

Wie können Schadstoffeinflüsse auf Fließgewässer nachgewiesen werden?

Im Bereich Ökotoxikologie der EAWAG ist ein neuartiges, zwei-stufiges Verfahren zum Nachweis von Schadstoffeinflüssen erarbeitet worden. Damit wird es möglich, eine grosse Anzahl von Wasserproben auf ihr ökotoxikologisches Gefahrenpotenzial zu untersuchen. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, dass die Wasserproben auf alle heute relevanten toxischen Wirkmechanismen getestet werden. Das Verfahren wurde für das Modul-Stufen-Konzept entwickelt und eröffnet neue Perspektiven für ökotoxikologische Gewässerbeurteilungen.

Das Modul-Stufen-Konzept beinhaltet Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fließgewässern [1, siehe auch Artikel von A. Peter, S. 7]. Grundidee dieses Konzeptes ist die ganzheitliche Bewertung von Gewässern, wobei hydrologisch/morphologische, biologische, und chemisch/ökotoxikologische Aspekte erfasst werden. Über die Möglichkeiten einer ökotoxikologischen Beurteilung von Fließgewässern ist jedoch erst wenig bekannt. Im Rahmen einer interdisziplinären Arbeitsgruppe an der EAWAG und in Diskussionen mit ausländischen Experten wurde deshalb ein entsprechendes Ökotoxikologie-Modul entwickelt.

Substanzen mit ökotoxikologischer Wirkung

Von den heute rund 5 Millionen bekannten chemischen Verbindungen sind etwa 80 000 Chemikalien im Gebrauch und jährlich kommen 500–1000 neue Substanzen hinzu [2]. Bei der Herstellung, Verwendung und Entsorgung gelangen die Stoffe auch in die Umwelt. Sie stellen daher ein erhebliches Gefahrenpotenzial für Ökosysteme, wie z.B. Fließgewässer, dar. Wie Untersuchungen an Fischen gezeigt haben, können sogar relativ niedrige Schadstoffkonzentrationen zu Effekten führen, (siehe Artikel von P. Holm, S. 23). Problematisch dabei ist, dass diese geringen Schadstoffkonzentrationen mit den heute üblichen chemischen Analysemethoden zum Teil nicht mehr nachzuweisen sind. Ausserdem gibt es Chemikalien, die erst in Kombination mit anderen Stoffen eine ungünstige Wirkung ausüben. Für die Beurteilung von Substanzen oder

Substanzgemischen mit ökotoxikologischer Wirkung müssen deshalb neue Verfahren verwendet werden, die über die klassischen chemischen Untersuchungen hinaus gehen.

Klassische Testsysteme

Um die Toxizität von Chemikalien zu prüfen, wurden in den 50er Jahren die ersten Tests mit aquatischen Organismen entwickelt. Neben Chemikalien werden seit etwa 20 Jahren aber auch komplexe Umweltproben, z.B. Abwasser und Klärschlamm, geprüft. Der Vorteil ökotoxikologischer Tests gegenüber chemischen Wasseranalysen besteht darin, dass sie sowohl die Bioverfügbarkeit als auch die Wechselwirkungen von Schadstoffen berücksichtigen.

In den klassischen Tests werden Organismen, z.B. Bakterien, Algen, Wasserflöhe

oder Fische, den Wasserproben für eine bestimmte Dauer ausgesetzt. Die Schädlichkeit einer Probe wird dann entweder durch Messung der Mortalitätsrate oder der Wachstumshemmung bestimmt oder über die Beobachtung von Verhaltensstörungen beurteilt. Diese Tests sind in der Regel Kurzzeittests und sprechen deshalb meist nur bei relativ hohen Schadstoffkonzentrationen an, wie sie in Abwässern, aber selten in Fließgewässern auftreten. Ausserdem wird nur die direkte Toxizität gemessen, während andere Wirkmechanismen (z.B. Effekte durch hormonaktive oder Krebs erregende Substanzen) unerkannt bleiben. Die Tests sind daher für eine ökotoxikologische Beurteilung von Proben aus Fließgewässern nur bedingt geeignet. Langzeittest sprechen auch bei niedrigen Schadstoff-

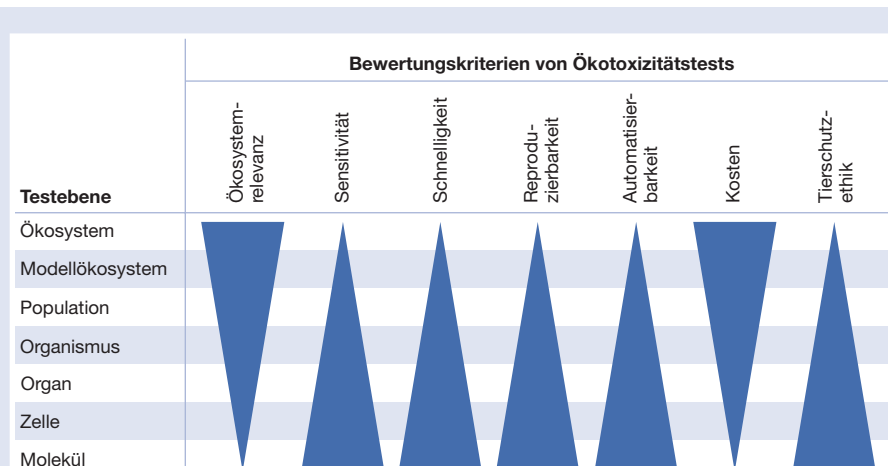
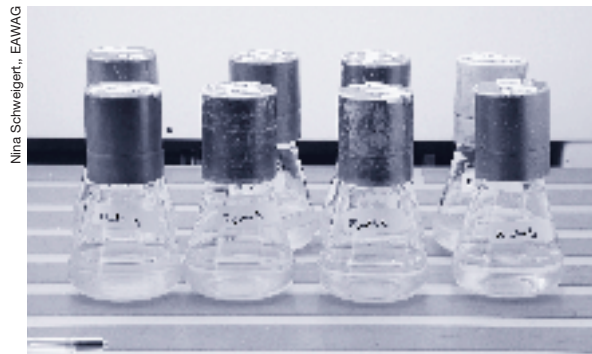
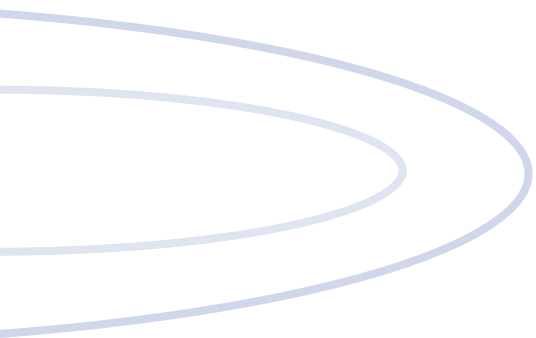


Abb. 1: Bewertungskriterien für Ökotoxizitätstests. Die Kriterien sind je nach betrachteter biologischer Ebene unterschiedlich stark ausgeprägt.



Nina Schweigert, EAWAG

Viele einzellige Organismen (hier Grünalgen) und Zelllinien lassen sich einfach kultivieren.

konzentrationen an. Sie sind aber aufwändig und teuer und werden meist erst eingesetzt, wenn bereits Hinweise für ein Gefahrenpotenzial vorliegen.

Die meisten klassischen Tests sind auf nationaler und internationaler Ebene standardisiert worden, insbesondere durch die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD) und die Internationale Normen-

organisation (ISO). Eine Standardisierung gewährleistet die gleichbleibende Empfindlichkeit der Organismen und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse in verschiedenen Laboratorien.

Alternative Testsysteme

Neben den klassischen Testsystemen stehen für die ökotoxikologische Bewertung

von Fließgewässern noch weitere Verfahren zur Verfügung, die auf unterschiedlichen Ebenen ansetzen (Abb. 1): Die Wirkung von Schadstoffen, die einen Organismus und letztlich ein Ökosystem beeinflussen, etabliert sich zunächst auf molekularer Ebene. Als erste Effekte können Schäden an Proteinen, der DNA oder Membranlipiden festgestellt werden. Werden diese Schäden nicht repariert, pflanzen sie sich mit zeitlicher Verzögerung auf höhere Ebenen fort und können sich auf Zellen, Organe und den Gesamtorganismus auswirken. Schadstoffeffekte können sich schliesslich auch in Populationen, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen manifestieren, z.B. indem Populationen kleiner werden, Krankheiten zunehmen, Räuber-Beute-Beziehungen verändert werden oder sich das Artenspektrum verschiebt. Für einen Grossteil der alternativen Testsysteme steht eine Standardisierung allerdings noch aus.

Molekulare und zelluläre Methoden: Da molekulare und zelluläre Effekte schnell auftreten, kann mit ihnen das Gefahrenpotenzial von Wasserproben frühzeitig abgeschätzt werden. Molekulare und zelluläre Testsysteme sind in der Regel gut reproduzierbar und oft sensitiver als klassische Tests. Die Kosten sind vergleichsweise niedrig und die Tests sind schnell und einfach durchzuführen (Abb. 1). Molekulare und zelluläre Testsysteme werden in der aquatischen Ökotoxikologie bisher nur in Forschungsprojekten eingesetzt, während sie in der Säugetiertoxizität seit langem Routine sind. Sie haben den weiteren Vorteil, dass nicht nur die direkte Toxizität gemessen wird, sondern auch andere relevante Wirkmechanismen abgedeckt werden können.

Neues Konzept für die Fließgewässerbeurteilung

Aufgrund der obigen Überlegungen und Erkenntnissen ist das folgende Konzept entstanden (Abb. 2): Die Untersuchung der Wasserproben wird in 2 Stufen vorgenommen. Zunächst wird das toxische Gefahrenpotenzial der Wasserproben mit Hilfe von

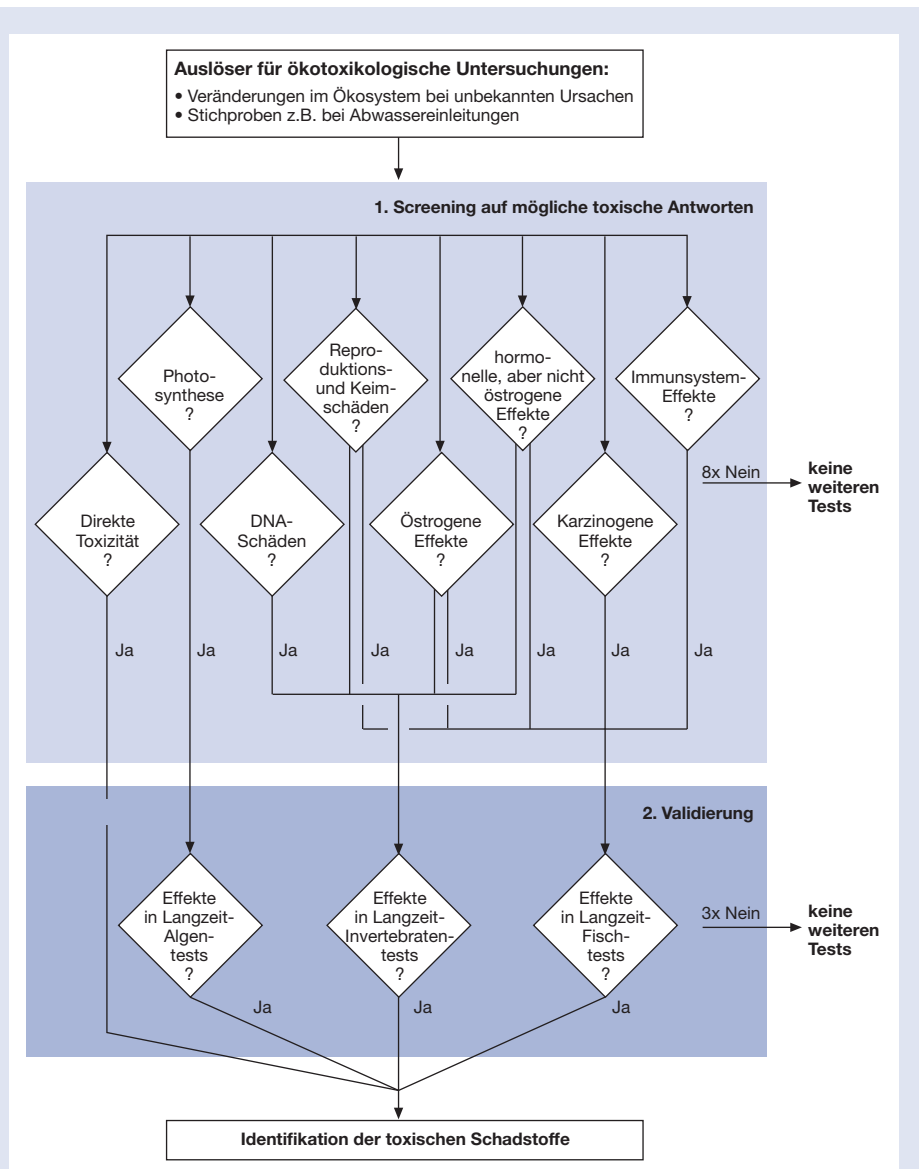
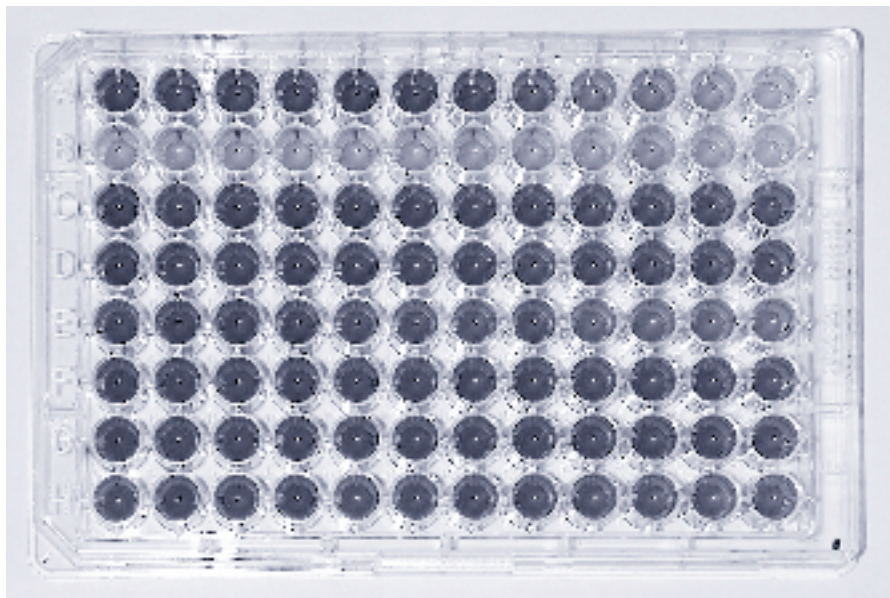


Abb. 2: Zweistufiges Verfahren des Ökotoxikologie-Moduls zur Bewertung von Fließgewässern.



Nina Schweigert, EAWAG

Östrogene Wirkungen von Abwässern verschiedener Herkunft auf genetisch veränderten Hefezellen. Dunkle Reagenzgefässe: östrogene Wirkung; helle Reagenzgefässe: keine östrogene Wirkung.

molekularen und zellulären Tests ermittelt. Anschliessend werden die positiven Antworten aus der ersten Stufe validiert, das heisst, es wird überprüft, ob sich das toxische Potenzial auch auf Organismen-Ebene etabliert. Auslöser für Untersuchungen können Hinweise auf Abwassereinleitungen und auf die Ausprägung von biologischen Störungen sein. Zusätzlich können Stichproben genommen werden, um gefährdete Standorte zu identifizieren.

Stufe 1: Das Gefahrenpotenzial einer Wasserprobe wird mit Hilfe von Zellkulturen und einzelligen Organismen ermittelt. Dabei sollen neben der direkten Toxizität auch feinere Mechanismen von Schadstoffeinwirkungen aufgedeckt werden. Deshalb werden die Wasserproben nicht nur einem Testverfahren unterzogen, sondern mit verschiedenen zellulären Testsystemen in einer Testbatterie geprüft. Auf molekularer Ebene werden rekombinante Zelllinien von Invertebraten und Fischen auf Effekte wie Kanzerogenität, Hormonaktivität oder Schäden am Immunsystem untersucht. Einzellige Algen dienen als Vertreter des Pflanzenreichs zur Bestimmung von Effekten auf die Photosynthese. Schliesslich wird die direkte Toxizität der Wasserproben mit Hilfe von Bakterien bestimmt. Auf der ersten Stufe werden keine höher entwickelten Versuchstiere wie Wasserflöhe und Fische eingesetzt. Für den Fall, dass alle Tests der Stufe 1 negativ ausfallen, können die Wasserproben als ungefährlich eingestuft werden. Es folgen keine weiteren Untersuchungen.

Die vorgestellte Testbatterie sollte stets an die aktuellen Anforderungen angepasst sein. Einerseits sollten nach Entwicklung einfacherer oder sensitiverer Methoden ein-

zelne Tests ausgetauscht werden, andererseits muss die Batterie durch neue Tests erweitert werden, die auf heute noch unbekannte Wirkmechanismen ansprechen.

Stufe 2: Es wird jeweils nur die Organismengruppe weiter untersucht, die auf der 1. Stufe eine positive Antwort gegeben hat. So werden auch hier unnötige Tierversuche vermieden. Als Vertreter für die jeweiligen Organismengruppen sollen Arten herangezogen werden, die typisch für das Gewässer sind, in der die Wasserprobe genommen wurde. Es muss sich aber in jedem Fall um eine relativ sensitive Art handeln, die im Labor gehalten werden kann. Mit diesen Organismen wird dann in einem Langzeittest der auf Stufe 1 gemessene Effekt näher untersucht. Ist die Antwort diesmal negativ, so ist zwar auf zellulärer Ebene ein Gefahrenpotenzial vorhanden, welches sich aber auf Organismen-Ebene nicht etabliert. Die Wasserproben können als ungefährlich eingestuft werden. Bestätigt sich die Toxizität auf Stufe 2, muss versucht werden, den Schadstoff zu identifizieren, um geeignete Massnahmen einleiten zu können. Ist jedoch das Zusammenwirken mehrerer Schadstoffe die Ursache für den gemessenen Effekt, wird eine Identifikation der Schadstoffe schwierig oder gar unmöglich sein. In diesem Fall muss pragmatischer vorgegangen werden, indem beispielsweise die Reduktion aller vorhandenen Schadstoffe angestrebt wird.

Fazit

Mit diesem neuartigen Konzept liegt ein viel versprechender Ansatz zur ökotoxikologischen Fliessgewässerbewertung vor. Dabei kann eine Vielzahl von Wasserproben auf

alle relevanten Wirkmechanismen untersucht werden. Die Anzahl der Tierversuche wird stark reduziert. Nur bei Wasserproben, in denen ein Gefahrenpotenzial entdeckt wird, werden Organismen in Langzeittests untersucht. Die grosse Herausforderung liegt nun darin, das Verfahren bis zur Anwendungsreife zu entwickeln. Im nächsten Schritt müssen die noch offenen Fragen geklärt und das Konzept muss in einer Vorstudie an Fallbeispielen geprüft werden.



Nina Schweigert, promovierte Biologin, hat an der EAWAG im Rahmen eines Postdoktorats das vorliegende Konzept zur ökotoxikologischen Fliessgewässerbewertung zusammen mit den KoautorInnen ausgearbeitet. Seit Ende April 2001 ist

sie wieder an der EAWAG, um dieses Konzept umzusetzen.

KoautorInnen:

Renata Behra, promovierte Biologin, Leiterin der Arbeitsgruppe «Ökotoxikologie: Populationen und Gemeinschaften»
Rik Eggen, promovierter Molekularbiologe, Leiter der Abteilung «Umweltmikrobiologie und molekulare Ökotoxikologie»
Beate Escher, promovierte Chemikerin, Leiterin der Arbeitsgruppe «Wirkmechanismus-orientierte Chemikalienbewertung»
Patricia Holm, promovierte Biologin, Leiterin des Projektes «Netzwerk Fischrückgang Schweiz»

[1] BUWAL (1998): Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26, 43 Seiten.

[2] Fent K. (1998): Ökotoxikologie. Thieme Verlag, Stuttgart, 288 Seiten.