



DECIDE – Entwicklung und Evaluierung eines ökotoxikologischen, wasserrahmenrichtlinienkonformen Bewertungssystems für Fließgewässer

Delia Hof^a (d.hof@bio.uni-frankfurt.de), Thomas Bing^b (thomas.bing@mesocosm.de), Peter Ebke^b (ebke@mesocosm.de), Anita Herold^a (anita.herold@gmx.de), Sebastian Heß^c (sebastian.hess@senckenberg.de), Jörg Oehlmann^a (oehlmann@bio.uni-frankfurt.de), Andrea Sundermann^b (andrea.sundermann@senckenberg.de), Matthias Oetken^a (oetken@bio.uni-frankfurt.de)

^a Goethe-Universität Frankfurt am Main, Abteilung Aquatische Ökotoxikologie

^b Mesocosm GmbH - Institut für Gewässerschutz, Homberg (Ohm)

^c Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Sektion Flussökosystemmanagement, Gelnhausen

Abstract

Aquatische Ökosysteme haben eine große ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Bedeutung. Fortschreitende anthropogene Eingriffe, insbesondere stoffliche Einträge und eine morphologische Degradation, gefährden die von ihnen bereitgestellten Ökosystemleistungen. Um dieser Degradation entgegenzuwirken, ist die Identifizierung der Hauptbelastungen unabdingbar. Im Projekt DECIDE soll ein ökotoxikologisches Bewertungssystem für Fließgewässer weiterentwickelt und implementiert werden, um den möglichen Beitrag stofflicher Belastungen für den defizitären Gewässerzustand identifizieren zu können und so ein effektives Gewässermanagement zu unterstützen.

Einleitung

Rund 90% der deutschen Oberflächengewässer erfüllen aktuell nicht die Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) 2000/60/EG. Kein einziges Oberflächengewässer befindet sich derzeit in einem guten chemischen Zustand und lediglich 8% erfüllen den guten ökologischen Zustand (UBA, 2021; UBA 2017).

Gründe für das Nicht-Erreichen der Ziele sind einerseits Einträge von Spurenstoffen durch Punktquellen (z.B. kommunale und industrielle Kläranlagen) und diffuse Einträge, insbesondere aus der Landwirtschaft, andererseits aber auch anthropogene Eingriffe in die Gewässerstruktur wie beispielsweise Begradigungen. Um die Ziele der EU-WRRL zu erreichen, sollen auch im aktuellen 2. Bewirtschaftungszyklus Maßnahmen an relevanten Belastungsschwerpunkten veranlasst werden, wobei ein Großteil der Maßnahmen auf die Schwerpunkte „Abflussregulierung und morphologische Veränderungen“, sowie „Diffuse Quellen“ fällt. Ziel ist es, durch die Identifikation der wesentlichen Belastungsquellen erfolgreiche Maßnahmen zur Verbesserung defizitärer Gewässer durchzuführen. In der Umsetzung zeigt sich jedoch, dass Probleme durch eine Vielzahl unterschiedlichster Ursachen hervorgerufen werden, welche in komplexer und teilweise noch unbekannter Art zusammenwirken. Eine exakte Ursachenrückverfolgung stellt sich als so schwierig dar, dass Maßnahmen

aktuell überwiegend auf Basis praktischer Gründe und weniger zielgerichtet entschieden werden.

Das Ziel des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts DECIDE (AZ 35663/01) ist die Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems als Grundlage für ein nachhaltiges Gewässermanagement und die Unterstützung behördlicher Aufgaben. Dieses ökotoxikologisch-basierte und wasserrahmenrichtlinienkonforme Bewertungssystem soll differenzieren, ob stoffliche Einträge oder eine defizitäre Gewässerstruktur hauptsächlich für das Nicht-Erreichen eines guten ökologischen Zustands sind. Der Hauptfokus liegt hierbei auf der Abschätzung und möglichen Quantifizierung von Schadstoffen aus diffusen Einträgen und Punktquellen als Ergänzung zu bereits bestehenden Verfahren zur Bewertung gewässerökologischer Defizite. Nur durch das Erkennen der Ursache(n) können wasserwirtschaftliche Maßnahmen sinnvoll priorisiert und umgesetzt werden, um das Ziel des guten ökologischen Zustandes zu erreichen. Die Untersuchungen wurden an verschiedenen Fließgewässersystemen in der Modellregion Hessisches Ried durchgeführt, das von großer Bedeutung für die Trinkwasserversorgung Hessens ist, insbesondere der Metropolregion Rhein-Main. Zudem wurde jüngst vom Land Hessen eine Strategie zur Vermeidung und Verminderung des Spurenstoffeintrags in die Gewässer des Rieds entwickelt (HMUKLV, 2018). Ziel dieser „Spurenstoffstrategie Hessisches Ried“ ist es, durch geeignete Maßnahmen die stoffliche Belastung der Fließgewässer im Ried zu vermindern sowie die Grundwasservorkommen im Ried langfristig für die Trinkwassernutzung zu schützen. Das Hessische Ried erstreckt sich über eine Fläche von ca. 1.200 km² und wird durch den Main im Norden, den Odenwald im Osten, den Neckar im Süden und den Rhein im Westen begrenzt. Im Verlauf der ersten Projektphase erfolgte eine ökotoxikologische Bewertung des Gersprenz-Einzugsgebietes (EZG) als Teilgebiet des Hauptuntersuchungsgebiets „Hessisches Ried“ mit Hilfe diverser In-vitro- und In-vivo-Experimente.

Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet

Das EZG der Gersprenz befindet sich in Hessen, südöstlich von Frankfurt am Main und umfasst ca. 515 km² (HLNUG WRRL-Viewer). Die Gewässer im EZG weisen aufgrund unterschiedlicher Einträge und struktureller Defizite keinen guten ökologischen Zustand nach EU-WRRL auf. Im Rahmen des DECIDE-Projekts wurden 15 Probestellen im EZG der Gersprenz untersucht. Fünf dieser Probestellen (G3, G*4, G5, G*6, G*7) sollen hier vorgestellt werden (Abb. 1). In der Gersprenz befinden sich die Probestellen G3 und G5, die weiteren Probestellen (gekennzeichnet mit *) befinden sich in Zuläufen des Mittel- und Unterlaufs der Gersprenz. Davon liegen G*6 und G*7 ober- bzw. unterhalb der Kläranlage (KA) Reinheim-Spachbrücken. Insgesamt leiten 8 KA der Größenklasse 4 und eine KA der Größenklasse 3 in das EZG der Gersprenz ein. In Summe wird die Schmutzfracht von insgesamt 9 KA und damit knapp 180.000 angeschlossenen Einwohnern eingeleitet. Durch die hohe Besiedlungsdichte, urban genutzten Flächen mit Regen- und Mischwassereinleitern, aber auch durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung (Abb. 1) wird sowohl eine höhere stoffliche Belastung als auch eine starke bis vollständige strukturelle Veränderung durch anthropogene Einflüsse erwartet.

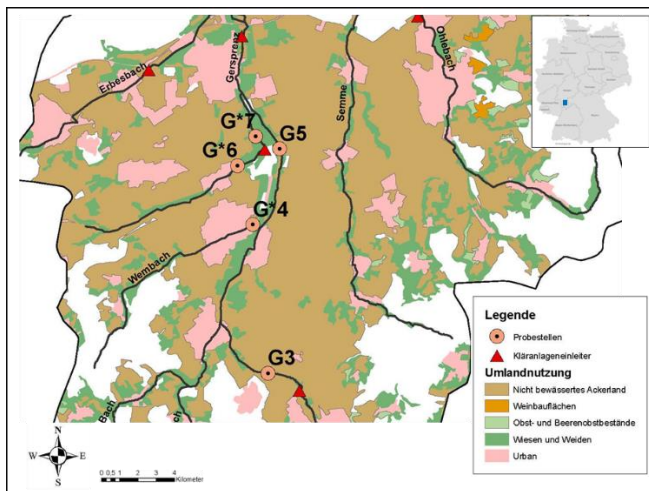


Abbildung 1: Einzugsgebiet der Gersprenz mit Probestellen, Kläranlagen und Umlandnutzung (Quelle Deutschlandkarte: <https://www.mixmaps.de/deutschland/karte.html>; modifiziert).

Die Testsysteme

Für die ökotoxikologische Bewertung des Gewässers wurde eine Kombination von In-vivo- und In-vitro-Versuchen durchgeführt. Für die In-vivo-Tests wurde die Zwergdeckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum* verwendet. Hierbei handelt es sich um einen Standardtestorganismus nach OECD (OECD, 2016). Durch die Sensitivität gegenüber reproduktionstoxischen Stoffen, darunter endokrinen Disruptoren (EDC), eignet sich *P. antipodarum* als Anzeiger für anthropogene Spurenstoffe aus Abwasser von Kläranlagen (Duft et al., 2007; Giebner et al., 2018; Gust et al., 2014). Für die Untersuchungen wurden Schnecken mit einer Schalenlänge zwischen 3,5 bis 4,5 mm

aus der laboreigenen Zucht entnommen. Diese wurden sowohl im Rahmen des aktiven Monitorings (AM) im Freiland eingesetzt, als auch parallel im Laborexperiment (LE) einem kombinierten Sediment-Wasser-System der Probestellen exponiert. Des Weiteren wurden angereicherte Wasserproben im Labor auf ihr ökotoxikologisches Wirkpotential überprüft. Die Detektion von endokrinen und dioxinähnlichem Wirkpotential erfolgte mittels rekombinanter Hefereporter-Gen-Assays mit *Saccharomyces cerevisiae* (Giebner et al., 2018). Eine mögliche Mutagenität wurde anhand des Ames-Fluktuationstest mit den Stämmen TA98, TA100, YG1041 und YG1042 von *Salmonella typhimurium* (ISO 11350, Hagiwara et al., 1993) ermittelt und die Basistoxizität mit *Allivibrio fischeri* im Mikrottox-Assay (ISO 11348, Völker et al. 2019) bestimmt. Die oben genannten Effekt-Assays wurden in einem weiteren Schritt auch für extrahierte Sedimentproben ermittelt.

Ökotoxikologische Zustandsbewertung

Um die wesentliche Ursache für das Nicht-Erreichen der Ziele der EU-WRRL zu ermitteln, muss sowohl die ökotoxikologische als auch ökologische Zustandsklasse ermittelt werden, um geeignete Managementmaßnahmen ergreifen zu können. Basierend auf Brettschneider et al. (2019) wurde ein ökotoxikologisches und wasserrahmenrichtlinienkonformes Bewertungssystem erarbeitet, welches im Rahmen des DECIDE-Projekts weiterentwickelt werden soll. Dazu werden die Wasser- und Sedimentphase separat ökotoxikologisch bewertet und das Ergebnis mit den Zustandsklassen der biologischen Qualitätskomponenten Makrozoobenthos und der Gewässerstrukturgüte (GSG) verglichen. Die Bewertung des ökologischen Zustands des Makrozoobenthos (MZB) wurde nach Meier et al. (2006) und die des ökologischen Zustands der GSG nach LANUV, Pottgiesser et al. (2018) durchgeführt. Aus diesen vier Bestandteilen ergibt sich eine Vierfeldertafel (Abb. 2) mit einer Farbcodierung nach EU-WRRL. Die Ermittlung und Einteilung in Klassengrenzen und die jeweilige Gewichtung der einzelnen In-vitro- und In-vivo-Ergebnisse für die Bewertung der Ökotoxikologie erfolgte nach Brettschneider et al. (2019).

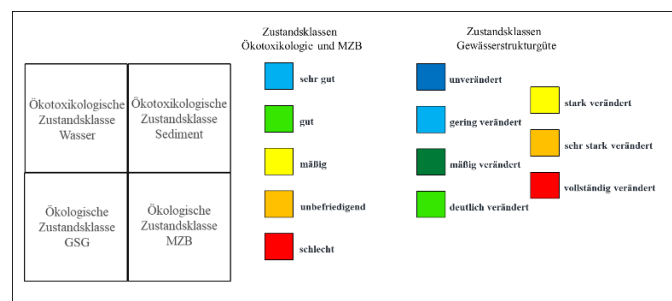


Abbildung 2: Bewertung der Zustandsklassen (verändert nach Brettschneider et al. 2019).

Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden sind die ermittelten ökotoxikologischen und ökologischen Zustandsklassen der fünf ausgewählten Probestellen dargestellt (Abb. 3), und es wird eine erste Ein-

schätzung gegeben, ob stoffliche Einträge oder strukturelle Defizite das Erreichen eines guten ökologischen Zustands verhindern. Die ökotoxikologische Bewertung sowie die ökologische Bewertung des MZB wurde in 5 Klassen, die ökologische Bewertung der Gewässerstrukturgüte (GSG) in 7 Klassen unterteilt. Bei einer identischen Zustandsklasse für Ökotoxikologie und Ökologie oder einer nicht mehr als eine Klasse schlechteren Ökologie, kann eine stoffliche Belastung als dominierender Faktor vermutet werden. Falls die Ökotoxikologie mehr als eine Klasse besser bewertet wird als die Ökologie, kann von einem strukturellen Defizit ausgegangen werden. Die Zustandsklasse der GSG wird aktuell lediglich als Indikator für die strukturelle Situation miteinbezogen.

Bei Probestelle G3 wurde der ökotoxikologische Zustand „mäßig“ (Klasse 3) ermittelt. Das MZB ist als „unbefriedigend“ (Klasse 4) bewertet und die GSG als „stark verändert“ (Klasse 5). Da die Ökologie nicht mehr als eine Klasse besser ist als die Ökotoxikologie, ist hier dennoch eine Priorisierung der stofflichen Reduktion (KA, Landwirtschaft und urban genutzte Flächen) notwendig. Jedoch zeigen sich auch Defizite des ökologischen Zustandes, daher dürfen diese bei Maßnahmen zum Erreichen der WRRL-Ziele nicht unbeachtet bleiben.

An Probestelle G*4 zeigt sich eine „gute“ (Klasse 2) ökotoxikologische Bewertung. Die GSG weist mit „vollständig verändert“ (Klasse 7) den schlechtesten Zustand der hier vorgestellten Probestellen auf. Der ökologische Zustand des MZB wird als „unbefriedigend“ (Klasse 4) eingestuft und ist damit um zwei Klassen schlechter als die Ökotoxikologie. Der defizitäre strukturelle Zustand steht daher als Hauptursache für den schlechten ökologischen Zustand im Vordergrund, weshalb Maßnahmen für eine Verbesserung der Hydromorphologie zu priorisieren wären.

Der ökotoxikologische Zustand des Sediments an Probestelle G5 wurde als „unbefriedigend“ (Klasse 4) und der des Wassers als „mäßig“ (Klasse 3) bewertet. Die GSG wurde als „deutlich verändert“ (Klasse 4) und das MZB als „mäßig“ (Klasse 3) eingestuft. Durch den teils schlechteren Zustand der Ökotoxikologie kann auf stoffliche Einträge als Faktor für den mäßigen Zustand des MZB geschlossen werden. Eine Reduktion der stofflichen Belastung wäre hier zu priorisieren.

An der Probestelle G*6 wird der sowohl der Zustand der Ökotoxikologie, als auch der ökologische Zustand des MZB als „unbefriedigend“ (Klasse 4) eingeteilt. Die GSG wird als „stark verändert“ (Klasse 5) bewertet. Auch hier können v.a. stoffliche Einträge (landwirtschaftlich und urban genutzte Flächen, s. Abb. 1), aber auch eine defizitäre Struktur den unbefriedigenden Zustand des MZB hervorrufen. Neben der Priorisierung der Reduktion von stofflichen Einträgen (z.B. breitere Gewässerstrandstreifen) sollte daher auch eine hydromorphologische Verbesserung durchgeführt werden.

Der ökotoxikologische Zustand des Wassers an G*7 wird als „unbefriedigend“ (Klasse 4) und der des Sediments als „schlecht“ (Klasse 5) bewertet. Der ökologische Zustand des MZB befindet sich in einem „schlechten“ (Klasse 5) Zustand, der der GSG in einem „deutlich veränderten“ (Klasse 4) Zustand. Die Probestelle befindet sich unmittelbar unterhalb einer KA (mutagenes Potential und erhöhte Basistoxizität des Sediments nachgewiesen). Maßnahmen zur Reduktion von stofflichen Einträgen sind hier zu priorisieren. Möglich wäre z.B. eine Aufrüstung der Kläranlage, um eine umfassendere Eliminierung zu gewährleisten (UBA, 2015).

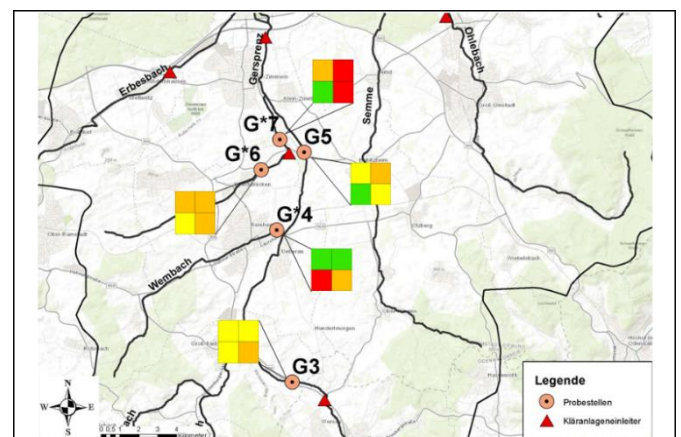


Abbildung 3: Ökotoxikologische und ökologische Bewertung der Probestellen.

Fazit und Ausblick

Durch das Bewertungssystem lassen sich Unterschiede ökologischer und ökotoxikologischer Zustände leicht visualisieren, und es kann ein guter integrativer Überblick über den Zustand des Gewässers gegeben werden. Vor allem unterhalb von Kläranlagen und urbanen sowie landwirtschaftlich genutzten Flächen ist der Einfluss stofflicher Einträge deutlich messbar. Die Ergebnisse aus dem EZG der Gersprenz zeigen, wie stoffliche Einträge aus Punkt- und diffusen Quellen sowie komplexe Mischungen von Stoffen und deren Effekte neben strukturellen Defiziten zum defizitären Zustand beitragen. Jedoch ist hier zu beachten, dass die Ergebnisse weiterer In-vivo- und In-vitro-Tests zum Zeitpunkt dieser Bewertung noch nicht vorlagen und es sich zunächst um eine erste Einschätzung im laufenden Projekt handelt. Dieses kann unter https://www.bio.uni-frankfurt.de/92589926/ContentPage_92589926 eingesehen werden.

Das ökotoxikologische, wasserrahmenrichtlinienkonforme Bewertungssystem auf Basis von Brettschneider et al. (2019) wird im Projekt DECIDE weiterentwickelt und modifiziert, so dass neben dem endokrinen Potential zusätzliche Wirkebenen wie „dioxinähnliche, mutagene und neurotoxische Effekte“ sowie die Phytotoxizität erfasst werden. Letztlich soll aufbauend auf einer Vielzahl experimentell erhobener Wirkdaten eine Toolbox für das effektbasierte Monitoring von Fließgewässern entwickelt werden.

Literatur

- Brettschneider, D. J.; Misovic, A.; Schulte-Oehlmann, U.; Oetken, M.; Oehlmann, J. (2019): Detection of chemically induced ecotoxicological effects in rivers of the Nidda catchment (Hessen, Germany) and development of an ecotoxicological, Water Framework Directive-compliant assessment system. *Environmental Science Europe* 31 (1) N7 <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0190-4>
- Duft, M.; Schmitt, C.; Bachmann, J.; Brandelik, C.; Schulte-Oehlmann, U.; Oehlmann, J. (2007): Prosobranch snails as test organisms for the assessment of endocrine active chemicals--an overview and a guideline proposal for a reproduction test with the freshwater mudsnail *P. antipodarum*. *Ecotoxicology* 16 (1), S. 169–182.
- Giebner, S.; Ostermann, S.; Straskraba, S.; Oetken, M.; Oehlmann, J.; Wagner, M. (2018): Effectivity of advanced wastewater treatment: reduction of in vitro endocrine activity and mutagenicity but not of in vivo reproductive toxicity. *Environmental Science and Pollution Research International* 25 (5), S. 3965–3976.
- Gust, M.; Gagné, F.; Berlioz-Barbier, A.; Besse, J. P.; Buronfosse, T.; Tournier, M. et al. (2014): Caged mudsnail *Potamopyrgus antipodarum* (Gray) as an integrated field biomonitoring tool: exposure assessment and reprotoxic effects of water column contamination. *Water Research* 54, S. 222–236.
- Hagiwara, Y.; Watanabe, M.; Oda, Y.; Sofuni, T.; Nohmi, T. (1993): Specificity and sensitivity of *Salmonella typhimurium* YG1041 and YG1042 strains possessing elevated levels of both nitroreductase and acetyltransferase activity. *Mutation Research* 291, 171–180. [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(93\)90157-U](https://doi.org/10.1016/0165-1161(93)90157-U)
- HLNUG (2021): Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: WRRL-Viewer. <https://wrrl.hessen.de/mapapps/resources/apps/wrrl/index.html?lang=de>
- HMUUKLV (2018): Spurenstoffstrategie Hessisches Ried. Stand: 30. April 2018. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- ISO-Guideline 11348-3 (2007): Water quality - Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) - Part 3: Method using freeze-dried bacteria
- ISO-Guideline 11350 (2012): Water quality - Determination of the genotoxicity of water and wastewater - Salmonella/ microsome fluctuation test (Ames fluctuation test).
- Meier, C.; Haase, P.; Rolaufts, P.; Schindehütte, K.; Schöll, F.; Sundermann, A.; Hering, D. (2006): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung. Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2016): Test No. 242: *Potamopyrgus antipodarum* Reproduction Test.
- Pottgiesser, T.; Dr. Müller A.; Behrens, S.; Münzinger, A.; Schultze, A. (2018): Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer. LANUV-Arbeitsblatt 18.
- UBA, Umweltbundesamt (2015): Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern. Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. Dessau-Roßlau.
- UBA, Umweltbundesamt (2017): Gewässer in Deutschland. Zustand und Bewertung. Dessau-Roßlau.
- UBA, Umweltbundesamt (2021): 20 Jahre Wasserrahmenrichtlinie: Empfehlungen des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau
- Völker J., Misovic A. (2019): Bakterientoxizitätstest mit *Aliivibrio fischeri* – Standard Operation Procedure. Version 1.0 Deutsch. Department Aquatic Ecotoxicology, Institute of Ecology, Evolution and Diversity, J.W. Goethe University Frankfurt, Germany.

Korrespondenzadresse

Delia Lara Hof
 Abteilung Aquatische Ökotoxikologie
 Goethe Universität Frankfurt am Main
 Max-von-Laue-Straße 13
 60438 Frankfurt am Main
 Tel.: 069-79842151
 E-Mail: D.hof@bio.uni-frankfurt.de
<http://www.ecotox.uni-frankfurt.de>