Schadstoffe aus dem umgebenden Medium wie Wasser oder Boden über Kiemen bzw. Haut aufgenommen. Zum anderen können sie sich im Lauf der Nahrungskette in Organismen immer mehr anreichern (Grafik 3). Das Ergebnis beider Anreicherungsprozesse zusammen ergibt die Bioakkumulation. Bioakkumulierend sind insbesondere deutlich fettlösliche Schadstoffe wie einige mittlerweile verbotene Insektizide, aber auch Quecksilber, das in den Gewässern aufgrund von mikrobiellen Umwandlungsprozessen überwiegend als fettlösliches Methylquecksilber vorliegt. Sie reichern sich in Fischen oder Säugetieren, die sich von Fischen ernähren, an und können dort im Laufe der Zeit zum Teil toxikologisch relevante Gehalte erreichen.

Den Biokonzentrationsfaktor eines Stoffes bestimmt man experimentell meist an Fischen bzw. im Boden an Regenwürmern. Er gibt das Verhältnis zwischen der Konzentration eines Stoffes im Körper eines Organismus und dem umgebenden Bezugsmedium, also Wasser oder Boden wieder.

Das Bioakkumulationspotential eines Stoffes bestimmt man idealerweise experimentell in Anreicherungstests mit aquatischen Organismen, oder man schätzt es mit dem im Labor bestimmten Octanol-/Wasser-Verteilungskoeffizienten ab.

Dabei dient Octanol als Modellsubstanz für das Fettgewebe, in dem sich die Schadstoffe anreichern. Octanol vermischt sich nicht mit Wasser. Gibt man nun die Chemikalie dazu und schüttelt den Octanol-Wasser-Ansatz, sammelt sich die Substanz je nach Grad ihrer Fettlöslichkeit überwiegend in der Octanol-Phase und zeigt damit ihre potenziell bioakkumulierende Wirkung an.

## Persistenz

Persistente Stoffe sind wegen ihrer schlechten Abbaubarkeit besonders langlebig und verbleiben deshalb lange – zum Teil Jahrhunderte – in unserer Umwelt. Sie weisen häufig ähnliche Strukturmerkmale auf. Ihre Moleküle sind häufig symmetrisch und bieten damit wenig Angriffspunkte für Sauerstoff und oxidierend wirkende Stoffe. Oft sind es auch aromatische Ringverbindungen, die eine hohe chemische Stabilität aufweisen. Zusätzlich verfügen viele der Schadstoffe über Kohlenstoff-Halogenbindungen; dabei gilt besonders die Kohlenstoff-Fluor-

Bindung als die chemisch stabilste Bindung überhaupt, die nur unter drastischen Bedingungen im Labor geknackt werden kann (mehr über fluorhaltige Verbindungen auf Seite 27).

Um die Langlebigkeit eines Stoffes zu bestimmen, misst man seine Halbwertszeiten in Süß- und in Meerwasser und die Abbauezeiten im Boden.

## Mobilität

Mobilität beschreibt die Verteilung eines Stoffes in der Umwelt, also seine Fähigkeit, Umweltmedien zu passieren und z. B. nach Eintrag in den Boden bis in das Grundwasser zu gelangen. Dabei haften mobile Stoffe wegen ihrer in der Regel guten Wasserlöslichkeit nicht oder nur wenig über Adsorption an Bodenpartikel und versickern deshalb leicht. Auf diese Art werden sie über lange Strecken transportiert und gelangen bis ins Grundwasser. Da sie nicht oder kaum an Aktivkohle binden, können sie auch in der Trinkwasseraufbereitung nur mit hohem Aufwand entfernt werden.

Um das Kriterium Mobilität näher zu definieren, bestimmt man das Verhältnis der Konzentration eines Stoffes im Boden zur Konzentration im Wasser im Gleichgewicht. Dieses Verhältnis bezeichnet man als Adsorptionskoeffizienten. ■

„Gott schuf 91 Elemente, der Mensch etwas mehr als ein Dutzend und der Teufel eines: das Chlor“ – so brachte es vor dem Hintergrund der Diskussion um die von der Chlorchemie ausgehenden Gefahren der Umweltwissenschaftler Otto Hutzing im Jahr 1990 auf den Punkt. Heute würden wohl die meisten Ökotoxikologen ohne zu zögern das Fluor hinzufügen.

### Gut zu wissen:

Mobile Stoffe haben in der Regel im Gegensatz zu akkumulierenden Stoffen Strukturelemente, die eine gute Löslichkeit im Wasser ermöglichen. Beispiele dafür sind der Korrosionsinhibitor Benzotriazol in Spülmaschinentabs oder auch der Süßstoff Acesulfam K. Sie gelangen über Kläranlagen in die Gewässer und können von dort durch Versickerung unser Grundwasser erreichen.

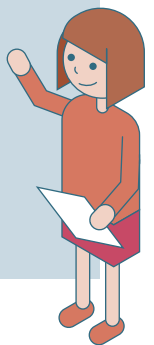


Abb. 2: Im Boden sind Stoffe wegen der hohen Bakterien-dichte häufig deutlich besser abbaubar als in Gewässern!



Abb. 3: *Daphnia magna* – der Große Wasserfloh

Abb. 4: Daphnienzucht im Becherglas; die Grünfärbung wird durch Futteralgen hervorgerufen

## Biotests

### DER TOXIZITÄT CHEMISCHER SUBSTANZEN AUF DER SPUR

#### Der Biotest

Der Biotest wird an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen durchgeführt. Er simuliert zum einen das Auftreten von Chemikalien in der Umwelt, im Wasser, im Boden oder in der Luft, und zum anderen den Schaden, den sie an einer Population verursachen können.

Biotests stellen einen zwingenden Teil der Risikobewertung für Chemikalien dar und sind die Grundlage für die Ableitung von Grenzwerten – und das europaweit.

Für die Durchführung von Biotests gibt es einheitliche Vorschriften: Alle Labore halten dieselben Abläufe ein und garantieren damit ein einheitliches

und nachvollziehbares Ergebnis. Weil 70 bis 80 Prozent der Tiere auf der Erde im Wasser leben und dabei in einem besonders intensiven Austausch mit ihrer Umgebung stehen, werden aquatische Biotests am häufigsten angewendet. Biotests können aber auch an Bodenbewohnern wie Würmern oder Käfern durchgeführt werden; dies ist beispielsweise bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln der Fall.

Je größer die Produktionsmenge einer Chemikalie, umso gründlicher müssen Risiken im Vorfeld abgeschätzt werden. In diesem Rahmen sind dann Biotests an wichtigen Vertretern der Nahrungskette im Gewässer vorgeschrieben, zum Beispiel an Algen, Kleinkrebsen und Fischen.

Im Biotest geschieht dies real und „live“, mit ausreichend vielen Organismen, damit zufällige Streuungen das Ergebnis nicht verfälschen. Bei allen Tests hat man eine Gruppe mit Lebewesen, die keiner Chemikalie ausgesetzt sind. Das ist die Kontrollgruppe. Sind diese am Ende des Versuchs nicht gesund und unversehrt, stimmt etwas nicht und der Biotest muss wiederholt werden.

#### Der Daphnientest

Daphnientests kennen zwei Verfahren: Beim Akutttest werden je zehn sehr junge Daphnien (maximal einen Tag

#### Unsere Hauptdarstellerinnen:

Daphnien leben in Seen und Tümpeln, sie ernähren sich von Grünalgen, die sie mit ihren Antennen in ihren Mund schieben. Sie werden deshalb häufig als Testtiere verwendet, weil sie einfach zu kultivieren sind und sensibel auf kleinste Schadstoffmengen reagieren können. Und: Die meisten Daphnien sind Weibchen, also gewissermaßen eine Mädelsclique, die zudem zu etwas ganz Besonderem fähig ist: Daphnien vermehren sich jungfräulich. Nur wenn die Umweltbedingungen schlecht sind, entwickeln sich männliche Nachkommen. Durch eine sexuelle Befruchtung entstehen sogenannte Dauereier. Diese sind so widerstandsfähig, dass sie viele Jahre unabhängig von ungünstigen Umwelteinflüssen überleben können: die Überlebensversicherung der Daphnien!

alt) auf vier Bechergläser verteilt; nach in der Regel 48 Stunden werden die schwimmunfähigen und gestorbenen Tiere registriert. Beim chronischen Test – hier enthält jedes Becherglas ein Tier – werden über 21 Tage lang die Nachkommen gezählt.

Blicken wir zunächst auf den Akuttest – er steht am Anfang der Stoffbewertung. Da in der Regel nicht vorhersehbar ist, welche Dosis schädigend ist, werden Bechergläser mit unterschiedlichen Konzentrationen der Chemikalie vorbereitet. Dabei erstreckt sich der Konzentrationsbereich von hohen Stoffmengen, wie sie bei Havarien oder Unfällen auftreten können, bis hin zu niedrigeren, abwasserüblichen Konzentrationen.

Im Rahmen des Akuttests werden die Daphnien auf die bereits erwähnten Becher verteilt und über zwei Tage lang beobachtet. Gesunde Daphnien sind unermüdlich in Bewegung. Sind die Tiere schwimmunfähig oder träge, sind sie unwiderruflich beeinträchtigt. Es können mitunter auch tote Tiere beobachtet werden. Nach zwei Tagen wird die Konzentration bestimmt, bei der die Hälfte der Tiere schwimmunfähig oder tot ist. Man bezeichnet diese Dosis auch als EC50, die Effektkonzentration, welche die Hälfte der Tiere schädigt, also schwimmunfähig macht oder gar tötet.

Aussagekräftiger in Bezug auf Langzeitschäden sind die chronischen Tests. Sie orientieren sich nicht an Extremereignissen, sondern an 100- bis 1000-fach niedrigeren Stoffkonzentrationen, wie sie beispielsweise im Gewässer auch durch Abwassereinträge oder durch Anreicherung von Schadstoffen auftreten können – denn Lebewesen im Wasser können Schadstoffen nicht ausweichen. Auch wenn eine Schädigung nicht sofort auftritt, kann irgendwann ein Punkt erreicht werden, an dem negative gesundheitliche Effekte nicht mehr kompensiert werden

können. Daphnien schränken dann ihre Fortpflanzung ein. Für chronische Tests werden je zehn gerade einmal 24 Stunden alte Tiere pro Konzentration benötigt, die einzeln auf kleine Bechergläser verteilt werden. Die Zahl ihrer Nachkommen wird, wie bereits erwähnt, 21 Tage lang protokolliert.

Für die weitere Risikobewertung eines Stoffes stellen die EC10 oder die NOEC das wichtigste Maß dar – und sind die Grundlage für die Ableitung von Grenzwerten wie die Umweltqualitätsnormen für Seen und Flüsse (mehr dazu ab Seite 16).

Der Daphnientest hat einen Hauptdarsteller: *Daphnia magna* – der große Wasserfloh. Dieser gehört zur Gattung der Kleinkrebse, seine Bewegungen sind hüpfend, so mancher sagt gar: **niedlich!**

Grafik 4: Ablauf eines akuten Daphnientests

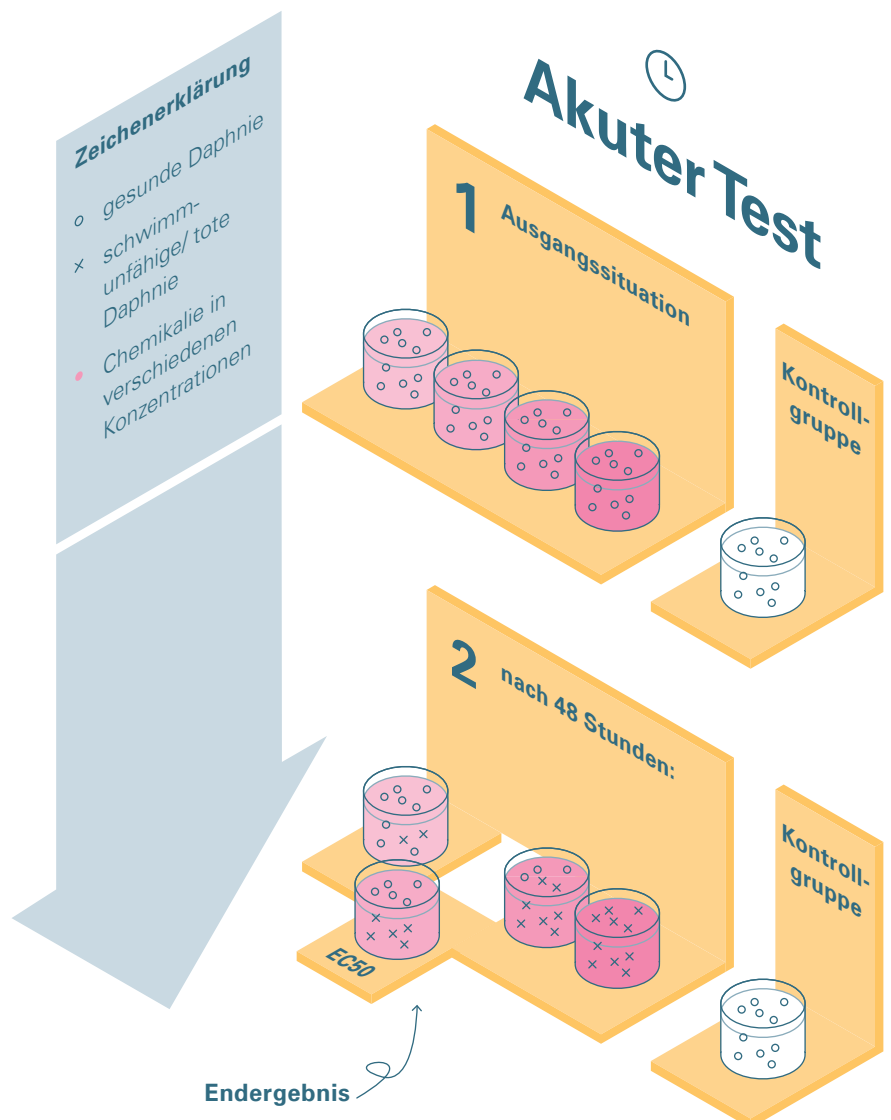
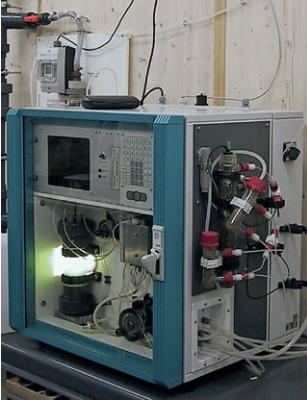


Abb. 5: Das Daphnientoximeter in Jochenstein an der Donau: In der hell erleuchteten Zelle leben zehn Daphnien.



Fazit: Ob akuter oder chronischer Test – es stehen immer mehrere Konzentrationen auf dem Prüfstand. Für Ökotoxikologen ist dabei der chronische Test aussagekräftiger, denn er erfasst Langzeiteffekte. Aus den Biotestergebnissen lassen sich die bereits erwähnten Umweltqualitätsnormen für Gewässer ableiten, deren Einhaltung Behörden an vielen Messstellen in Flüssen und Seen überwachen.

### Alles im Fluss

An der Grenze zu Österreich, in Jochenstein an der Donau, steht eine Gewässergütemessstation mit einem

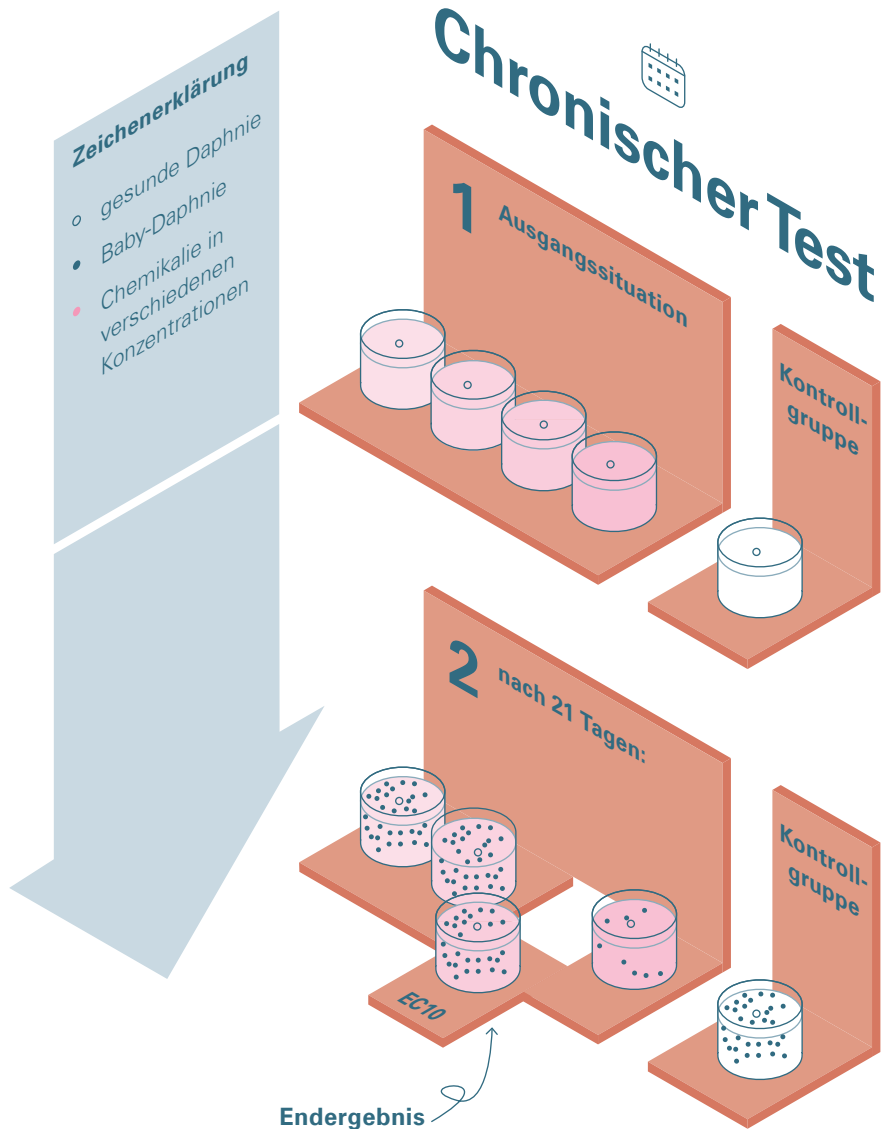
Daphnientoximeter – es sorgt gewissermaßen für Live-Bilder aus dem Fluss. In einem Behälter, in den kontinuierlich Donauwasser eingespeist wird, leben zehn Daphnien. Anders als in den Labor-Biotests, bei denen nur ein einzelner Stoff im Visier ist, können in Flüssen und Seen verschiedenste Chemikalien vorhanden sein und zu Mischungstoxizitäten führen. Eine Kamera zeichnet die Bewegungen der Tierchen auf, sie stehen somit unter ständiger Beobachtung. Werden die Bewegungen langsamer, wird Alarm ausgelöst – was allerdings zum Glück äußerst selten passiert. ■

Grafik 5: Ablauf eines chronischen Daphnientests

#### Gut zu wissen:

Eigentlich ist das Ziel des chronischen Tests, die NOEC (No Observed Effect Concentration) zu bestimmen, die Konzentration, bei der auch längerfristig kein schädigender Effekt auftritt. Da es jedoch schwierig ist, diesen Wert abzuspannen, weicht man häufig auf die EC10 aus. 10% weniger Daphnien-Babys als in der Kontrollgruppe (s. Grafik 5) ergeben

die EC10 - die Effektkonzentration, bei der ein Zehntel der Tiere eine Schädigung erleidet.



# Wenn im Feld alles zusammenkommt

## ÜBER ÖKOTOXIKOLOGISCHE FORSCHUNG AN INSEKTEN IN BAYERN

Bei der Reise durch das Gebiet der Ökotoxikologie – so wie sie in dieser Broschüre unternommen wird – treffen wir Leser Naheliegenderes und Unbekanntes, bekommen Zusammenhänge und Hintergründe erklärt, blicken auf Gefahren und Risiken wie auf Chancen und Fortschritte. Wir lernen jetzt, dass die Vielfalt von Stoffen für Kombinationseffekte sorgen kann. Dies nennt man Mischungstoxizitäten. Diese wecken, notwendigerweise, zunehmend das Forschungsinteresse der Ökotoxikologie. Wie zum Beispiel an der Universität Würzburg, die gemeinsam mit den Universitäten Bayreuth und Regensburg und der Hochschule Coburg am Bayerischen Forschungsverbund BayÖkotox beteiligt war.

Am Lehrstuhl für Verhaltensphysiologie und Soziobiologie in Würzburg wurden die Mischungstoxizitäten von Pflanzenschutzmitteln untersucht: mit Honig- und Wildbienen in der Hauptrolle. Sarah Manzer und Antonia Schuhmann, beide Doktorandinnen am Biozentrum der Universität Würzburg, wollten vor allem wissen: Was passiert, wenn mehrere Pflanzenschutzmittel gleichzeitig auf den Körper von Honigbienen und Wildbienen wie Hummeln einwirken? Und wie könnte man ein Testscenario gestalten, das sowohl die einzelne Biene als auch ganze Völker und deren Entwicklung im Blick hat?

## Fluch und Segen von Pestiziden

Raps ist eine anspruchsvolle Kulturpflanze, mit einer relativ langen Blütezeit von drei bis fünf Wochen. Die Liste der Schädlinge und Pilzerkrankungen

Wer Interesse an den genauen Forschungsergebnissen des Bayerischen Forschungsverbunds BayÖkotox hat, findet diese unter:

[www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de) >  
**Analytik und Stoffe >**  
**BayÖkotox > Projekt-**  
**verbund**

*Abb. 6: Bienenvölker im Freilandversuch mit Pollenfalle und eigener Stockwaage.*





Abb. 7: Die Entwicklung der Bienenvölker wurde regelmäßig kontrolliert und dabei das Gewicht der Brut, der Pollen und des Honigs in den Waben geschätzt.

**Mospilan® ist ein Insektizid, das in die Pflanze eindringt und als Fraß- und Sauggift gegen den Rapsglanzkäfer wirkt, und Cantus Gold® ist ein Fungizid, das gleich zwei Wirkstoffe enthält, die im und auf dem Blatt die Sporeneimung der Pilze hemmen.**

### Gut zu wissen:

Unter den Oberbegriff Pestizide fallen Insektizide gegen Insekten, Fungizide gegen Pilze, Herbizide gegen Unkräuter, Bakterizide gegen Bakterien, Rodentizide gegen Nager und vieles mehr. Die Wirkstoffe aus Pestiziden werden sowohl in Pflanzenschutzmitteln als auch in Bioziden eingesetzt, also beispielsweise in Desinfektionsmitteln, Rattengift oder Holzschutzmittel.



im Rapsanbau ist sehr lang. Verheerend sind der Rapsglanzkäfer, der sich von den Pollen der Blütenknospen ernährt, und die Weißstängeligkeit, ein Pilz, auch Rapskrebs genannt, der sich vom unteren Stängel bis in die Blätter frisst und die Pflanze regelrecht von innen aushöhlt. Zum Standardrepertoire im Rapsanbau zählen Insektizide und Fungizide, die einzeln oder kombiniert aufs Feld aufgebracht werden müssen, um die Pflanze während der Blütezeit zu schützen.

Um negative Wirkungen auf die Umwelt zu minimieren werden Pestizide bei ihrer Zulassung in bienengefährliche und bienenungefährliche Wirkstoffe eingeteilt. Damit gehen strenge Vorschriften für das Ausbringen einher. So dürfen bienengefährliche Wirkstoffe nur in den Abendstunden nach dem Flug der Honigbiene ausgebracht

werden und nicht in die geöffnete Blüte. Unberücksichtigt bleibt bei den Einstufungen der Einfluss auf andere Bestäuber wie Wildbienen, die noch in den Abendstunden unterwegs sein können, und die Wirkungen auf Bodenbewohner wie Käfer und Würmer.

### Das umfassende Testszenario

In Würzburg machten sich die Wissenschaftlerinnen an die Arbeit und stellten Mischungen mit feldrealistischen Konzentrationen her. Diese wurde dann dem Honig oder den Pollen beigemischt und gezielt verfüttert. Ob Sterblichkeit, die Gewichtsentwicklung der Larven, Lern- und Sammelverhalten der adulten Biene oder die Empfindlichkeit für Zuckerwasser – für jeden Test gab es eine Kontrollgruppe, die nicht mit belastetem Futter in Kontakt kam, und weitere Gruppen, an die nur das Insektizid, nur das Fungizid oder beides zusammen verfüttert wurde.

Um die Empfindlichkeit für Zuckerwasser zu testen, wurden Bienen in ein kleines Röhrchen geschoben, aus dem nur der Kopf herauschaute. Eine natürliche Reaktion der Honigbiene ist es, ihren Rüssel auszustrecken, wenn Zucker wahrgenommen wird. Ihre Antennen wurden nun für drei Sekunden mit schwach, mittel und stark süßen Zuckerlösungen berührt; es wurde notiert, wann die Bienen ihren Rüssel herausgestreckt hatten.

Die Empfindlichkeit für Zuckwasser spielt eine große Rolle beim Nektar-

### Was sind Mischungstoxizitäten?

Wirken verschiedene Substanzen auf ein Lebewesen ein, spricht man von Mischungstoxizitäten. Sie entstehen zum Beispiel, wenn mehrere Pflanzenschutzmittel als Tankmischung oder kurz hintereinander aufs Feld ausgebracht werden, oder auch zufällig durch Abdrift, wenn Sprühnebel auf benachbarte Felder geweht wird. Auch dann, wenn einzelne Substanzen in niedrigen, unwirksamen Konzentrationen vorliegen, kann die Mischung toxisch sein.

Dies kann zum einen der Fall sein, wenn die Stoffe ähnliche Effekte im Körper hervorrufen – ihre Wirkungen addieren sich dann, wie es z. B. bei den Spuren hormonhaltiger Arzneimittel im Kläranlagenablauf der Fall sein kann. Zum anderen kann es passieren, dass einer der Stoffe mit dem Entgiftungsmechanismus interagiert, so dass weitere Stoffe nicht mehr abgebaut werden können und ihre toxische Wirkung entfalten.



sammeln. Eine Beeinträchtigung dieser Fähigkeit könnte die Volksentwicklung gefährden, weil pro Sammelflug weniger nahrhafter Nektar aufgenommen wird. Im konkreten Fall spielte es keine Rolle, ob die Bienen vorher das Insektizid, das Fungizid, die Mischung oder nichts davon konsumiert hatten – ihre Empfindlichkeit für Zuckerwasser blieb erhalten.

Anders war es um das Sammelverhalten bestellt. Dazu wurde ein winziger Sender auf den Thorax von Honigbienen und Hummeln geklebt. Anschließend fütterte man sie eine Woche lang mit pestizidbelastetem Zuckerwasser und entließ sie in ihr Volk. Ein Scanner registrierte nun die Flugaktivitäten am Stockeingang. Erste Versuche zeigten, dass Bienen, die die Mischung aus Insektizid und Fungizid aufgenommen hatten, seltener zum Sammeln ausflogen – was spürbare Folgen für das Wohlergehen des Bienenvolkes haben kann. Zum Glück war dies nur bei zehnfach höher als im Feld realistischen Konzentrationen der Fall, die Anwendungsfehler bei der Ausbringung simulieren sollen. Dies zeigt, wie wichtig Sicherheitsfaktoren in der Ökotoxikologie sind. Dazu später mehr im Kapitel „Weg zur Risikobewertung“ (Seite 16).

## Generalisten und Spezialisten

Insgesamt hat sich in dieser Studie gezeigt, dass die negativen Effekte, die Pflanzenschutzmittel auf die einzelnen Bienen hervorriefen, keine negativen Auswirkungen auf das gesamte Bienenvolk hatten; die Wirkungen wurden also kompensiert. Doch nicht alle Tiere leben in großen Völkern; viele Wildbienen wie die Sandbiene sind solitär unterwegs, ebenso Käfer und Würmer. Hier besteht keine Möglichkeit, dass eine zusammenarbeitende Gruppe den negativen Effekt abpuffert. Wenn ein solitär lebendes Tier geschädigt wird, ist seine komplette nächste Generation in Gefahr.



Abb. 8: Ausflug unter Beobachtung: Ein millimeterkleiner RFID-Chip auf dem Rücken der Biene ermöglicht ein genaues Protokoll ihrer Flugzeiten.

Und zudem kann das Sammelverhalten, wie Sarah Manzer weiß, ebenfalls einen Einfluss haben: *„Die Honigbiene ist eine Generalistin und fliegt sehr viele verschiedene Blütenarten an. Dies kann zwar einerseits zu einer Akkumulation vieler verschiedener Pflanzenschutzmittel von unterschiedlichen Herkünften führen – im günstigsten Fall aber auch zu einem Verdünnungseffekt.“* Und Antonia Schuhmann fügt hinzu: *„Spezialisten, welche auf einzelne Blütenarten spezialisiert sind, können durch das Vorkommen von Pflanzenschutzmittel auf eben diesen Blüten und vor allem durch die Zerstörung der Blütenstandorte stark gefährdet werden.“*

Vieles davon, was die beiden Wissenschaftlerinnen aus Würzburg herausgefunden haben, ist noch im Detail zu erforschen und zu untersuchen. Mit der Etablierung standardisierter Testszenarien, die Mischungstoxizitäten von Pflanzenschutzmitteln erfassen, wäre zumindest ein Anfang gemacht. ■

Abb. 9: Die Antennen einer Biene werden mit Zuckerwasser stimuliert.



# Der Weg zur Risikobewertung

## AM BEISPIEL EINER ALLTÄGLICHEN SCHMERZTABLETTE

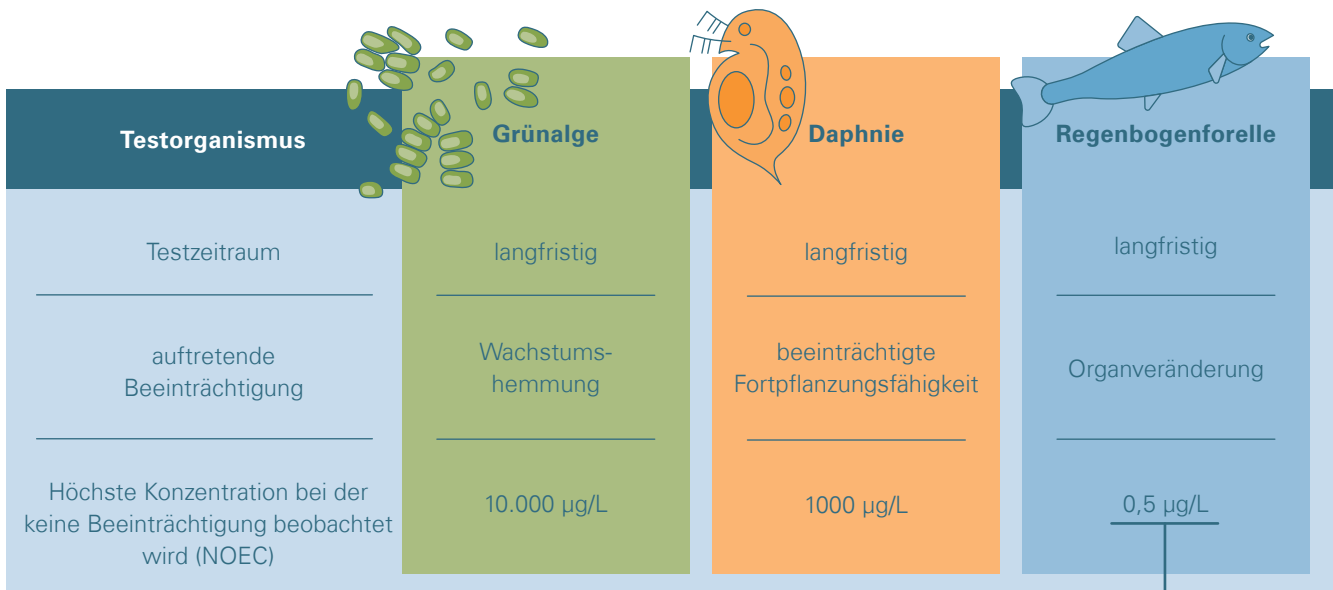
Allein in Deutschland werden jährlich rund 80 Tonnen Diclofenac verbraucht.

Renate Clever, nennen wir sie einmal so, leidet seit geraumer Zeit an Rheuma. Heute sind ihre Schmerzen wieder einmal unerträglich und sie nimmt eine Schmerztablette ein. Später am Tag besucht sie ihren Vater. Dieser erzählt ihr, dass sein Ellenbogen geschwollen ist und schmerzt, er hat sich heute Morgen am Türrahmen gestoßen. Ein Arztbesuch erscheint zunächst nicht erforderlich und Renate Clever besorgt in der Apotheke Schmerzgel und reibt ihrem Vater die schmerzende Stelle damit ein.

Als sie wieder nach Hause kommt, macht sie sich eine Tasse Tee und blättert in der Tageszeitung. Ein Artikel über die Verunreinigung von Gewässern durch Chemikalien interessiert sie – schließlich ist sie ein umweltbewusster Mensch und will wissen, wie es dazu kommen kann:

*Wasser ist Lebensraum und Lebenselixier für viele Pflanzen und Tiere. Als Trinkwasser ist es auch für uns Menschen unentbehrlich. Problematisch kann es werden, wenn im*

Grafik 6: Der Weg zu einer Umweltqualitätsnorm



Der niedrigste Wert ist maßgebend für den Grenzwert.

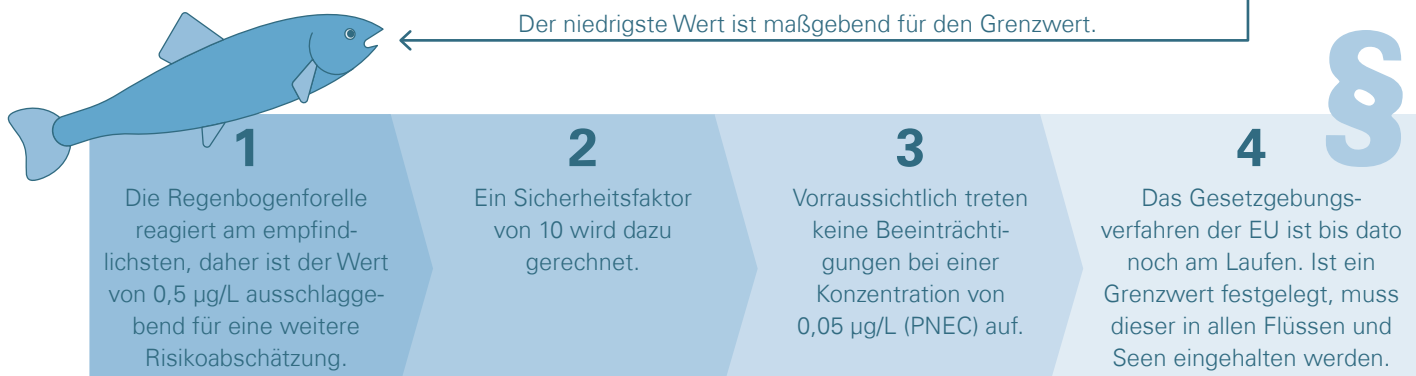




Abb. 10: Arzneimittel sind unverzichtbar

Wasser Stoffe gefunden werden, die dort natürlicherweise nicht vorkommen. Dabei haben Gewässerunreinigungen eine Vielzahl von Quellen. Zum einen können Schadstoffe über die Luft oder mit Niederschlägen in unsere Gewässer gelangen. Allerdings werden viele Schadstoffe auch unmittelbar aus dem Abwasser von Industrie und Haushalt in Flüsse eingetragen, weil sie in den Kläranlagen nur unzureichend abgebaut oder zurückgehalten werden können. Sind sie erst einmal im Gewässer, können sie unerwünschte Auswirkungen auf die dortigen Lebewesen haben.

Deshalb muss heutzutage eine neue Substanz hinsichtlich möglicher negativer Effekte untersucht werden, bevor sie auf den Markt gebracht wird – das geschieht mit Biotests. Grünalgen, Leuchtbakterien, Kleinkrebse wie Daphnien und Fische werden als Vertreter entlang der Nahrungskette in einem Fluss oder See für Tests herangezogen. Letztendlich geht es darum, Grenzwerte festzulegen, unterhalb derer jegliche schädliche Wirkung mit großer Sicherheit ausgeschlossen

werden kann. Einen solchen Grenzwert im Gewässer nennt man auch Umweltqualitätsnorm (UQN). Er gilt europaweit und muss dann auch eingehalten werden.

Das klingt alles ziemlich kompliziert, denkt sich Renate Clever. Aber sie versteht nun auch, dass Grenzwerte nicht willkürlich festgelegt werden, sondern sich aus Untersuchungen ergeben und Mensch und Umwelt schützen sollen. Denn dass Schadstoffe, die in den oberirdischen Gewässern sind, auch ins Grundwasser und manchmal sogar ins Trinkwasser gelangen können, hat

sie schon mal gelesen. Der Artikel geht aber noch weiter – und greift eine Begebenheit ihres Alltags auf:

Ein aktuelles Beispiel ist der Arzneimittelwirkstoff Diclofenac, der als schmerzlinderndes und entzündungshemmendes Medikament weit verbreitet ist. Als er 1973 auf den Markt kam, gab es noch keine verpflichtende Umweltrisikobewertung. Allein in Deutschland werden jährlich rund 80 Tonnen Diclofenac verbraucht. Während der Wirkstoff aus Tabletten im Körper zum größten Teil verstoffwechselt wird, wird bei der Anwendung von

#### Gut zu wissen:

In Deutschland gibt es inzwischen einige Kläranlagen, die über zusätzliche Reinigungsverfahren verfügen, mit denen Rückstände von Diclofenac und anderen Medikamenten aus dem Abwasser besser entfernt werden können.

Bayern wird im Rahmen der Umsetzung seiner Strategie „Wasserzukunft Bayern 2050“ die Nachrüstung von Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe vor allem an Standorten mit einer hohen Belastungssituation forcieren.

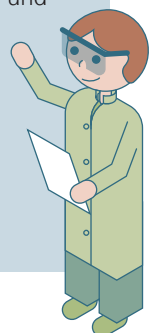




Abb 11: Abwasser aus Kläranlagen kann Spurenstoffe enthalten, unter anderem solche, die nicht biologisch abbaubar sind.

Die Umwelt- und Risikobewertung ist Bestandteil des Zulassungsverfahrens von Humanarzneimitteln und soll mögliche negative Auswirkungen für die Umwelt aufzeigen.

Cremeres das Meiste wieder abgewaschen. Da in der Kläranlage Diclofenac wiederum nur teilweise abgebaut wird, gelangt die Chemikalie über den Ablauf der Kläranlage letztendlich in unsere Gewässer.

Organismen keine schädlichen Effekte gibt, wird die NOEC noch durch einen Sicherheitsfaktor geteilt. Dieser kann 10, aber auch 100 oder mehr betragen, je nachdem, wie viele verschiedenen Organismen untersucht wurden. Die daraus abgeleitete PNEC (Predicted No Effect Concentration), also eine vorhergesagte Konzentration bei der sicher keine Wirkung mehr erwartet wird, ist schließlich maßgebend für Grenzwerte. Im Falle von Diclofenac liegt der EU-Kommission inzwischen ein Vorschlag für eine UQN von 0,04 µg/l vor. Entschieden wurde bisher noch nicht, aber es ist zu erwarten, dass in Zukunft eine Regelung erfolgt.

#### Gut zu wissen:

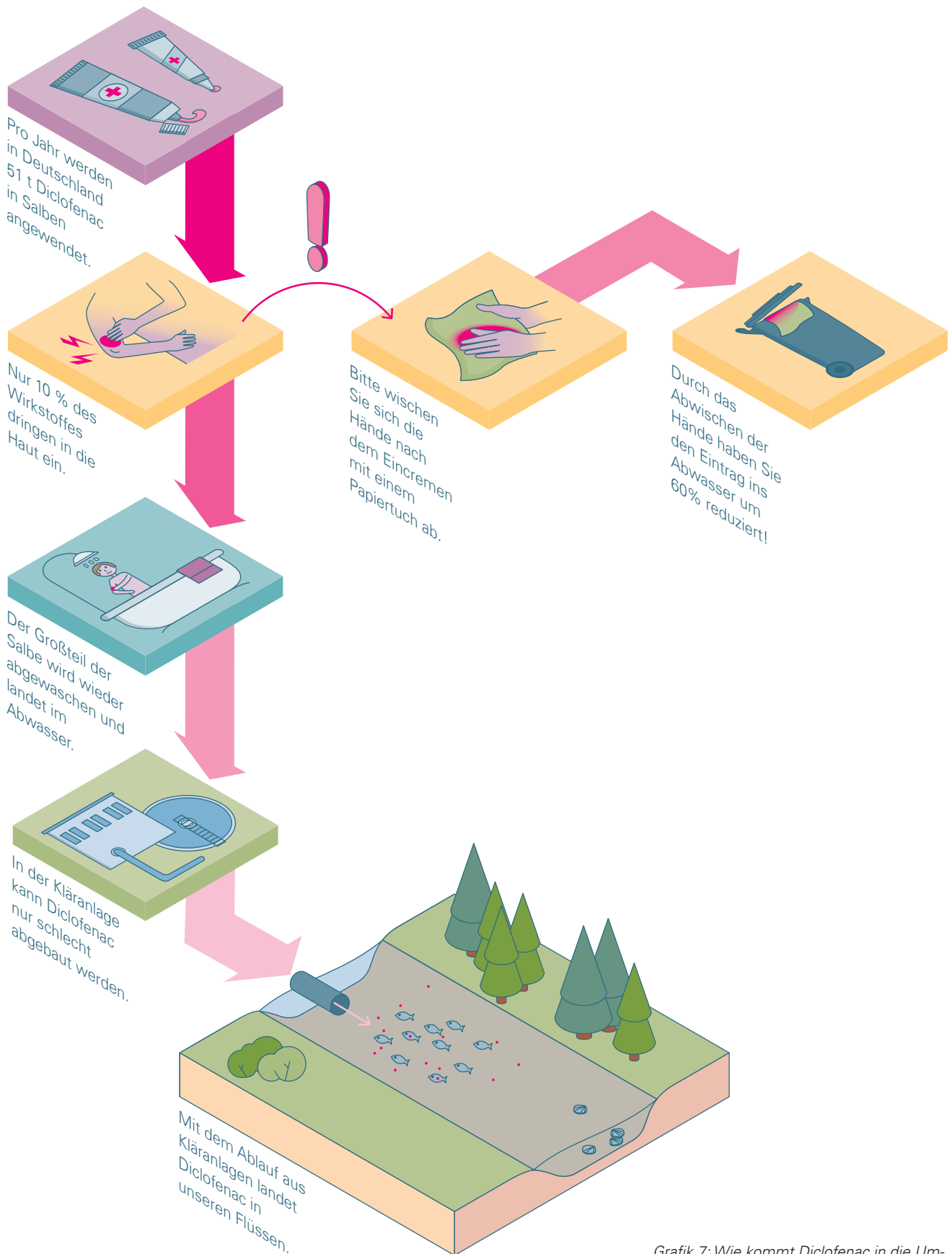
Seit 2021 gibt es ein Spurenstoffzentrum des Bundes. Dieses hat zum Ziel, gemeinsam mit Behörden, Industrie, Umwelt- und Wasserverbänden, Strategien zu entwickeln, wie in Zukunft unsere Gewässer und nicht zuletzt auch unser Trinkwasser vor Verunreinigungen noch besser geschützt werden kann.



Doch wie wurde man auf diese Substanz in der Umwelt aufmerksam? In Indien kam es in den 1990er-Jahren zu einem massenhaften Geiersterben mit unbekannter Ursache. Auf der Suche nach des Rätsels Lösung führte die Spur zu Diclofenac, das dort bei Rindern großzügig angewandt wurde. Da den Geiern die Kadaver der dort heiligen Kühe zum Fraß überlassen wurden, nahmen die Vögel Rückstände des Arzneimittelwirkstoffes über ihre Nahrung auf, was in kurzer Zeit bei den Tieren zu Nierenversagen führte. Als man in europäischen Gewässerproben Diclofenac vielfach nachweisen konnte, begannen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gezielt Untersuchungen an aquatischen Organismen durchzuführen.

Am empfindlichsten reagierten Regenbogenforellen auf Diclofenac. Erst bei 0,5 µg/L des Wirkstoffes im Wasser wurden keine Auswirkungen mehr festgestellt. Diesen Wert nennt man auch NOEC (No Observed Effect Concentration), also die Konzentration, bei der keine Veränderungen mehr beobachtet werden können. Um sicher zu gehen, dass es auch bei nicht untersuchten

Als Renate Clever den Artikel zu Ende gelesen hat, stellt sie fest, dass das Thema Umweltverschmutzung sehr komplex ist und es dabei nicht nur um Abfall und Industrie geht. Dass sie selbst mitverantwortlich sein könnte, hätte sie nicht gedacht. Doch welche Möglichkeiten gibt es zur Vermeidung? Dass man auf Medikamente nicht verzichten kann, ist klar. Aber sie wird in Zukunft noch bewusster damit umgehen und nicht mehr davon verwenden als wirklich notwendig ist. Jetzt versteht sie auch besser, warum ihr heute in der Apotheke empfohlen wurde, nach der Anwendung der Salbe erst mal vor dem Händewaschen die Hände gründlich mit einem Tuch abzuwischen und dieses im Restmüll zu entsorgen, da dieser in der Regel verbrannt wird. ■



Grafik 7: Wie kommt Diclofenac in die Umwelt und was kann dagegen getan werden?



Abb. 12: Fischsterben nach Starkregen

## Der Fall der Fälle

### NOTWENDIGKEIT UND GRENZEN DER RISIKOBEWERTUNG VON CHEMIKALIEN

Dezember 2020

In der renommierten Fachzeitschrift *Science* erscheint ein Artikel, der international für Aufsehen sorgen wird. Ein 27-köpfiges Team aus Wissenschaftlern hat die Ursache für ein wiederkehrendes Lachssterben an der Küste Nordamerikas aufgeklärt. Im Zentrum des Geschehens: die Meeresbucht bei Seattle, der Geburtsort und Laichplatz für Silberlachse. Sie schlüpfen dort im Frühjahr im Süßwasser und wandern dann in die Weiten des Pazifiks. Geschlechtsreife Tiere kehren in die verzweigte Bucht zurück, um zu laichen.

Doch die Bucht ist keine unberührte Naturlandschaft, sie ist durchzogen von städtisch geprägten Kanälen und Brücken. Immer öfter war zu beobachten, wie die zurückgekehrten Tiere orientierungslos im Fluss schwammen, nach Luft schnappten und schließlich verendeten, bevor sie ihre Eier ablegen konnten. Der Populationsrückgang war derart verheerend, dass der Silberlachs an der Küste in weniger als fünf Jahrzehnten ausgestorben wäre. Die

Wissenschaftler stellten zudem fest, dass das Fischsterben vermehrt im Herbst auftrat, nach Überflutungen durch Starkregen und sie erfanden den Begriff „Urban runoff mortality syndrom“ dafür.

Das Team aus Biologen und Chemikern analysierte das Gemisch, wahrlich eine Herkulesaufgabe – und am Ende war klar: Die toxische Wirkung auf Silberlachse lässt sich auf den Abrieb von Autoreifen zurückführen. Der todbringende Stoff: ein Chinon, das von 6PPD, einem Zusatzstoff in Autoreifen, stammt. Mit einer LC50 von 0,08 µg/L artspezifisch für junge Silberlachse, reiht sich das 6PPD-Chinon ein in die TOP 5 der giftigsten Chemikalien für Wasserlebewesen (siehe Tabelle auf Seite 7).

Doch die Erleichterung über die Aufklärung in puncto Reifen paart sich mit Unbehagen und dringlichen Fragen: Können Risiken von Chemikalien wirklich derart übersehen werden? Darf das sein – vor allem dann, wenn sie in Alltagsprodukten enthalten sind?

### Die Antworten der Ökotoxikologie

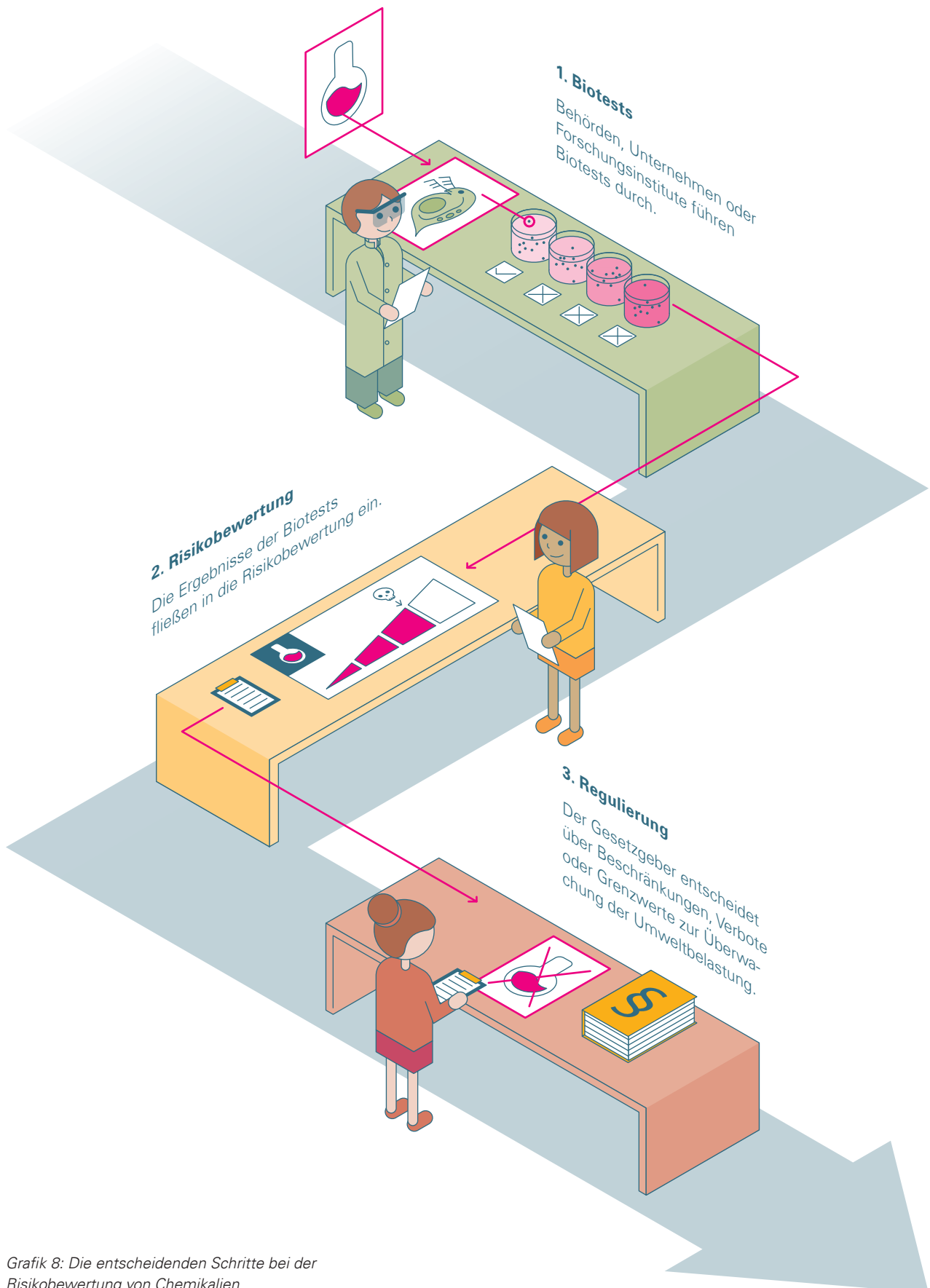
Lenken wir den Scheinwerfer von Seattle nach Europa: Hier wurde 2006 von der Europäischen Union (EU) das strengste Chemikaliengesetz der Welt geschaffen; sein Name: REACH (**R**egistrierung, **E**valuierung, **A**utorisierung von **C**hemikalien). Es verpflichtet Hersteller und Produzenten von Chemikalien zu einer Bringschuld,

**Stichwort Starkregen:** Städtisches Regenwasser enthält einen wilden Mix aus über 2.000 Stoffen wie Metalle, kleinste Lack- und Farbpartikel, Brems- und Kühlflüssigkeiten, Motorenöl, Reifenabrieb, Feinstaubpartikel, Herbizide aus der Behandlung von Grünstreifen und Biozide aus Baumaterialien.

#### Gut zu wissen:

Die LC50 (lethal concentration) bezeichnet die Konzentration eines Stoffes, die bei der Hälfte der Tiere innerhalb des Untersuchungszeitraums zum Tode führt.





Grafik 8: Die entscheidenden Schritte bei der Risikobewertung von Chemikalien

gemäß des Grundsatzes „No data, no market“: Bevor Chemikalien auf den Markt kommen, müssen Daten zu ihrer Gefährlichkeit vorliegen und Biotests sind durchzuführen – Tests an realen Lebewesen, an Fischen, Daphnien und Algen beispielsweise (darüber mehr ab Seite 10 dieser Broschüre). Die Ergebnisse sind Rückgrat wie Fundament der Risikobewertung und werden der Europäischen Chemikalienagentur übermittelt, die sie öffentlich bereitstellt, für jeden einsehbar.

Erstmal vollkommen frei von Überlegungen zum Nutzen einer Chemikalie für die Gesellschaft oder vom Vorhandensein von Alternativen werden damit Antworten gesucht unter anderem auf diese Fragen:

- Welche Menge ist in Flüssen und Bächen vertretbar, im Boden und in der Luft, ohne die dortigen Lebewesen zu schädigen?
- Wird sich der Stoff in der Umwelt anreichern?
- Kann der Stoff ins Grundwasser gelangen?

Haben die Ökotoxikologen die Antworten gefunden, nehmen sie ihren Weg zum Gesetzgeber. Er entscheidet über den Umgang mit Nutzen und Risiko, ob der Stoff verboten wird oder ob die Freisetzung eingeschränkt werden muss; durch Filteranlagen oder haus-eigene Kläranlagen beispielsweise.

#### Gut zu wissen:

6PPD-Chinon bindet stark an Staub und Bodenpartikel. Dies macht man sich bei der Biofiltration von Regenwasser zunutze. Erdgräben entlang Verkehrsstraßen, mit Boden, Pflanzen und Mulch befüllt, halten einen großen Teil des Straßenabriebs zurück.

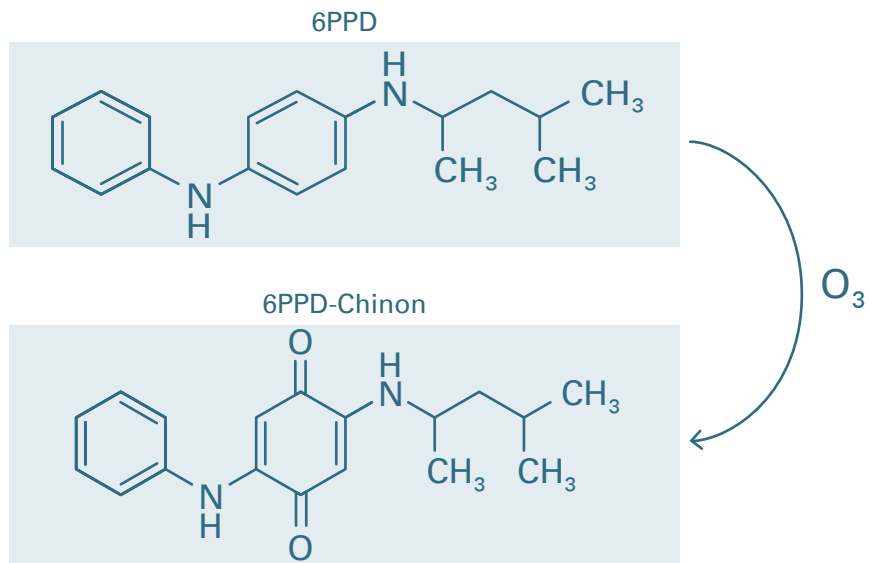
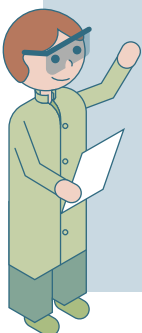


Abb. 13: Für Chemiebegeisterte!

Der Gesetzgeber entscheidet auch, ob der Stoff in Überwachungsprogramme aufgenommen wird und sein Vorkommen regelmäßig in Flüssen und Seen kontrolliert wird, wie dies für prioritäre Stoffe der Fall ist.

Prioritäre Stoffe sind jene Stoffe, die für Mensch und Umwelt so gefährlich sind, dass für ihre Verringerung vorrangiger Handlungsbedarf besteht. Alle EU-Mitgliedsstaaten müssen 45 Stoffe in Flüssen und Seen überwachen; Deutschland hat sich entschieden, zusätzlich für weitere 67 Schadstoffe eine gesetzliche Überwachungspflicht einzuführen.

### Kunststoffadditive im Visier der Ökotoxikologie

Auch für den in Seattle ermittelten Reifenzusatzstoff – seit 1970 unter der Abkürzung 6PPD im Handel – gibt es ein solches REACH-Dossier. Er ist einer von über 10.000 bekannten Kunststoffzusätzen, hat ein Produktionsvolumen von über 100.000 Tonnen jährlich und wird im Fachjargon Additiv genannt. Additive sind Problemlöser. Sie sorgen beispielsweise dafür, dass unsere Balkonmöbel Regen und Sonne standhalten, sie machen Lacke wasserfest und Konsolen weniger entflammbar,

kurzum sie sind die Antwort auf alles, was die Haltbarkeit und Funktionalität von Kunststoffen gefährden könnte und sind somit handfester Bestandteil unseres Alltags.

Auch 6PPD, das mit einem Anteil von bis zu 2 % weltweit jedem Reifengummi beigemischt wird, hat solch einen Auftrag. Er lautet: Ozon abzufangen, das sich bodennah aus Autoabgasen und Luftsauerstoff bildet, und zwar noch bevor dieses den Reifengummi zersetzen kann. Unverzichtbar also, doch bei dieser Reaktion wird 6PPD zum giftigen 6PPD-Chinon umgewandelt; wenngleich nur in Spuren und nur auf der Oberfläche des Autoreifens, aber dennoch – siehe Seattle – im Falle des Falles mit Folgen.

Ein Präzedenzfall, der verdeutlicht, dass es nicht ausreicht, nur die ursprünglich eingesetzten Stoffe zu testen. Ebenso müssen auch deren Umwandlungsprodukte überprüft werden, wie es bei Pestiziden bereits erforderlich ist. Angesichts der gewaltigen Menge Kunststoff, die bereits in alle Ökosysteme Einzug gefunden hat, wäre es aus Sicht der Ökotoxikologie sinnvoll, wenn es Auswirkungen auf die EU-Gesetzgebung hätte. ■



# „Eine anspruchsvolle Agenda“

EIN INTERVIEW MIT PRIV.-DOZ. DR. WOLFGANG KÖRNER, REFERATSLEITER „ORGANISCHE ANALYTIK“ BEIM BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU)

Priv.-Doz. Dr. Wolfgang Körner leitet am Bayerischen Landesamt für Umwelt ein Labor mit insgesamt 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Gemeinsam nehmen sie den gesetzlichen Überwachungsauftrag wahr, klären Umweltschadensfälle auf und führen Sondermessprogramme durch. Dazu kommen Forschungsprojekte, die sich beispielsweise mit der Anreicherung von Flammenschutzmitteln in der Umwelt z.B. in Haubentauchereiern widmen.

Alles in allem ein weites Feld. Um dem Ganzen näher auf die Spur zu kommen, treffen sich der Journalist Stefan Zowislo und Wolfgang Körner am LfU-Sitz in Augsburg. Zunächst zu einem Rundgang durch die Laborräume, anschließend zu einem ausführlichen Gespräch.

Das Gespräch beginnt mit klaren Prämissen: „Vorsorge, Frühwarnsystem, Aufklärung“ – all das gehört für Dr. Wolfgang Körner zu den primären Aufgaben seines Referates. Verbunden mit einem langen Atem, kein Alarmismus, immer der kontinuierlichen Aufgabe verpflichtet.

**Herr Dr. Körner, beginnen wir mit der wahrscheinlichsten Frage: Durch welche Wege werden Chemikalien in die Umwelt eingetragen?**

Wolfgang Körner: Chemikalien gelangen über Kläranlagen, Abwasser aus Industriebetrieben oder über die Landwirtschaft in Wasser und Boden. Sie werden aber auch passiv in die Umwelt eingetragen, etwa durch Ausdünstung von Kunststoffen und Baumaterialien, oder durch den Verkehr und dem dadurch verursachten Reifenabrieb. Der Eintrag von Chemikalien hat aber auch eine globale Dimension: Stoffe können an Staubpartikel binden und über Luftströmungen in entlegenste Orte der Welt transportiert werden. Wir können heute Stoffe in Regionen nachweisen, in denen sie weder produziert noch

verwendet wurden, wie beispielsweise den Polarregionen.

**Wenn Chemikalien in die Umwelt gelangen, kommt das Landesamt für Umwelt mit Ihrem Labor ins Spiel?**

Wir sind verantwortlich für die gesetzlich verankerten Überwachungspflichten. Wir analysieren regelmäßig Proben aus bayerischen Flüssen und Seen – beispielsweise auf Pflanzenschutzmittel – und kennen damit die Belastungssituation. Man muss sich aber auch im Klaren darüber sein, dass für jeden beschränkten oder verbotenen Stoff Alternativen auf den Markt kommen. Denn die Funktion, die diese Chemikalie erfüllt – nehmen wir als Beispiel ein Kältemittel – wird ja gebraucht! Wir sind deshalb sehr umfassend vorsorglich unterwegs und bestimmen das Vorkommen neuartiger

„Der Eintrag von Chemikalien hat aber auch eine globale Dimension: Stoffe können an Staubpartikel binden und über Luftströmungen in entlegenste Orte der Welt transportiert werden.“

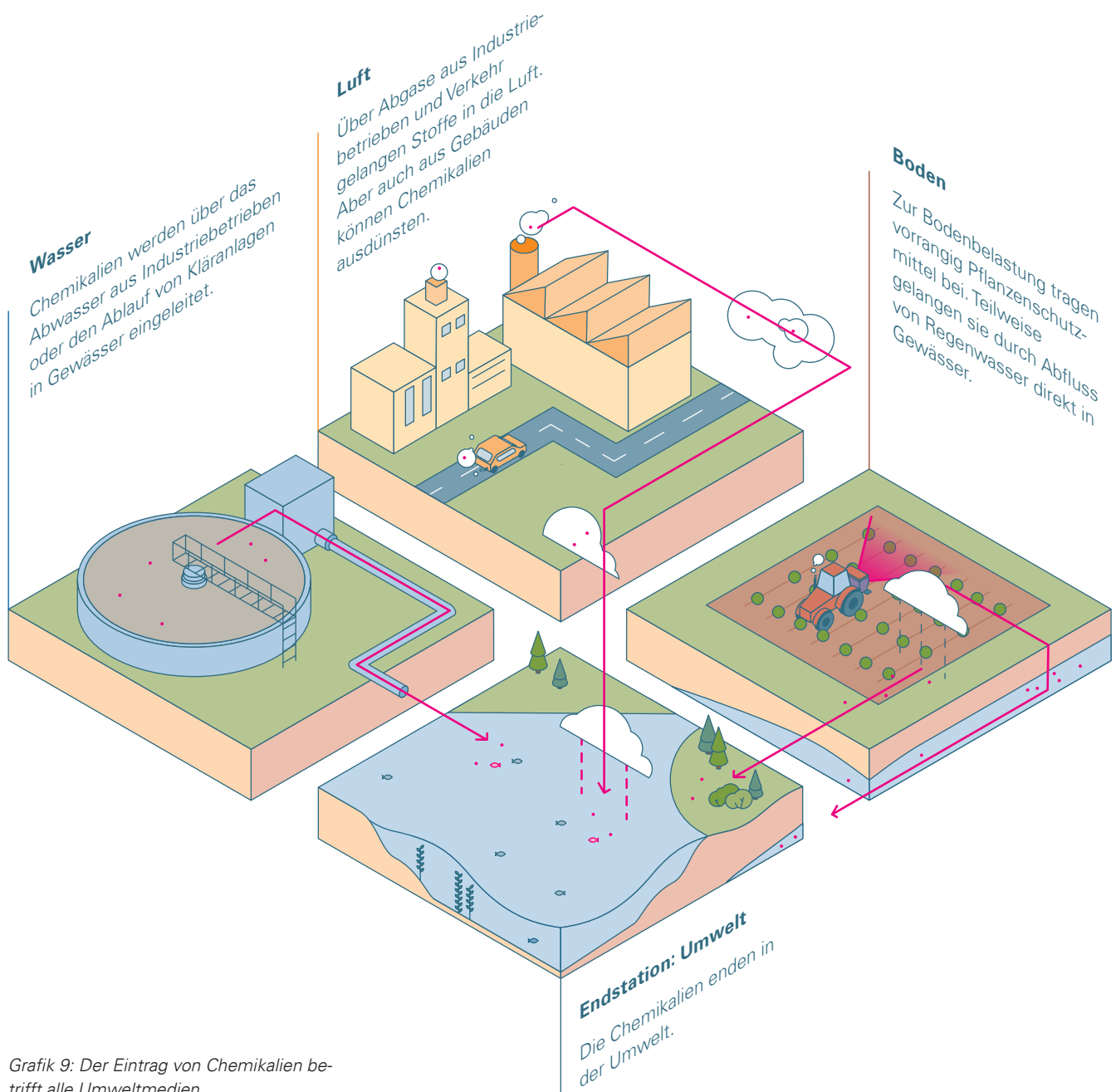
Abb. 14: Extraktion von Grasproben im Labor am LfU



Stoffe, für die es noch keine gesetzlichen Grenzwerte gibt, in Umweltproben. Wir können so erkennen, wie sie sich in der Umwelt verhalten und ob sie sich dort anreichern.

**Blieben wir bei den Gewässern. Sie untersuchen rund 50 bis 100 Fischersterben in Bayern pro Jahr, vermehrt zur „Hochsaison“ im Sommer? Was sind die Ursachen?**

Es handelt sich in der Regel um ein Geschehen, das mehrere Gründe hat. Wir nennen das multifaktoriell. Keineswegs immer ist eine chemische Kontamination die klare Ursache. Vielmehr erleben wir oft ein Zusammenspiel zweier oder mehrerer Faktoren wie Sauerstoffmangel, Infektionen, Belastungen mit Pestiziden, Abwassereinträgen und Gülle – und all das kann schließlich vom Organismus nicht mehr kompensiert werden und bringt das Fass zum Überlaufen.



Grafik 9: Der Eintrag von Chemikalien betrifft alle Umweltmedien.

## Unser Leben und wie wir es gestalten ist nicht ohne Risiken...

Genau. Deshalb ist die Risikobewertung so entscheidend, deshalb hat die Wissenschaft der Ökotoxikologie so eine Bedeutung. Und deshalb untersuchen wir hier im LfU Jahr für Jahr mehrere Tausend Proben, und zwar aus allen Umweltmedien: Luftproben, Niederschlagswasser, Wasser aus Flüssen und Seen, Gräser, Sedimente, Fische und Muscheln. Das ist unsere Aufgabe: Wir müssen rechtzeitig erkennen, wenn Stoffe in kritischen Konzentrationen auftreten. Dabei kämpft die organische Analytik zeitgleich mit zwei Herausforderungen: Zum einen muss sie aus möglichen Tausenden Chemikalien die besorgniserregenden herausfiltern und identifizieren; zum anderen muss sie Methoden entwickeln, um kleinste Konzentrationen davon nachzuweisen.

**Eine Aufgabe, die Ihr Team und Sie für den Freistaat Bayern übernehmen. Aber wie haben Sie es zu Beginn unseres Gesprächs bereits erwähnt: Chemikalien verbreiten sich überregional, sie haben eine globale Dimension.**

Kooperationen und die Zusammenarbeit mit anderen Umweltbehörden sind für uns zentral. Unser Blick geht oft in Länder, wo die Ökotoxikologie einen ähnlich hohen Stellenwert hat. 2023 hat Deutschland zusammen mit Schweden, Norwegen, Dänemark und den Niederlanden einen Vorschlag zur EU-weiten Beschränkung von PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, mehr dazu auf Seite 27) bei der Europäischen Chemikalienagentur eingereicht. Die Gruppe umfasst mindestens 10.000 Substanzen. Die Umsetzung des Vorschlags wäre aus meiner Sicht ein Meilenstein. Ein positives Beispiel, dass sich solche internationalen Anstrengungen lohnen können, gibt es bereits: Das weltweite FCKW-Verbot kann als größte Leistung

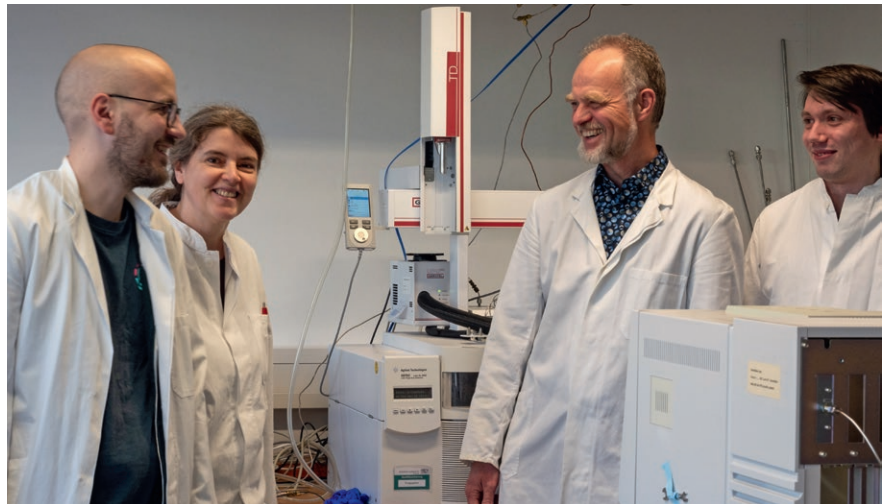


Abb. 15: Das Foto zeigt Wolfgang Körner, wo er zum einen sehr oft ist – nämlich im Labor –, und wie er zum anderen am liebsten agiert – im Team; hier mit einem Teil seiner 20 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen.

der Weltgemeinschaft für den Schutz unserer Umwelt und Gesundheit bezeichnet werden.

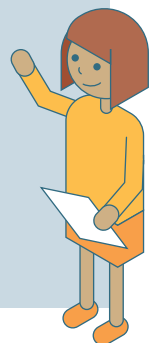
## Welche Rolle spielt die europäische Gesetzgebung? Ist sie Motor für Veränderungen?

Mit der europäischen Chemikaliengesetzgebung, die weltweit beispielhaft ist, ist viel geschehen, besonders im Gewässerschutz durch die Wasserrahmenrichtlinie und bei der Zulassung von Chemikalien. Doch der Motor, von dem Sie sprechen, muss weiter auf Hochbetrieb laufen. Ökotoxikologie ist eine sehr dynamische Wissenschaft. Bis vor zehn Jahren hat man zum Beispiel jeden Stoff einzeln betrachtet und bewertet. Heute versucht man mehr und mehr Methoden zu finden, um Mischungstoxizitäten zu erfassen. Denn wir haben in der Umwelt zwar oft Stoffe in Spurenkonzentrationen, aber eben sehr viele einzelne davon, und deren Wirkungen können sich addieren oder gar potenzieren. Man arbeitet fieberhaft daran, Testbatterien zu entwickeln, welche die Wirkungen in der Summe erfassen und ein umfassendes sowie zugleich viel realitätsnäheres Bild von der Belastung eines Gewässers liefern.

## Welche Bedeutung haben für Sie in diesem Zusammenhang Umweltqualitätsnormen im Gewässerschutz?

### Gut zu wissen:

FCKW (Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe) sind hauptverantwortlich für die Zerstörung der schützenden Ozonschicht in der Erdatmosphäre („Ozonloch“)!



„Ökotoxikologie ist eine sehr dynamische Wissenschaft. Bis vor zehn Jahren hat man zum Beispiel jeden Stoff einzeln betrachtet und bewertet. Heute versucht man mehr und mehr Methoden zu finden, um Mischungstoxizitäten zu erfassen.“

„...bei der zunehmenden Vielfalt von Stoffen werden die Kombinationseffekte und damit Mischungstoxizitäten immer bedeutender.“

Abb. 16: Am LfU arbeiten rund 1.100 wissenschaftliche und technische Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, Labor- und Verwaltungskräfte.

UQNs – so unser „Abkürzungsdeutsch“ für das Wort Umweltqualitätsnormen – haben einen ausgesprochen hohen Stellenwert für unsere Arbeit. Sie legen die entscheidenden Grenzwerte zur Bewertung der Gewässerqualität fest. Und das in ganz Europa. Rechtlich verbindlich und damit sanktionierbar. Die Grenzwerte dürfen im Übrigen „aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes nicht überschritten werden“, wie es in der Wasserrahmenrichtlinie der EU heißt. In Europa muss jeder Mitgliedsstaat verbindlich 45 Stoffe überwachen, und abhängig von den Industrievorkommen im jeweiligen Land kann er noch weitere auf nationaler Ebene festlegen. Deutschland überwacht – zusätzlich zu den 45 von der EU festgelegten – weitere 67 Stoffe.

Ein Gespräch zum Thema Ökotoxikologie kann wohl kaum ohne das Wort von der „Plastikflut“ auskommen...

Beginnen wir mit einer positiven Betrachtung: In den letzten Jahren hat sich ein zunehmendes Bewusstsein für das, was oft zu Recht Plastikflut genannt wird, bei uns allen entwickelt. Beispielsweise ist der Plastik-Strohalm ja schon aus unserem Leben verschwunden.

Aber die Aufklärung und damit einhergehend die Vermeidung müssen weitergehen und sich zudem auch auf die Additive konzentrieren – also jene Zusatzstoffe, die Kunststoffe nutzbar

und haltbar machen, die aber zugleich durch ihre ungewollte Freisetzung negative Folgen für die Umwelt mit sich bringen.

Und was machen wir mit Medikamentenwirkstoffen, die ebenso schlecht abbaubar sind und in die Umwelt gelangen?

Eine ausgesprochen zweischneidige Sache, ein Urteil fällt schwer, nicht nur mir. Aber wir sehen, wie facettenreich unsere Bekanntschaft mit Chemikalien ausfällt. Letztendlich geht es um Aufklärung, um das zu tun, was möglich ist: Arzneimittel beispielsweise nie im Waschbecken oder in der Toilette zu entsorgen.

Eine wachsende Bedeutung und größere Relevanz der Ökotoxikologie gehört zu Ihren Herzensanliegen, oder?

Ja. An der Schnittstelle von Wissenschaft, Laborexpertise und Verwaltung steht die Ökotoxikologie für angewandte Forschung, fächerübergreifend und sehr methodenreich. Wir Ökotoxikologen wollen Gefährdungen ermitteln, sie minimieren und Grundlagen für entsprechende Regulierung liefern. Wir brauchen deshalb mehr Forschung zur Wirkung von Chemikalien in komplexen Expositionen. Denn bei der zunehmenden Vielfalt von Stoffen werden die Kombinationseffekte und damit Mischungstoxizitäten immer bedeutender. Also, summa summarum: Eine anspruchsvolle Agenda. ■





Abb. 17: Fluorfreie Löschschäume werden immer häufiger verwendet.

# Steckbrief: PFAS

## Voll synthetisch

PFAS sind per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, früher auch als perfluorierte Tenside (PFT) oder perfluorierte Chemikalien (PFC) bezeichnet. Die Gruppe umfasst je nach Quelle etwa 5.000 bis über 10.000 Einzelsubstanzen; etwa 50 davon sind aktuell nachweisbar und etwa 30 toxikologisch bewertet.

PFAS sind Industriechemikalien, die nicht natürlich vorkommen. Wegen ihrer wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften werden PFAS für Funktionskleidung und Skiwachs oder in Backpapier, Pizzakartons und Trinkhalmen eingesetzt. Industriell werden sie bei der Herstellung von Fluorpolymeren wie Teflon, in der galvanischen Industrie und in Feuerlöschschäumen verwendet. In der Nähe von Produktionsstandorten oder durch den Einsatz von PFAS-haltigen Löschschäumen kann es lokal zu hohen Belastungen kommen.

## Für immer

PFAS sind chemisch, biologisch und thermisch extrem stabil und können in der Umwelt jahrhundertlang überdauern. Sie reichern sich nicht im Fettgewebe an, sondern in der Leber und binden an Blutproteine. PFAS können das Immunsystem des Menschen beeinträchtigen, Krebs auslösen, das Hormonsystem durcheinanderbringen oder den Cholesterinspiegel stören.

Aufgrund der Fülle an Verbindungen steht die human- und ökotoxikologische Forschung vor einer kaum zu bewältigenden Aufgabe.

## Ein einzigartiger Vorstoß

Im Januar 2023 haben Umweltbehörden aus Deutschland, Niederlande, Dänemark, Norwegen und Schweden erstmalig einen umfassenden Vorschlag zur EU-weiten Beschränkung der gesamten PFAS-Stoffgruppe bei der Europäischen Chemikalienagentur eingereicht: Danach sollen die Herstellung, Verwendung und das Inverkehrbringen aller PFAS beschränkt werden. Ausnahmen soll es nur noch da geben, wo es auf absehbare Zeit keine Alternativen gibt, wie in der Herstellung von Halbleitern, persönlicher Schutzausrüstung für Rettungs- und Sicherheitskräfte oder Medizinprodukten. ■

### Gut zu wissen:

Drei Einzelsubstanzen und ihre Salze – nämlich Perfluorooctansulfonsäure, Perfluorooctansäure und Perfluorhexansulfonsäure – wurden in das international gültige Stockholmer Übereinkommen aufgenommen. Es regelt Verbote und Beschränkungen für besonders persistente organische Schadstoffe (persistent organic pollutants, POP). Dennoch gibt es Länder außerhalb der EU, die diese Chemikalien heute noch produzieren und verwenden.



Perfluoriert bedeutet, dass alle Wasserstoffatome im Molekül durch Fluoratome ersetzt sind, bei polyfluorierten ist es nur ein Teil.

Einige PFAS sind in der Luft und im Wasser sehr mobil. Sie gelangen bis ins Grundwasser und lassen sich mit Methoden der Trinkwasseraufbereitung nur mühsam herausfiltern (mehr dazu auf Seite 9).

# Steckbrief: Mikroplastik

## Solange es Kunststoffe gibt, wird es Mikroplastik geben

Je nach Kunststoffsorte und Umweltbedingungen kann der Abbau von Plastik mehrere Hundert Jahre dauern.

Kunststoffe sind ein wichtiger Bestandteil unseres Alltags und haben aufgrund ihrer flexiblen Materialeigenschaften eine Vielzahl von Innovationen ermöglicht. Die weltweite Produktion von Kunststoffen ist auf 400 Millionen Tonnen im Jahr 2022 angestiegen und damit steigt auch der anfallende Plastikmüll.

Primäres Mikroplastik wird gezielt hergestellt, beispielsweise für Peelings, Duschgels oder Reinigungsmittel. Im Gegensatz dazu entsteht sekundäres Mikroplastik durch den Zerfall größerer Plastikteile, wie Plastiktüten oder -flaschen, die durch eine unsachgemäße Entsorgung in die Umwelt gelangen. Durch Umwelteinflüsse wie beispiels-

weise UV-Strahlung oder mechanische Einwirkung zerfällt dieser Plastikmüll in immer kleinere Einzelteile. Dies stellt nach gegenwärtigem Kenntnisstand die Hauptquelle für Mikroplastik in der Umwelt dar. Darüber hinaus tragen der Abrieb von Reifen oder direkt in das Abwasser eingetragene Textilfasern zur Mikroplastikbelastung von Gewässern bei. Im Vergleich dazu ist der Eintrag von primärem Mikroplastik aus Kosmetik- und Körperpflegeprodukten in die Umwelt von untergeordneter Bedeutung. Direkt ins Abwasser eingetragene Fasern beim Waschen von Textilien oder Kosmetik.

## Ist Mikroplastik schädlich für unsere Umwelt?

Da Mikroplastik nicht oder nur sehr langsam abgebaut wird, kann es im Laufe der Zeit zu einer zunehmenden Belastung der Gewässer kommen. Inzwischen gibt es zahlreiche Studien zu möglichen Auswirkungen von Mikroplastik auf marine Ökosysteme und auf Süßwasserorganismen.

Abb. 18: Ab 2023 ist der Verkauf von Kosmetik mit losen Glitterpartikeln unter 5 mm verboten.



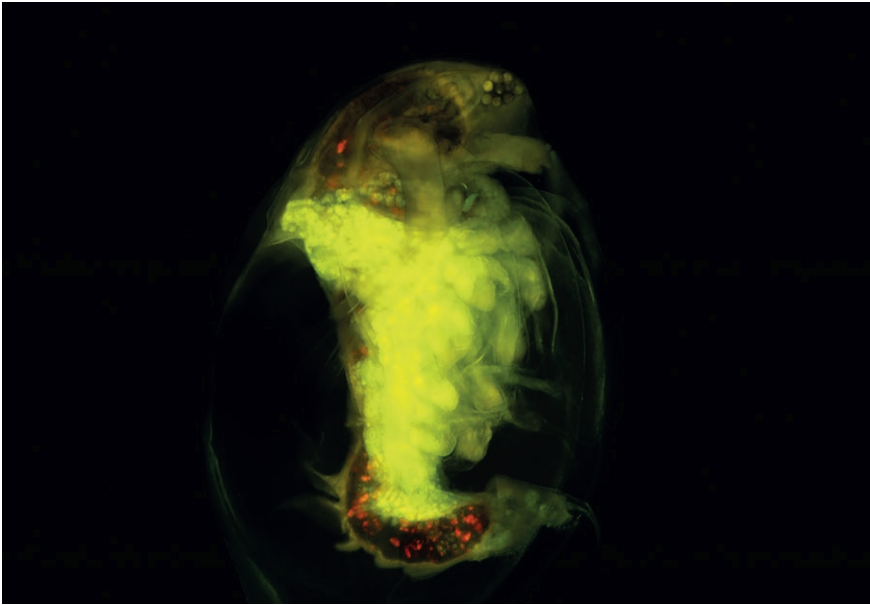


Abb. 19: Fluoreszierende Kunststoffpartikel in einer Daphnie.

Dort wird Mikroplastik von vielen Tierarten, wie beispielsweise Muscheln, Schnecken, Würmern, Wasserflöhen und Fischen, mit der Nahrung aufgenommen. Dadurch kann es, wie auch bei natürlichen Partikeln, zu mechanischen Schädigungen und zur Anreicherung im Verdauungstrakt kommen. Da diese Organismen als Nahrungsquelle für andere Tiere dienen, können so Mikroplastikpartikel auch in die Nahrungskette gelangen. Zudem wird vermutet, dass den Kunststoffen beigemengte Additive (mehr dazu auf Seite 22) wie zum Beispiel Cadmium, Flammschutzmittel oder Weichmacher wie Phthalate oder Bisphenol A im Körper freigesetzt werden und dort direkte toxische oder hormonähnliche Wirkungen entfalten. In einigen Studien wurde jedoch beobachtet, dass die gleichzeitige Aufnahme von Mikroplastik zu einer Entgiftung führt, da gelöste Spurenstoffe an die Partikel binden und ausgeschieden werden können.

### Gibt es Lösungsansätze?

Mikroplastik kann – einmal freigesetzt – nicht mehr aus der Umwelt entfernt werden. In den letzten Jahren wurden deshalb zahlreiche Maßnahmen auf

den Weg gebracht, um überflüssigen Plastikmüll zu vermeiden:

Produkte wie kunststoffhaltige Strohhalme, Wattestäbchen, Plastikbesteck, Rührstäbchen, Luftballonhalter, Fastfood-Boxen sowie To-go-Becher sind in der gesamten EU verboten.

- In Deutschland gilt ein grundsätzliches Verbot für Plastiktüten im Kassenbereich.
- Restaurants, Imbissbuden und Cafés, die Essen und Getränke zum Mitnehmen anbieten, sind grundsätzlich verpflichtet, auch Mehrwegverpackungen anzubieten.
- Ab 2025 müssen PET-Einwegflaschen 25 % Recyclingplastik enthalten. ■

#### Gut zu wissen:

Als Mikroplastik bezeichnet man Plastikpartikel, die kleiner als 5 Millimeter sind. Die meisten Teilchen sind jedoch nur wenige tausendstel Millimeter ( $\mu\text{m}$ ) groß und mit bloßem Auge nicht erkennbar.



Mikroplastik wurde in allen Umweltmedien nachgewiesen. Welche Auswirkungen es auf Lebewesen und unsere Ökosysteme hat, ist noch weitgehend unbekannt.

Im Rahmen des Null-Schadstoff-Aktionsplans plant die Europäische Union (EU) bis 2030 die Freisetzung von Mikroplastik um 30 Prozent zu reduzieren. Der Verkauf von primärem Mikroplastik wird schon ab 2023 schrittweise verboten. Darunter fällt z. B. bisher in Kosmetikprodukten enthaltenes primäres Mikroplastik (Glitter, Peelings) oder Granulatmaterial auf Sportanlagen.



Abb. 20: Fast jede zweite Zink-Kohlebatterie überschreitet den Cadmium-Grenzwert.

## Steckbrief: Schwermetalle

### Freigesetzt aus vielfältigen Quellen

Kohlekraftwerke verursachen über 60 % der gegenwärtigen Gesamtemissionen von Quecksilber in die Umwelt.

Zu den Schwermetallen zählen unter anderem Blei, Cadmium, Quecksilber, Chrom, Kupfer, Nickel, Bismut, Antimon, Zink, Zinn und Mangan. Auch Arsen wird häufig mitgenannt. Sie sind alle natürliche Bestandteile der Erdkruste und in Erzen enthalten.

Während Schwermetalle auch auf natürliche Weise durch Verwitterung und Erosion in die Natur gelangen, sind die menschengemachten Quellen häufig

bedeutender. So werden Schwermetalle bei ihrer Gewinnung beispielsweise durch metallhaltige Stäube in die Luft oder durch Versickerung und über das Abwasser ins Grund- und Oberflächenwasser eingetragen. Auch bei der weiteren Verarbeitung, ihrer Verwendung wie zum Beispiel in Bremsbelägen von Kraftfahrzeugen sowie beim Recycling werden Schwermetalle freigesetzt. Weitere Quellen sind die Zementproduktion sowie die Energiegewinnung durch Verbrennung von Kohle.

Verwendung finden Schwermetalle primär in der Metallveredelung, nämlich bei der Herstellung von Legierungen und zum Korrosionsschutz. Bestimmte Metalle sind jedoch auch in Elektronikgeräten wie Computern und Smartphones, Akkus und Leuchtmitteln in Milligramm-Mengen enthalten.

### Schwermetalle ersetzen essentielle Metalle im Körper

Während einige Schwermetalle auch als Spurenelemente bezeichnet werden und in entsprechend geringer Konzentration essentiell für Menschen, Tiere und Pflanzen sind, gibt es auch Schwermetalle, die nur toxische Eigenschaften haben. Dazu zählen Cadmium, Blei, Arsen und Quecksilber.



#### Gut zu wissen:

Kupferhaltige Pflanzenschutzmittel sind in der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft ein hochwirksames Mittel gegen diverse Pilzkrankheiten im Hopfen-, Wein- und Kartoffelanbau. Ihre Anwendung ist umstritten, da sie auf Mikroorganismen und Weichtiere bereits in geringen Konzentrationen toxisch wirken.



Schwermetalle reichern sich in Leber, Knochen und Nieren von Tieren an. Sie verdrängen dabei andere Metalle und binden an ihrer statt, wie z. B. Blei anstelle von Calcium oder Cadmium anstelle von Zink. Die Folgen sind chronische Entzündungen, Nierenschäden, oxidativer Stress oder Störungen des Fettstoffwechsels.

Schwermetalle können in der Umwelt nicht zersetzt oder abgebaut werden. Es ist lediglich eine Ablagerung, beispielsweise in Sedimenten, möglich.

### Welche Lösungsansätze gibt es?

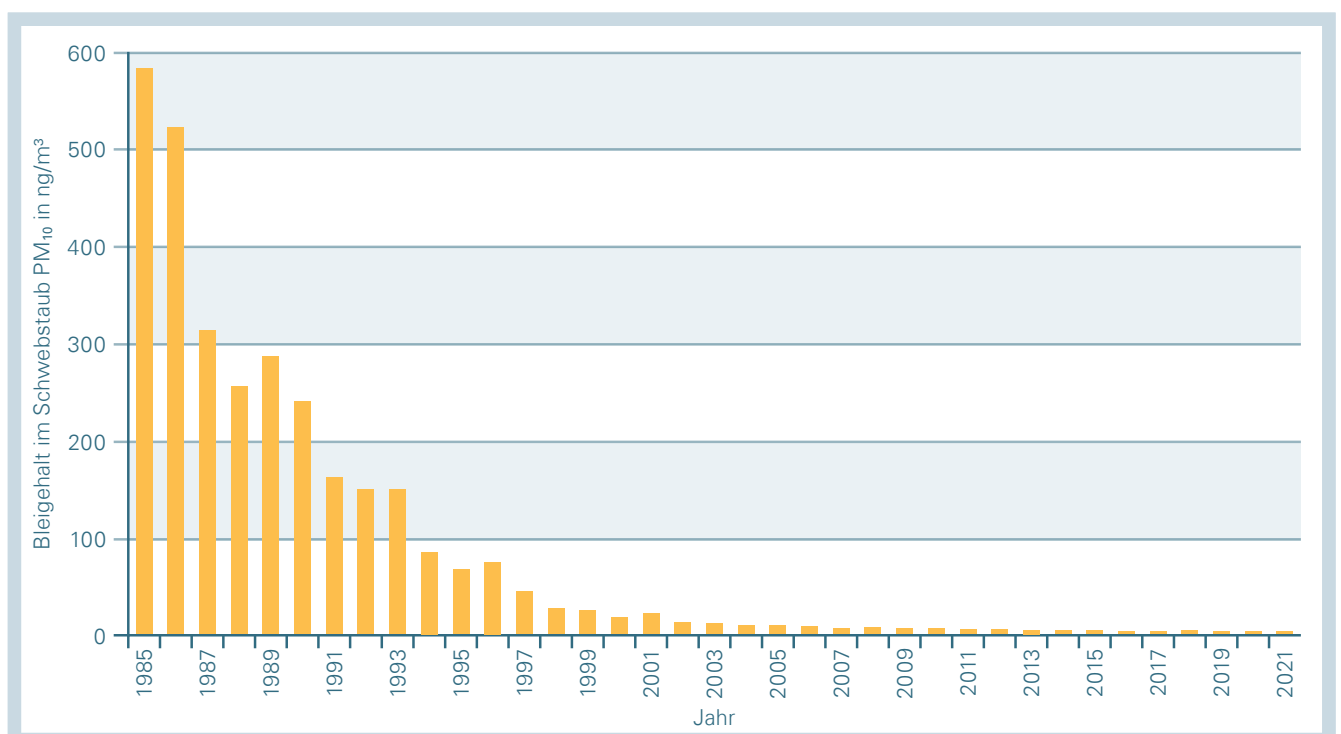
Es gibt für eine Reihe von Schwermetallen Emissionsgrenzwerte. Für Quecksilber, Cadmium und Blei sind solche im Schwermetallprotokoll der Genfer Luftreinhaltekonvention festgelegt worden, verbunden mit ökologischen Belastungsgrenzen,

Critical Loads genannt. Durch diese und weitere gesetzliche Vorschriften konnte die Umweltbelastung mit den genannten Schwermetallen mittlerweile deutlich reduziert werden.

Auch für das Schwermetall Quecksilber gibt es Grenzwerte und Anwendungseinschränkungen. Dies führte dazu, dass Quecksilber nur noch in wenigen Produkten enthalten ist und hierfür Rücknahme- und Recyclingsysteme eingeführt wurden. Weiterhin problematisch ist jedoch die Menge an Quecksilber, die von Kohlekraftwerken freigesetzt wird, da es durch die Abluftfilter nur unvollständig zurückgehalten wird. Da Quecksilber bis zu etwa einem Jahr in der Luft verbleiben kann, wird es weltweit verteilt und gelangt so in unsere Ökosysteme. Aquatische Lebewesen nehmen das Schwermetall auf und es reichert sich in der Nahrungskette an. ■

Das Minamata-Übereinkommen ist ein internationales Abkommen zur Verminderung der Freisetzung von Quecksilber in die Umwelt. Es wurde von 140 Staaten unterzeichnet und ist seit 2013 in Kraft.

*Grafik 10: Einen drastischen Rückgang der atmosphärischen Belastung durch Blei konnte man ab Mitte der 1980er-Jahre durch die Einführung des bleifreien Kraftstoffs in Deutschland und schließlich durch das Verbot bleihaltiger Antiklopfmittel im Benzin in der Europäischen Union erreichen. Unsere Grafik zeigt anhand von Jahresmittelwerten aus bayerischen Luftmessstationen die langfristige Entwicklung des Bleigehalts im Schwebstaub in Bayern. Quelle: LfU*



## BILDNACHWEIS

Azote für das Stockholm Resilience Centre, basierend auf der Analyse von Richardson et al 2023, angepasst durch LfU, Karina Fuchs u. Katharina Binner: S.4, Grafik 1;

### **LfU:**

LfU, Karina Fuchs u. Katharina Binner: Titelgrafik; S. 6, Grafik 2; S.6, l.u.; S. 7 r.u.; S. 8, Grafik 3; S.9 r.u.; S. 11, Grafik 4; S. 12, Grafik 5; S. 12, l.u.; S. 14, r.o.; S. 16, Grafik 6; S. 17 u.r.; S. 18, l.u.; S. 19, Grafik 7; S. 20 l.u.; S. 21 Grafik 8; S. 22, l.u.; S. 22, Abb. 13; S. 24 Grafik 9; S. 25 r.u.; S. 27, r.u.; S. 29 r.u.; S. 30 l.u.; LfU, Werner Pöhlmann, S. 10, Abb. 4; S. 12, Abb. 5; LfU, Ulrich Waller: S. 23, Abb. 14, S. 25, Abb. 15; LfU, Friederike Bleckmann: S. 26, Abb. 16; LfU, Daniel Gierig: S. 27, Abb. 17;

### **Adobe Stock:**

Artur Wnorowski/stock.adobe.com: S. 7, Abb. 1; Denis Tabler/stock.adobe.com: S. 9, Abb. 2; fizkes/stock.adobe.com: S. 17, Abb. 10; aquatarkus/stock.adobe.com: S. 18, Abb. 11; CrispyMedia/stock.adobe.com: S. 20, Abb. 12; sigma1850/stock.adobe.com: S. 28, Abb. 18; Wlodzimierz/stock.adobe.com: S. 30, Abb. 20;

Andreas Hartl: S. 10, Abb. 3; Sarah Manzer: S. 13, Abb. 6; S. 14, Abb. 7; Antonia Schuhmann: S. 15, Abb. 8; S. 15, Abb. 9; Prof. Dr. Laforsch: S. 29, Abb. 19;





Eine Behörde im Geschäftsbereich  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz

