

Experimentelle ökotoxikologische Bewertung von Altlasten

G5

AUTORENKOLLEKTIV (SIEHE S. 144)

1 Anlass, Grundgedanken

1.1 Veranlassung

Im Altlastenmanagement stellt sich immer wieder die Frage nach dem Umweltrisiko, das von einem Standort ausgeht. Insbesondere ist der Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser entscheidend.

Neben Altlasten, die von nur einem oder wenigen Schadstoffen geprägt sind, gibt es andere Fälle, bei denen hochkomplexe Substanzgemische in die aquatische Umwelt, insbesondere ins Grundwasser, eingetragen werden.

Es ist schwierig, solche Schadstoffgemische abschließend zu beurteilen, indem man Einzelsubstanzen analysiert und die Ergebnisse als Konzentrationswerte beurteilt. Dabei ist nicht sichergestellt, dass tatsächlich alle relevanten Substanzen untersucht werden.

Außerdem bleibt oft unberücksichtigt, wie sich die Einzelsubstanzen im „Schadstoffcocktail“ verhalten. So kann ihre Wirkung verstärkt oder abgeschwächt werden, und die Stoffpalette kann sich verändern aufgrund von Abbau- und Biotransformationsprozessen (z. B. durch mikrobiologischen Abbau einzelner Stoffe mit Bildung von Metaboliten oder durch chemische oder physikalische Reaktionen der Stoffe untereinander). Diese Vorgänge lassen sich nur schwer abschätzen.

So entstand die Idee, die Wirkung von Schadstoffgemischen zu betrachten.

Anlass war die Beurteilung einer ehemaligen Sondermülldeponie, insbesondere der Auswirkungen auf das Grundwasser und den Abstrom von belastetem Grundwasser in ein naheliegendes Oberflächengewässer.

Eine maßgebliche Frage lautete: Werden die „richtigen“ standortspezifischen Parameter untersucht?

Zunächst wurden an dieser Sondermülldeponie ökotoxikologische Untersuchungen durchgeführt. Dabei stellte sich u. a. die Frage der grundsätzlichen Eignung der ökotoxikologischen Tests für die Altlastenbearbeitung. Das HLUG hat deshalb die Erarbeitung eines „Leitfadens zum Einsatz von experimentellen ökotoxikologischen Testverfahren bei der Bewertung von Altlasten“ 2008 in Auftrag gegeben. Dieser Leitfaden-Entwurf wird vorgestellt.

1.2 Ökotoxikologische Grundlagen

Ein wesentlicher Bestandteil des Leitfadens ist die Beschreibung von ökotoxikologischen Grundlagen und von Testverfahren der „aquatischen Toxikolo-

gie“. Diese Testverfahren wurden für die Überwachung der aquatischen Umwelt entwickelt und sind relevant für die Erhebung von Abwassergebühren nach dem Abwasserabgabengesetz (ABWAGesetz) insbesondere im Rahmen der Kontrolle der Einleitung von gereinigtem Abwasser in Oberflächengewässer.

Es wurde intensiv diskutiert, ob man diese für Oberflächengewässer entwickelten Testverfahren auch auf das Grundwasser anwenden kann.

In den Umwelt-Kompartimenten verlaufen Abbau- und Umsetzungsprozesse sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr unterschiedlich. In der oberen belebten Bodenzone (= durchwurzelbare Bodenschicht) finden sehr vielfältige und rasche Umsetzungsprozesse statt. Auch in der Kläranlage finden intensive Abbauprozesse statt, denn durch Zugabe und Entzug von Sauerstoff und Nährstoffen wird hier ein Bioreaktor gesteuert. Dies ermöglicht Abbau bzw. Elimination von Schadstoffen, die in relativ hohen Konzentrationen vorkommen. In intakten Oberflächengewässern findet sich ein breites Spektrum „biochemischer Kompetenz“, so dass hier auch solche Fremdstoffe umgesetzt werden können, die unter Umständen nur in Spuren vorkommen. Im Grundwasser dagegen sind die Stoffwechselaktivität und die Stoffwechselldiversität deutlich niedriger. Insbesondere Abbauprozesse, die an Licht und Sauerstoff gebunden sind, sind nur in sehr begrenztem Maße möglich. Es gibt also Unterschiede der Ökosystemfunktionen im Oberflächengewässer und Grundwasser.

Ungeachtet dieser Unterschiede sind viele Funktionen der Ökosysteme überwiegend an aquatische Organismen wie Bakterien, wirbellose Tiere und Pflanzen gebunden. Deshalb können diese Ökotoxtests auch auf Grundwasser angewendet werden, da es sich auch hier um ein aquatisches System handelt. Allerdings sind Randbedingungen zu beachten, um die unterschiedlichen Abbauprozesse zu berücksichtigen.

1.3 Bewertungsstrategie

1.3.1 Bewertung des Oberflächengewässers (Standortsituation)

Ist der Eintrag von Schadstoffen mit dem Grundwasser in ein Oberflächengewässer zu bewerten, so ist der ökologische Zustand dieses Gewässers ein wesentliches Kriterium. Dazu werden die Struktur sowie die Vorbelastung des Gewässers betrachtet.

Als Voraussetzung sind die Kenntnisse über den chemischen und strukturellen Zustand des Oberflächengewässers erforderlich. Im Zuge der Umsetzung der EU-WRRL wurden Untersuchungen durchgeführt. Diese Informationen und Untersuchungsergebnisse liegen bei den zuständigen Regierungspräsidien und dem HLU vor.

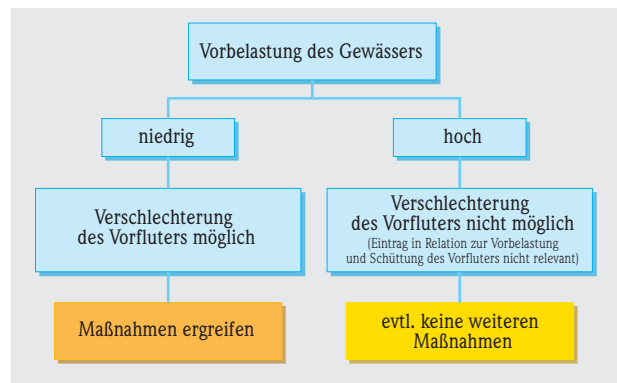


Abb. 1: Vorbelastung des Gewässers.

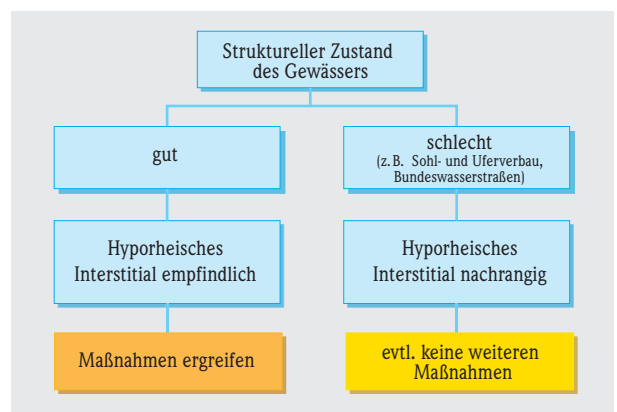


Abb. 2: struktureller Zustand des Gewässers.



Abb. 3: Der Weilbach, ein Beispiel für ein Gewässer der ökologischen Zustandsklasse 5. Ursache hierfür ist in erster Linie eine strukturelle Degradation, keine chemische Belastung. (Foto Gobio GmbH).



Abb. 4: Der Steinbach, ein Beispiel für ein Gewässer der ökologischen Zustandsklasse 4. Ursache hierfür ist eine chemische Belastung, keine strukturelle Degradation. (Foto Gobio GmbH).



Abb. 5: Der Elbrighäuser Bach, ein Beispiel für ein Gewässer der ökologischen Zustandsklasse 1. Das heißt, der Bach ist sowohl strukturell als auch chemisch in gutem Zustand. Dies ist ein Europäisches Referenzgewässer: anhand der Fauna dieses Baches wurde festgelegt, welche Besiedlung bei optimalen Bedingungen zu erwarten ist. (Foto Gobio GmbH).

Die Abb. 3–5 zeigen Beispiele aus Hessen für den strukturellen und chemischen Zustand eines Gewässers, der für den ökologischen Zustand bedeutsam ist.

1.3.2 Bewertung der Testergebnisse:

Um Vorschläge zur Bewertung der Testergebnisse zu entwickeln, wurden die Ergebnisse aus einigen exemplarisch oder im Rahmen einer „Pilotstudie“ ausgeführten experimentellen ökotoxikologischen Tests sowie aus Literatur und Fachwelt ausgewertet.

Bewertungsmaßstäbe wurden erstellt bzw. aus der Literatur übernommen:

Die Schadwirkung von Porenwasser und wässrigen Eluaten von

- aquatischen Sedimenten,
- kontaminierten Böden,
- festen Abfällen,
- Baggergut (im Bereich von Bundeswasserstraßen),
- und die Schadwirkung von gereinigtem Abwasser

wird mittels standardisierter und somit vergleichbarer Testverfahren zur Bestimmung der aquatischen Toxizität bemessen. Dabei wird die Schadstoffwirkung auf Organismen, die im Wasser leben, beobachtet. Die Literatur wurde ausgewertet und die einzelnen bereits vorhandenen Bewertungsmaßstäbe in einer Tabelle zusammengefasst. Dort wo Maßstäbe fehlen, wurden Vorschläge für Gefährdungsschwellen erarbeitet und zur Diskussion gestellt.

Damit liegt eine Bewertungsmatrix vor, nach der die Ergebnisse von ökotoxikologischen Untersuchungen im Altlastenbereich einer ersten Bewertung unterzogen werden können. Diese Matrix gibt einen Rahmen, der die Einordnung von Ergebnissen gestattet.

1.4 Erkenntnisse aus der Erarbeitung des Leitfadens

Auf die Frage nach den Wirkungen von Schadstoffgemischen im Grundwasser gibt es bislang nur wenige Antworten. Die Übertragung der ökotoxikologischen Untersuchung und Beurteilung auf Altlasten und Grundwasser ist neu. Viele Grundlagen, wie z. B. die ökotoxikologische Bewertung einzelner altlastentypischer Schadstoffe, fehlen noch und müssen in der Zukunft nach und nach erarbeitet werden.

Weiter ist zu beachten, dass unterschiedliche gesetzliche Rahmenbedingungen zur Bewertung von Umweltkontaminationen gelten, je nachdem ob es sich um Abfall, Altlast oder schädliche Bodenveränderung, Abwasser, Sedimente von Bundeswasser-

straßen (Baggergut) oder Grundwasserkontamination handelt. Es können die Rechtsbereiche Wasser-, Abfall- oder Bodenschutzrecht betroffen sein.

Diese auf der Gesetzesebene in weiten Bereichen vorgegebene Trennung der Umweltkompartimente spiegelt sich jedoch nicht in der wissenschaftlichen Analyse des Risikos von Umweltkontaminationen wider. Hier steht das Bewusstsein darüber, dass Luft und Boden über Niederschläge untrennbar mit der aquatischen Umwelt verbunden sind, im Vordergrund. Zudem ist der permanente Austausch zwischen Grund- und Oberflächenwasser zu beachten. Ob die derzeit vorhandene strikte Trennung der Rechtsbereiche auch in der Zukunft sinnvoll bleibt, ist an anderer Stelle zu diskutieren.

2 Ökotoxikologische Bewertungsstrategie

Tab. 1: Testverfahren der aquatischen Ökotoxikologie.

Test		Dauer	Aussage
1. Fischeitest (DIN 38415-T6)		48 h	<i>Danio rerio</i> (Konsument 2. Ordnung/ Wirbeltier) akut toxische und fruchtschädigende Wirkungen, kann als Bestandteil einer Testbatterie mit chronischer, subletaler Ausrichtung eingesetzt werden
2. Daphnien-Akutttest (DIN ISO 38412-L30)/Langzeit-test (OECD 211)		24 h/ 21 d	<i>Daphnia magna</i> (Konsument 1. Ordnung/ Fischnährtier) akut toxische und chronische Effekte auf Entwicklung und Vermehrung der Daphnien; keine tierschutzrechtlichen Einschränkungen
3. Algentest (DIN 38412-L33)		72 h	<i>Scenedesmus subspicatus</i> (Primärproduzent) akut toxische und chronische Effekte, die Vermehrung und Wachstum der Algen beeinflussen; mehrere Generationen
4. Leuchtbakterientest (DIN EN ISO 38412-L34/ 11348-2)			<i>Vibrio fischeri</i> akute Bakterien-Toxizität: Beeinträchtigungen des bakteriellen Stoffwechsels
5. Gentoizität: umu-Test (DIN 38415-T3)			<i>Salmonella typhimurium</i> gentoxisches Potenzial: mutationsauslösende Substanzen

2.1 Testverfahren der aquatischen Ökotoxikologie

Einen Überblick über die grundlegenden Testverfahren der aquatischen Toxikologie gibt Tab. 1. Diese Basisverfahren zielen in erster Linie auf die Erfassung der akuten Schädigung. Sie werden im Sinne einer Eingangsprüfung zur ökotoxikologischen Charakterisierung einer Probe eingesetzt. Zur Erfassung von chronischen Wirkungen, die z. B. auch die Störungen der Fortpflanzungsfähigkeit oder Anreicherung von Schadstoffen widerspiegeln, wird der Langzeittest mit Wasserflöhen (21 Tage Daphnientest) in einem nachgeschalteten Bewertungsschritt eingesetzt.

Als Ergebnis der Tests wird eine G-Stufe ermittelt. G-Stufen benennen den Grad der Verdünnung einer Wasserprobe, bei der keine Schädigung mehr beobachtet wird; z. B. $G_{Ei} 2$ bedeutet, dass bei einer

50 % Verdünnung der Probe keine Schädigung im Fischeitest feststellbar ist.

2.2 Differenzierte Vorschläge für Gefährdungsschwellen

Bei der Bemessung von Gefährdungsschwellen werden Testergebnisse der aquatischen Toxikologie in Relation zur hydrogeologischen Lokalisation der Kontamination betrachtet. Wichtige Kriterien zur Festlegung von Gefährdungsschwellen sind

- Größe und ökologischer Zustand des Vorfluters
- Gefährdungsschwellen, die bereits für das Wassermanagement des betroffenen Vorfluters gelten
- Art des Grundwasseraustritts (punktuell oder flächenhaft im Gewässerbett, oder punktuelle Einleitung in die fließende Welle)
- Charakteristik des Grundwasserleiters

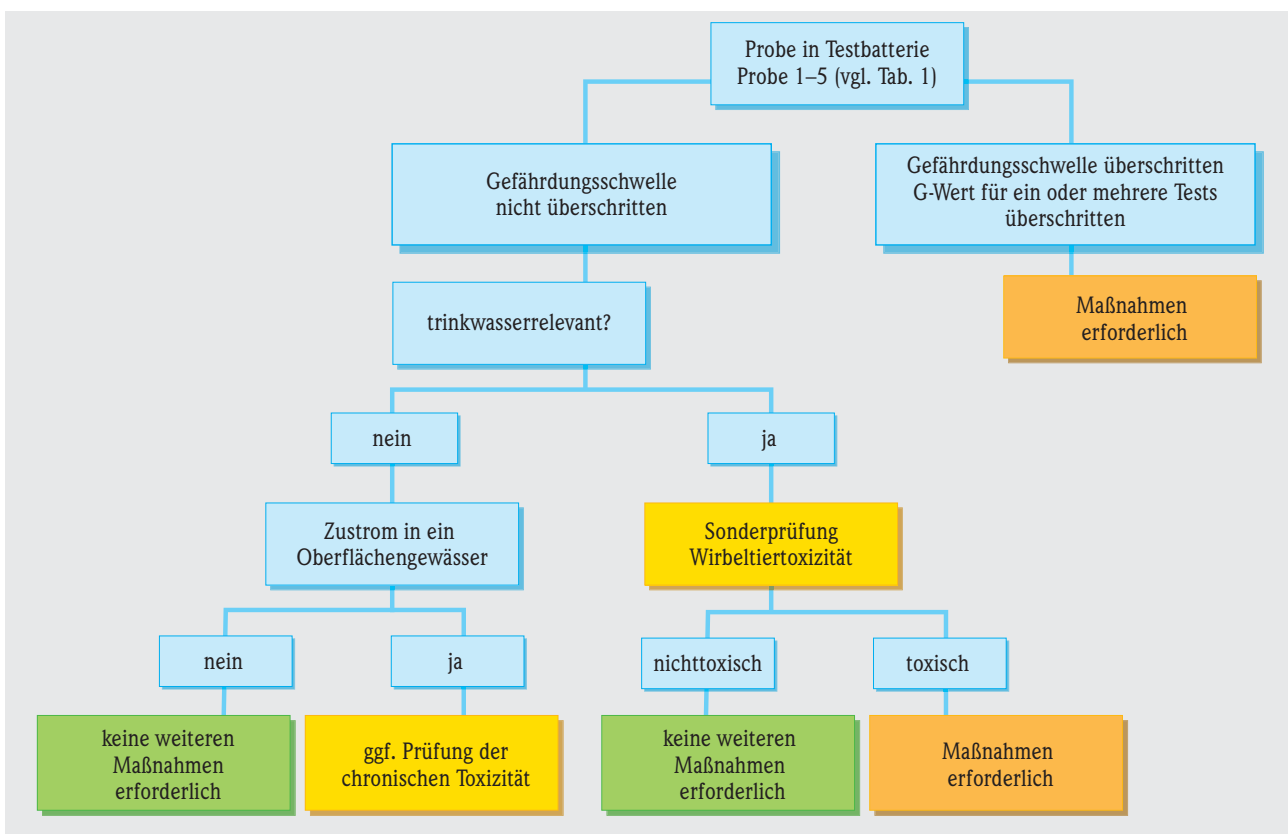


Abb. 6: Vorgehen bei der Bewertung.

2.2.1 Flächiger Eintrag von kontaminiertem Grundwasser in Oberflächengewässer via Exfiltration

Aquatische Sedimente und das Lückensystem des Gewässerbodens (hyporheisches Interstitial) sind sensible Bereiche des Gewässers mit hoher Stoffwechselaktivität. Die biologisch-ökologische Funktion dieses Kompartimentes wird oft mit der Rolle der Leber eines Organismus verglichen. Der Zustand der Sedimente ist entscheidend für die Selbstreinigungskraft des Gewässers. Insbesondere die Sedimente kleinerer Fließgewässer und naturbelassene Bereiche von großen Bundeswasserstraßen (Altarme) bieten Rückzugsgebiete und Wiederbesiedlungsreservoirs bei temporären Gewässerbelastungen im Bereich des Hauptstroms. Großflächiger Zustrom von kontaminiertem Grundwasser über den Gewässerboden (Exfiltration) bedingt ein Risiko für einen sehr sensiblen Gewässerbereich (Abb.7). Aufgrund dieser Überlegungen ist zu fordern, dass die unverdünnte Probe im Zustrom von derartigen Exfiltrationsbereichen in intakte Gewässer keine Schädigung haben darf.

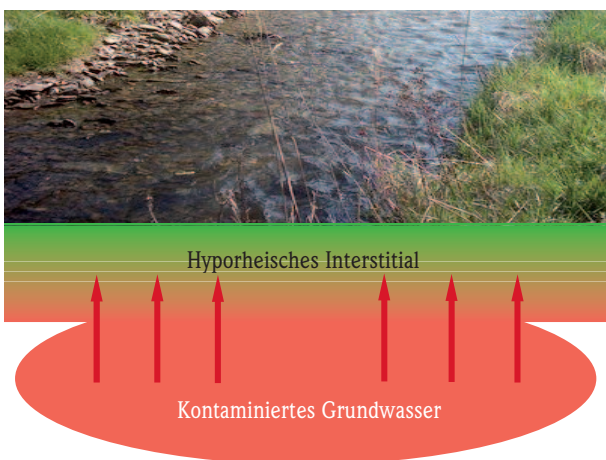


Abb. 7: Flächiger Eintrag von kontaminiertem Grundwasser in ein Oberflächengewässer.

Im Falle von Kontaminationen im Zustrom zu einer Bundeswasserstraße wird vorgeschlagen, die Bewertungsmaßstäbe für die Verlagerung von Baggergut anzulegen. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz BfG hat eine „Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut im Binnenland (HABAB-WSV)“ (2000) herausgegeben. Darin wird der Umgang mit Baggergut, das bei Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen an Wasserstraßen anfällt und Anreicherungen von Schadstoffen enthalten kann, betrachtet.

Baggergut kann innerhalb eines Gewässers uneingeschränkt verlagert werden, wenn Eluat und Porenwasser bestimmte Schädwirkungen nicht überschreiten. Der Fischeitest ist als neues Testverfahren noch nicht in dieses Bewertungsschema einbezogen. Zum Schutz der Fortpflanzung bodenlaichender Fische wird vorgeschlagen, hier eine niedrigere Gefährdungsschwelle als für die drei anderen Verfahren anzuwenden. Der Eintrag von gentoxischen Verbindungen muss konsequent vermieden werden.

2.2.2 Oberflächlicher Eintrag von kontaminiertem Grundwasser in Gewässer

Beim oberflächlichen Eintrag von kontaminiertem Grundwasser in große Fließgewässer (Abb. 8) sollten die gleichen Gefährdungsschwellen wie zur Bewertung von gereinigtem Abwasser gelten. Dabei sind bei der Festlegung eines Wertes die Schüttung des Vorfluters und die eingetragene Schadstoffmenge einzubeziehen. Hier besteht die Möglichkeit, Toxizitätswerte/G-Stufen, die die zuständigen Umweltüberwachungsbehörden für die Einleitung von Abwasser festgelegt haben, als Entscheidungsgrundlage heranzuziehen.

Bei kleinen und mittleren Fließgewässern sind prinzipiell niedrigere Toxizitätsschwellen anzusetzen als bei der Einleiterkontrolle von Abwässern in größere Gewässer. Die Lebensgemeinschaften dieser Gewässer umfassen empfindliche Arten, und es sind komplexe Gefüge von Interaktionen zwischen den Organismen ausgebildet, so dass der Wegfall von nur einer Organismengruppe erhebliche Störungen am Ökosystem auslösen kann.

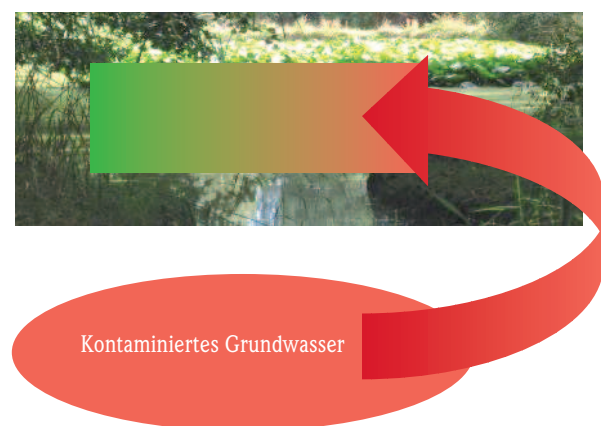


Abb. 8: Oberflächlicher Eintrag von kontaminiertem Grundwasser in ein Gewässer.

2.2.3 Zustrom von kontaminiertem Grundwasser in Quellgebiete

Eine Bewertung der Kontamination einer Quelle mit den ökotoxikologischen Testverfahren gemäß Tab. 1 scheint fragwürdig, da die primäre Ausrichtung dieser Testbatterie die Kontrolle von Einleitungen in vergleichsweise große Vorfluter ist. Eine Kontamination von Quellwasser ist aus ökologischer Sicht nicht tolerierbar, da das Zustandekommen der typischen Lebensgemeinschaft mit meist sehr anspruchsvollen Organismen gefährdet ist. Quellwasser zeichnet sich in der Regel durch einen äußerst geringen Nährstoffgehalt aus. Damit geht eine sehr hohe Fähigkeit der Organismen (insbesondere an der Basis der aquatischen Nahrungskette: Bakterien, Einzeller), Stoffe aus dem Wasser aufzunehmen, einher. Dies führt dazu, dass auch Schadstoffe in hohem Maße aufgenommen und in Biota angereichert werden. Die Konsequenz aus dieser Überlegung ist, dass kontaminiertes Grundwasser aus der Umgebung von Quellen zu entfernen ist. Zudem wird in manchen Regionen Quellwasser direkt als Trinkwasser genutzt, so dass dieser sensible Bereich besondere Aufmerksamkeit erfordert.

2.3. Bewertung der chronischen Toxizität

Die Untersuchung der chronischen Toxizität (vgl. Tab. 2) ist ein Bewertungsschritt, der für größere Fließgewässer optional dann durchgeführt werden sollte, wenn hohe Frachten über längere Zeiträume dem Gewässer zufließen. Als Gefährdungsschwelle greifen wir eine Empfehlung aus dem Bereich der Abfallbewertung auf. 1 Volumenprozent des kontaminierten Wassers sollten im Daphnien-Langzeittest

(10 ml / kontaminierte Probe/990 ml Standardwasser) nicht mehr als 20 % Hemmwirkung haben.

Für kleinere Fließgewässer sollte die Prüfung der chronischen Toxizität als obligater Schritt erfolgen. 1/1000 der Niedrigwasserschüttung sollte nicht mehr als 20 % Hemmwirkung auf Wachstum und Reproduktion von Daphnien haben.

Bei Exfiltration in kleinere Fließgewässer sollte die unverdünnte Probe keine chronische Wirkung haben.

2.4 Bewertung von trinkwasserrelevanten Kontaminationen

Für Kontaminationen in Trinkwassergewinnungsgebieten sind wirbeltierbezogene Gefährdungsschwellen anzulegen. Bei der Beurteilung von Rohwasser zur Trinkwassergewinnung wird eine tägliche Aufnahme/Ausscheidung von 2 Litern Trinkwasser zugrunde gelegt. Als Stand der Wissenschaft wird derzeit diskutiert, dass die extrahierbare Schadstofffracht von 2 Litern Trinkwasser im Fischeitest keine teratogene, und in weiteren wirbeltierspezifischen Tests keine endokrin-, gen-, immuno- oder neurotoxische Wirkung haben sollte. Dieser Ansatz wird im Leitfaden nicht vertieft.

2.5 Einsatz von biologischen Testverfahren bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen

Entscheidungshilfen im Hinblick auf Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung bei Überschreitung von

Tab. 2: Einsatzkriterien und Toxizitätsschwellen zur Bewertung der chronischen Toxizität mit dem Daphnien-Langzeittest nach OECD 211.

Hydrogeologische Charakterisierung	Große Fließgewässer		Kleine und mittlere Fließgewässer	
	Exfiltration Baggergut/ BuWaStr	Oberflächiger Eintrag Gereinigtes Abwasser	oberflächliche Fließstrecke	Exfiltration Fließstrecke/Quelle
Status des Verfahrens	Optional bei hohen Frachten und langer Exposition	Optional bei langer Exposition	obligat	obligat
Toxizitätsschwelle	1 Volumen-% <20 % Hemmung	1 Volumen-% <20 % Hemmung	1/1000 Niedrigwasserschüttung <20 % Hemmung	unverdünnte Probe: keine Hemmwirkung

Gefährdungsschwellen ergeben sich aus der Kombination von Testverfahren zur Erfassung der biologischen Abbaubarkeit mit den Standardverfahren der aquatischen Toxizität (Tab. 1). Oft sind Schadstoffgemische nur unter den Bedingungen der Grundwasserumwelt persistent. Die biochemische Diversität der Oberflächengewässer und die Vielfalt der physikochemischen Bedingungen in Mikrohabitaten (Licht, Redox, pH etc.) ermöglicht oft eine rasche Reduktion der Schadwirkung. Die Kenntnis der Schadwirkung nach Behandlung mit Modellkläranlagen kann insbesondere bei Entscheidungen über Maßnahmen der in-situ Sanierung/ natural attenuation hilfreich sein.

2.6 Forschungsbedarf

Bei der Erprobung des Einsatzes von biologischen Testverfahren zur Bewertung von Altlasten hat sich gezeigt, dass u. a. im Bezug auf die beiden folgenden Punkte Forschungsbedarf besteht.

- Zur vergleichenden Bewertung experimenteller Befunde wäre die Kenntnis der aquatischen Toxizität der in vielen Altlastenfällen vorkommenden Kontaminanten hilfreich. Gerade die Schadstoffe

jedoch, die im Altlastenbereich oft auftreten, wurden nicht unter den standardisierten Bedingungen der ökotoxikologischen Testbatterie gemäß Tab. 1 untersucht. Meist handelt es sich um Stoffe, deren Gesundheitsschädlichkeit schon vor der Etablierung der Teststrategie der aquatischen Toxizität bekannt war.

- Zuverlässige Voraussagen über die Veränderung der Schadwirkung unter den Bedingungen des Vorfluters könnten einen wesentlichen Beitrag zur Frage nach der Tolerierbarkeit des Eintrages in Oberflächengewässer liefern. Es fehlen standardisierte Testverfahren für die Simulation des Bioabbaus/ -transformation in Oberflächengewässern im Labormaßstab, die eine Kopplung mit aquatischen Toxizitätstests erlauben.

Inzwischen wurde eine kleine Arbeitsgruppe gegründet aus Vertreterinnen und Vertretern der RPUen und dem HLUG. Ziel ist es, den erarbeiteten Leitfadentwurf für die Behördenpraxis aufzubereiten. Der Arbeitstitel lautet: „Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren“, die Veröffentlichung in der Handbuchreihe „Altlasten“ des HLUG ist geplant.

Autoren

Marie-Anne Feldmann, HLUG
Sabine von der Gönna, Gobio GmbH, Aarbergen
Petra Stahlschmidt-Allner, Gobio GmbH, Aarbergen