

Effektstudien in der Risikobewertung: Das Projekt Effect-Net und Ergebnisse des Workshops

„Von der biologischen Wirkung zur Regulierung: Wie können neue Ansätze in der Stoffbewertung helfen?“

Rita Triebkorn (Tübingen), Ulrike Scherer (Karlsruhe) und Thomas Braunbeck (Heidelberg)

Die Untersuchung der Effekte von Chemikalien auf Organismen ist essentieller Bestandteil in der Umweltrisikobewertung. Hierfür werden standardisierte Tests eingesetzt; daneben existieren aber zahlreiche neue Methoden, die am 11. und 12. März 2019 an der Universität Tübingen bei dem vom Projekt Effect-Net organisierten Workshop „Von der biologischen Wirkung zur Regulierung: Wie können neue Ansätze in der Stoffbewertung helfen?“ erörtert wurden. 120 VertreterInnen aus Wissenschaft, Behörden, Forschungseinrichtungen, Industrie und von Wasserversorgern diskutierten über neue Methoden und Konzepte zur früheren und sensitiveren Erkennung von Umweltschäden durch Chemikalien. Im Fokus stand die Frage, wie sich diese Methoden in die Risikobewertung von Stoffen und in das Methodenrepertoire zur Beurteilung der Gewässerqualität integrieren lassen.

1 Einleitung

Neben strukturellen Veränderungen, Klimawandel, invasiven Arten und Nährstoffbelastungen gelten auch Chemikalien als bedeutende Treiber für den fortschreitenden Artenrückgang in aquatischen Ökosystemen [1,2,3,4]. Dies ist der Fall, obgleich die akute Belastung mit typischen priorisierten Schadstoffen in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen ist und sich die Gewässergüte basierend auf konventionellen Gewässer-

parametern europaweit verbessert hat [5]. Allerdings nahm parallel mit der Reduktion hoch toxischer Stoffe die Anzahl an Chemikalien, die in die Umwelt gelangen und gegebenenfalls chronische Wirkungen verursachen können, in den letzten Jahrzehnten drastisch zu. Auch wurden z. B. in der Entwicklung von Medikamenten immer effektivere und spezifischer wirkende Wirkstoffe entwickelt, die aufgrund ihrer Stabilität auch in Gewässern gelangen können. Weltweit sind derzeit mehr als 145 Millionen Chemikalien unter CAS (Chemical Abstracts Service, Mai 2019) registriert und die Registrierungsrate steigt exponentiell [6]. Dass eine große Zahl dieser registrierten Stoffe und der Metaboliten, die daraus entstehen können, in der Umwelt wiedergefunden werden kann, ist in zahlreichen Studien belegt (z. B. [7,8,9]).

Um das Risiko bewerten zu können, das von Chemikalien in Ökosystemen ausgeht, sind neben Informationen zur Präsenz und zum Verhalten der Stoffe in der Umwelt auch umfangreiche Daten zu Wirkungen in Organismen notwendig. Solche Daten werden sowohl für die Stoffzulassung als auch die Bestimmung des Gütezustands von Wasserkörpern gemäß der Europäischen WRRL benötigt bzw. genutzt. Standardisierte Wirktests mit etablierten Stellvertreterarten liefern hierbei einerseits Effektkonzentrationen für die Risikobeurteilung neuer Stoffe als auch die Basis für die Ableitung von Grenzwerten bzw. Umweltqualitätsnormen für die Gewässerüberwachung. Als akute bzw. chronische Endpunkte für die Wirkung von Stoffen werden in diesem Zusammenhang vor allem apikale Para-

meter wie die Mortalität von Organismen sowie deren Wachstum oder Fortpflanzung nach kurzzeitiger Exposition gegenüber Einzelsubstanzen betrachtet. Effekte von Transformationsprodukten und Stoffgemischen bleiben meist ebenso unberücksichtigt wie spezifische bzw. subletale Wirkungen, die sich nicht unmittelbar oder erst nur nach verlängerter Exposition in erhöhten Mortalitäten manifestieren. Diese sind jedoch von besonderer Bedeutung, weil aktuell weniger unspezifisch akute als spezifisch chronische Belastungen auftreten. Untersuchungen spezifischer sublethaler Chemikalienwirkungen mit z. B. „Mode of action“-basierten Tests sowie Studien komplexer Wirkzusammenhänge gewinnen deshalb sowohl in der prospektiven als auch in der retrospektiven Risikobewertung zunehmend an Bedeutung. In jüngster Zeit wurde in diesem Zusammenhang z. B. gezeigt, dass Chemikalien durch Modulation der Immunkompetenz [10] oder über Interaktionen mit deren Darmmikrobiom [11, 12] zwar indirekt, aber langfristig die Resilienz von Organismen negativ beeinflussen können. Für sehr viele in Gewässern vorkommende Stoffe sind solche schleichenden und eher subtilen Wirkungsmöglichkeiten auf aquatische Ökosysteme bislang kaum erforscht worden. Im Sinne des vorsorgenden Umwelt- bzw. Gewässerschutzes besteht deshalb Handlungsbedarf.

2 Das Projekt Effect-Net

Das Projekt „Effect-Net – Wirkungszusammenhänge für die Risikobewertung von Chemikalien in Gewässerökosyste-

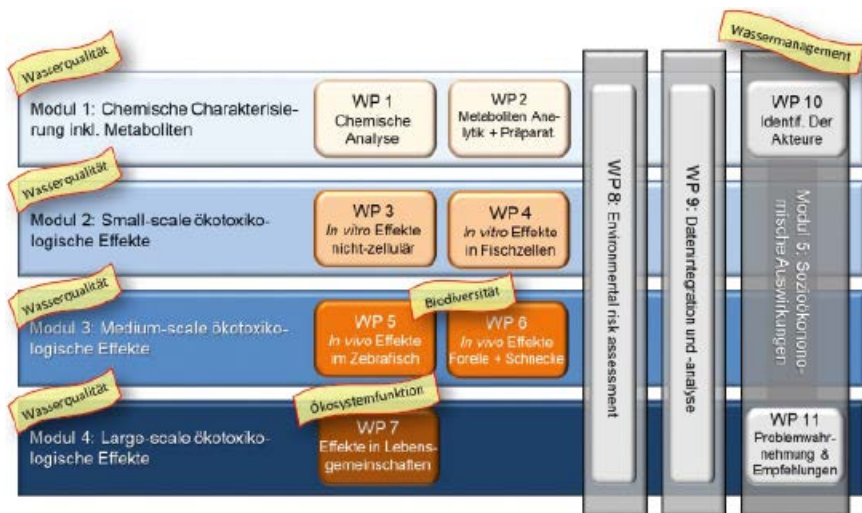


Abb. 1: Elemente des Projekts Effect-Net („Wirkungszusammenhänge für die Risikobewertung von Chemikalien in Gewässerökosystemen“). WP = Arbeitspaket.

men“, das im Rahmen des Netzwerks Wasserforschung Baden-Württemberg vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) gefördert wird, widmet sich dieser Thematik. WissenschaftlerInnen der Universität Heidelberg und Tübingen sowie des Karlsruher Instituts für Technologie untersuchen Wirkungen ausgewählter Stoffe, die bislang im Rahmen der WRRL nicht beach-

tet werden, jedoch in großen Mengen eingesetzt und in relativ hohen Konzentrationen in Oberflächengewässern nachgewiesen werden können. So werden aus dem Bereich der Medikamente z. B. Antidepressiva und Antidiabetika untersucht, die in westlichen Industriestaaten im Zuge der Zunahme von „Wohlstandskrankheiten“ in immer größeren Mengen verabreicht werden. Ein anderer Schwer-

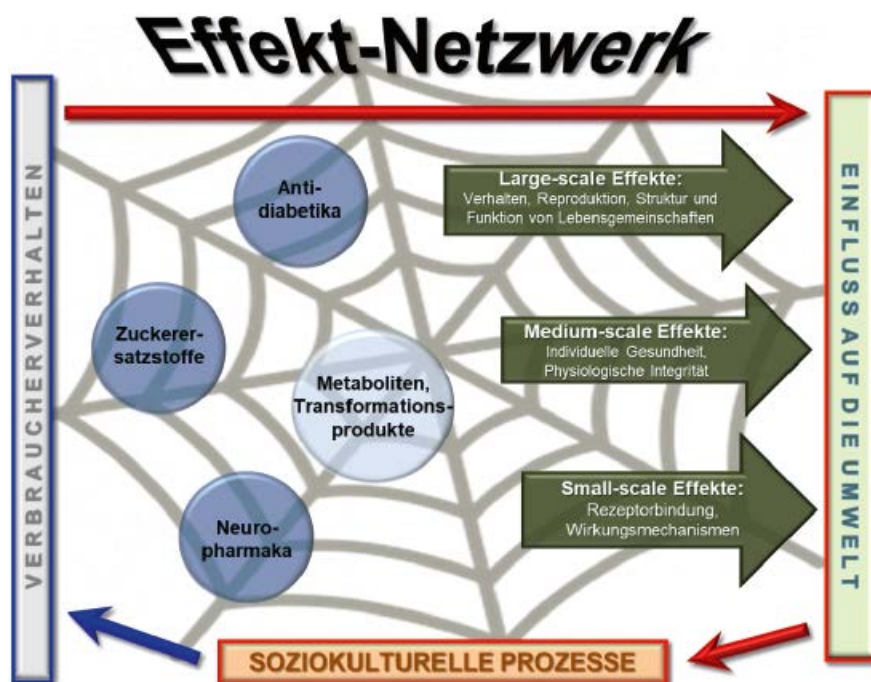


Abb. 2: Effect-Net: WissenschaftlerInnen aus verschiedenen natur- und sozialwissenschaftlichen Disziplinen arbeiten zusammen, um die Belastung mit Stoffen, die sich aus der Nutzung von ausgesuchten Wohlstandschemikalien ergeben, zu erfassen, hinsichtlich ihrer Wirkung zu bewerten und letztendlich zu minimieren.

punkt von Effect-Net liegt auf der Ermittlung eventuell schädlicher Wirkungen von Zuckerersatzstoffen, die sich im Zuge eines steigenden Bewusstseins der Bevölkerung für eine gesunde Ernährung ebenfalls immer größerer Beliebtheit erfreuen. Die Effekte dieser Stoffe werden mit einer breiten Palette von Methoden von der Ebene molekularer Interaktionen bis hin zu Wirkungen auf den Gesamtorganismus und seinem Mikrobiom erfasst (Abbildung 1).

Eine Besonderheit von Effect-Net besteht darin, dass nicht nur naturwissenschaftliche Aspekte, sondern auch sozialwissenschaftliche Gesichtspunkte analysiert werden, die sich aus der Kontamination der Gewässer mit diversen Spurenstoffen ergeben (Abbildung 2). So ermitteln PolitikwissenschaftlerInnen in repräsentativen Umfragen, wie die Wahrnehmung und das Wissen der Bevölkerung über Antidepressiva, Antidiabetika und künstliche Süßstoffe einzuschätzen ist. Über die Erfassung der politisch relevanten Akteure werden auf der Basis dieser Erkenntnisse Strategien entwickelt, die Belastung der Umwelt mit diesen Stoffen in der Zukunft zu reduzieren.

3 Der Workshop „Von der biologischen Wirkung zur Regulierung: Wie können neue Ansätze in der Stoffbewertung helfen?“

Über Notwendigkeiten, Möglichkeiten und Grenzen neuer Methoden zur Erkennung des Gefahrenpotenzials von Chemikalien diskutierten am 11. und 12. März 2019 etwa 120 Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Behörden an der Universität Tübingen im Rahmen des von Effect-Net ausgerichteten Workshops „Von der biologischen Wirkung zur Regulierung: Wie können neue Ansätze in der Stoffbewertung helfen?“ mit Blick auf einen vorsorgenden und nachhaltigen Gewässerschutz. Über fachliche Grenzen hinweg wurde die Thematik in 13 Vorträgen und einer Podiumsdiskussion zwischen NachwuchswissenschaftlerInnen und VertreterInnen aus Wissenschaft, Wirtschaft und von Behörden beleuchtet.

Einleitend in das Thema sprach Prof. Dr. Thomas Potthast vom Internationalen Zentrum für Ethik in den Wissenschaften der Universität Tübingen über „Anforderungen an die Stoffregulierung vor dem Hintergrund des Vorsorgeprinzips“, wo-

bei er die gesetzlichen und ethischen Verpflichtungen zum vorsorgenden Schutz von Mensch und Umwelt u. a. auf der Basis der „Sustainable Development Goals“ der Vereinten Nationen hervorhob. Fragen, die sich bei der Umsetzung des Vorsorgeprinzips stellten, z. B. nach der Art von Daten für sinnvolle Aussagen zur Risikoabschätzung, könnten laut Potthast nur in einer engen Zusammenschau empirischer und ethischer Aspekte beantwortet werden. In seinem Statement plädierte er dafür, die Zielsetzungen und den ethischen Kontext der Stoffregulierung besser sichtbar zu machen, damit Limitierungen und Entscheidungen transparenter werden.

Inwiefern Chemikalien Organismen in subtiler Weise über Einflüsse auf deren Immunsystem beeinflussen und die Fitness von Arten dadurch reduzieren können, machte Prof. Dr. *Helmut Segner* vom Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin der Universität Bern mit seinem Vortrag „Immunsystem-modulierende Eigenschaften von Umweltchemikalien“ deutlich. Er betonte die Notwendigkeit, dass immunmodulierende Eigenschaften von Chemikalien in der Regulation zwar Beachtung finden sollten, hierzu jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf bestehe, da noch keinerlei standardisierte Prüfmethode zur Verfügung stünden.

„Die Rolle von Transformationsprodukten bei der effektbasierten Bewertung von Stoffen in Umweltproben“ wurde von Dr. *Sebastian Buchinger* von der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz adressiert. Er erläuterte, dass die Einbeziehung von Transformationsprodukten in die Umweltbewertung von Chemikalien aufgrund der Vielzahl möglicher biotischer und abiotischer Transformationsprozesse eine große Herausforderung darstellt. So werden z. B. alleine von dem Schmerzmittel Diclofenac in der biologischen Abwasserbehandlung 20 Transformationsprodukte gebildet. Buchinger empfahl die Kombination aus biologischen Methoden und effektgerichteter Analytik, um einerseits umweltrelevante Effekte und Wirkmechanismen von Transformationsprodukten zu identifizieren und parallel die Strukturaufklärung dieser Stoffe zu ermöglichen. Auch er betonte die Notwendigkeit der Standardisierung der vorhandenen Methoden.

Dem „Nachweis von Mischungseffekten durch Effektanalysen *in vitro*“ widmete sich Prof. Dr. *Beate Escher* von der

Universität Tübingen und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig. Sie veranschaulichte anhand von Beispielen, dass zellbasierte Biotestverfahren eine Brücke zwischen dem chemisch-analytischen Nachweis von Einzelstoffen und den in Organismen gefundenen Effekten bilden und erklärte Unterschiede verschiedener Modellierungsansätze zur Beschreibung von Mischungstoxizitäten. Auch betonte sie, dass der Einsatz der Tests in der Stoffregulierung und im Umweltmonitoring die Festlegung von Grenzwerten für akzeptable Effekte voraussetzt.

„Neuartige fluoreszierende Sensoren zur Abbildung von Wirkungen *in vitro*“ stellte Dr. *Manfred Frey* vom Steinbeis-Innovationszentrum Zellkulturtechnik in Mannheim vor. Er fokussierte hierbei auf neuartige Biosensoren, mit deren Hilfe spezifische Arzneimittelwirkungen in Umweltproben nachgewiesen und z. B. im Rahmen der Medikamentenüberwachung eingesetzt werden können. Untersuchungen von Schmerzmittelwirkungen waren auch schon in den „Watch List“-Kampagnen der EU-Wasserrahmenrichtlinie integriert. Des Weiteren stellte er neu entwickelte Redoxsensorzellen vor, durch die in 3D-Hautmodellen dynamische zytotoxische Effekte abgebildet und Daten zu sensibilisierenden und irritierenden Wirkungen von Substanzen für die Stoffbewertung erhoben werden können.

Prof. Dr. *Rolf Altenburger* vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig und der RWTH Aachen sprach über „Adverse Outcome Pathways (AOP) and Omics als Bindeglieder zwischen Effekten *in vitro* und *in vivo*“. Er zeigte Beispiele dafür, dass durch den Einsatz von AOPs biologisches Wissen über molekulare oder zelluläre Effekte von Chemikalien nutzbar gemacht werden kann, um sowohl die Exposition gegenüber Mischungen als auch schädliche Auswirkungen auf Organismen besser verstehen zu können.

Prof. Dr. *Thomas Braunbeck* von der Universität Heidelberg stellte mit seinem Vortrag „Notwendigkeit von *in vivo*-Untersuchungen zur Risikobewertung von Metformin“ Zielsetzungen des Projekts Effect-Net vor und illustrierte das multidisziplinäre und stufig aufgebaute Untersuchungskonzept des Projektverbundes. Anhand der Substanz Metformin zeigte er modellhaft, wie sich biologische Effekte auf unterschiedlichen Ebenen biologi-

scher Komplexität manifestieren können. Basierend auf den erzielten Ergebnissen betonte er, dass sowohl für die prospektive als auch retrospektive Risikobewertung von Stoffen Effektuntersuchungen an intakten Organismen unbedingt notwendig sind, um Schädigungspotenziale nicht zu unterschätzen.

Nach dem Abendessen entführte Dr. *Tim Lachnit* von der Universität Kiel die 120 TeilnehmerInnen mit seinem Vortrag „Veränderungen im Mikrobiom als Ursache organismischer Effekte“ in die Welt der Mikroorganismen. Er beschrieb vielfältige Wege, wie Mikroorganismen im Darm über Signalmoleküle wichtige Lebensprozesse steuern und dadurch den Gesundheitszustand ihrer Wirte beeinflussen können. Er betonte, dass die Zusammensetzung bzw. die Funktionalität des Mikrobioms bei der Untersuchung der Toxizität von Substanzen mit einbezogen werden sollte. Außerdem könnten organismische Effekte durch Veränderungen im Mikrobiom diagnostiziert werden.

Dr. *Tamara Grummt* vom Umweltbundesamt Bad Elster sprach über den „Aktuellen Stand zur Nutzung von Biotests in der Stoffbewertung“. Hierbei stand die toxikologische Beurteilung des Trinkwassers im Fokus, im Rahmen derer effektbasierte Prüfverfahren bereits fest etabliert sind. Die Referentin machte deutlich, dass zur Erfassung von Gefährdungspotenzialen im Trinkwasser und für die Risikobewertung der dort auftretenden Stoffe Biotests unerlässlich sind. Überzeugend stellte sie anhand verschiedener Beispiele die Vorteile ihrer Biotestbatterie vor, betonte aber ebenfalls die Notwendigkeit der Standardisierung der jeweiligen Methoden. Mit Blick auf den Einsatz von Biotests in der ökotoxikologischen Bewertung forderte sie den Mut aller Beteiligten, den Schritt von der Forschung in die Praxis zu wagen.

Über „Effektbasierte Methoden in der Bewertung von Abwässern und Oberflächenwasser – Fortschritte bei der Implementierung in die WRRRL“ sprach Prof. Dr. *Henner Hollert* von der RWTH Aachen. Er berichtete, wie im Kontext des europäischen NORMAN-Netzwerkes für Emerging pollutants, dem EU-Projekt Solutions sowie verschiedenen anderen Projekten Effektbasierte Methoden entwickelt, in Ringtests erprobt und dann in der Praxis angewendet wurden. Beispielfähig stellte er den Einsatz von Biotests zum Nachweis von z. B. endokrinen Wir-

kungen vor und beschrieb Möglichkeiten der Integration von effektbasierten Tests bei der Revision der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Auch Dr. *Werner Brack* vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig widmete sich diesem Thema mit der Frage „Was tun, wenn der Biotest rotsieht?“ und zeigte neue „Wege zur Identifizierung stofflicher Ursachen für nachgewiesene Effekte als Schritte zu effektivem Management“ auf. Er stellte in seinem Vortrag eine Kombination aus chemisch und bioanalytischen Ansätzen zur wirkungsorientierten Analytik vor, die dazu dient, stoffliche Treiber für Effekte zu identifizieren. Er betrachtet diese Ansätze als geeignet für das „Impact Assessment“ nach Wasserrahmenrichtlinie und sieht in ihnen ein essentielles Bindeglied zwischen Überwachung und Management, da gleichzeitig sowohl Effekte als auch deren Ursachen identifiziert werden können.

Über „Adverse Outcome Pathways – Potenzielle Einsatzgebiete im Rahmen der Regulation von Chemikalien und Expositionsbewertung“ sprach Dr. *Stefan Scholz*, ebenfalls vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig. Er stellte Beispiele vor, wie das ursprünglich von der US-EPA formulierte Adverse Outcome Pathway (AOP) Konzept bereits im regulatorischen Bereich eingesetzt wird, indem alternative Testverfahren (z. B. Embryotest mit dem Zebraquarienfisch) zur Vorhersage von Schadwirkungen angewendet werden. Er betonte allerdings, dass für die Umsetzung des Konzepts vielfach noch praktische Erfahrungen fehlen.

Prof. Dr. *Rita Triebkorn* von der Universität Tübingen fasste schließlich die Ergebnisse des SETAC-Workshops „Extrapolation of Effects Across Biological Levels: Challenges to Implement Scientific Approaches in Regulation“ zusammen, der im Oktober 2018 in Brüssel zu einem ähnlichen Thema stattfand. Dort war diskutiert worden, wie man Auswirkungen von Chemikalien auf verschiedenen Ebenen der biologischen Organisation in die Risikobewertung integrieren und von Effekten auf niedrigen Ebenen auf höhere Ebenen extrapolieren kann. Es war vor allem diskutiert worden, wie gut man mechanistische ökologische Modelle bei der Risikobewertung von Chemikalien nutzen kann. Sie machte deutlich, dass seit über 20 Jahren Projekte im Labor und Freiland durchgeführt werden, die

gezeigt haben, dass Effekte auf niedrigen biologischen Ebenen mit langfristigen Auswirkungen auf höheren biologischen Ebenen korrelieren. Kausalitätsketten wurden sowohl experimentell im Labor als auch im Freiland auf der Basis von Plausibilität erstellt, wobei etablierte Plausibilitätskriterien zur Anwendung gekommen seien. Abschließend betonte sie, dass sich Effekte auf hohen biologischen Ebenen bereits manifestieren (Populationseinbrüche bei Wildtieren) und dass die Zeit drängt, das Risiko, das von Chemikalien ausgeht, auch vorsorgend mit Hilfe sensitiver Methoden zu bewerten, deren Relevanz für höhere Ebenen bereits erkannt worden sei.

Zum Abschluss des Workshops fand eine Podiumsdiskussion statt, bei der NachwuchswissenschaftlerInnen aus dem Projekt Effect-Net mit ExpertInnen über Möglichkeiten und Grenzen der Integration neuer Methoden aus der Forschung in die Regulatorik diskutierten. Auf dem Podium waren die Doktorierenden *Selina Tisler* und *Michael Ziegler* von der Universität Tübingen, *Eike Rogall* vom KIT sowie *Florian Zindler* und *Simon Schaub* von der Universität Heidelberg vertreten. Als ExpertInnen waren Prof. Dr. *Rolf Altenburger* (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung und RWTH Aachen), Prof. Dr. *Thomas Potthast* (Universität Tübingen), Dr. *Ina Ebert* (Umweltbundesamt für Umwelt) und Dr. *Peter Dohmen* (BASF) eingeladen, die Perspektive aus Wissenschaft, Wirtschaft und Behörden darzustellen. Die Moderation übernahm *Ulrike Scherer* von der Geschäftsstelle des Netzwerks Wasserforschung Baden-Württemberg.

Wie aktuelle Erkenntnisse aus der Forschung effizient in die Stoffregulierung einfließen können und nach welchen Kriterien neue Methoden für die Praxis ausgewählt werden, war das erste Thema, das die NachwuchswissenschaftlerInnen brennend interessierte. Ebert erläuterte, dass sich in der behördlichen Praxis der Bedarf an neuen Tests in der Regel aus der Fragestellung heraus ergäbe. Umgekehrt würden auch Anregungen aus der Wissenschaft aufgenommen: Beispielsweise wird aktuell beim UBA der Endpunkt „Verhalten“ diskutiert, da zahlreiche Studien zeigen, dass sich Psychopharmaka auf das Verhalten von Fischen auswirken. Altenburger merkte an, dass auf der einen Seite die Regulierung einer gewissen Logik folge, die „einfach,

klar und bewährt“ sein müsse, dass es auf der anderen Seite aber auch eine Logik des Erkenntnisgewinns gäbe, bei der die Entwicklung neuer Methoden im Vordergrund stünden. Mit Blick auf das Vorsorgeprinzip sei aber die Einbeziehung von „Early Warning Signals“ unverzichtbar. Auch von Seiten der Industrie werden aktuelle Studien berücksichtigt, sobald ernsthafte Risiken bekannt würden. Dohmen betonte, dass es dabei keine Rolle spiele, ob die angewendeten Methoden standardisiert seien.

Die nächste Frage thematisierte die 4. Reinigungsstufe: Aktuell eingesetzte Verfahren können Spurenstoffen nicht komplett entfernen und reichen auch nicht aus, die bakterielle Fracht weitgehend zu reduzieren. Mit anderen Verfahrenskombinationen wäre dies realisierbar. Neben Kläranlagen stellen auch Mischwasserüberläufe ein großes Problem dar, da im Entlastungsfall ungereinigtes Abwasser direkt in die Gewässer abgeschlagen wird. Schwaiger verdeutlichte, dass von behördlicher Seite nur eingegriffen werden könne, wenn es sich um rechtlich geregelte Stoffe handelte. Mit Bezug auf das „Polluter Pays“-Prinzip stellte Potthast die Frage, ob die Gemeinschaft, die für kommunale Kläranlagen zuständig ist, automatisch die Kosten für die 4. Reinigungsstufe tragen sollte? Es müsste geklärt werden, welches Problem mit der 4. Reinigungsstufe auf welche Art gelöst werden soll und woher es kommt (Stichwort: Internalisierung externer Kosten). Wenn das Prinzip ernst genommen wird, sollten die Kosten an der Stelle getragen werden, an der sie verursacht werden.

Diese Überleitung führte zur nächsten Frage, ob nicht auch Maßnahmen erfolgen sollten, die stärker an der Quelle ansetzen? Die Antwort war ein klares JA! Potthast erläuterte in diesem Kontext, dass eine ökotoxikologische Bewertung, die zur Festlegung von Grenzwerten führt, zugleich eine gesellschaftspolitische Steuerfunktion habe. Die Debatte sollte aber ehrlicher geführt und Grenzwerte als gesellschafts-, industriepolitische und kulturelle Steuerungsmechanismen diskutiert werden. Altenburger hinterfragte kritisch den Beitrag der Wissenschaft zur Diskussion über Alternativen: Es wird viel über Risiken diskutiert, aber können diese Risiken überhaupt quantifiziert werden? Als Beispiel nannte er die Plastikforschung. Schwaiger ergänzte, dass in der Öffentlichkeit und den Medien Kläranlagen häufig als Hauptmitten-

ten für Mikroplastik genannt werden würden. Bisherige Erkenntnisse sprechen jedoch dafür, dass insbesondere unsachgemäß entsorgter Müll letztendlich zur Mikroplastikbelastung von Oberflächen-gewässern führt. „Für eine Risikobewertung der in unseren Gewässern vorhandenen Mikroplastikbelastung sind aussagekräftige Wirkungsstudien unverzichtbar“. Am Beispiel des Tempolimits illustrierte Dohmen, dass es gar nicht so einfach sei, die Bevölkerung von einer Verhaltensänderung zu überzeugen. Er riet mit Blick auf die Risikobewertung von Stoffen zu einem holistischeren Ansatz, in dem auch Alternativen mit untersucht werden sollten, um eine optimale Lösung für die Gesellschaft zu identifizieren. Schaub resümierte aus seiner politikwissenschaftlichen Perspektive, dass ein visionärer Diskurs „wie Deutschland in 100 Jahren aussehen soll“ fehlen würde.

Die letzte Frage thematisierte die Einbindung von Transkriptionsanalysen für regulatorische Prozesse. Welche Punkte müssten in den nächsten 10, 20 oder 30 Jahren angegangen werden, um die Methoden in diese Richtung zu entwickeln? Altenburger erinnerte an den Vortrag von Scholz, der empfahl, nicht abzuwarten, bis die europäische Stoffbewertung komplett feststünde, da es in erster Linie um verständnisgetriebene Beiträge ginge: „Mit dem Empirismus, auf dem die Stoffbewertung basiert, laufen wir immer hinterher. In jeder Stunde werden 40 neue Stoffe erfunden“. Die empirische Toxikologie sollte sich zu einer prinzipien-gesteuerten Toxikologie weiter entwickeln, die eine bessere Prognose erlaube. Dabei spielen Omics-Methoden eine bedeutende Rolle, sie sind aber auch nützlich für das bessere Verständnis von Interaktionen. Potthast nahm in einem Schlusssatz die Perspektive des Wissenschaftshistorikers ein: Die Frage, wie stark die prognostische Kraft von Omics ist, sollte als Forschungsfrage produktiv werden. Es brauche sowohl im Forschungsbereich als auch im administrativen Bereich eine Systemintegration: „Hier könnte es spannend werden, weil man vielleicht in zehn Jahren weiß, was Omics können und was nicht. Das Thema Big Data kommt aktuell in ganz verschiedenen Communities auf. Ob die Daten letztendlich verstanden werden, ist nicht

ganz klar und die einzige Möglichkeit, das naturwissenschaftlich zu bewerten, wäre nochmals ins Feld zu gehen.“

Dank

Die AutorInnen bedanken sich beim Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg für die Förderung des Verbundprojektes EffectNet (AZ 33-5733-25-11 /32/2) und für die Unterstützung des o.g. Workshops (Az. 33-7533.-25-11/31/21). Ein besonderes Dankeschön geht an Tanja Stahlberger von der Geschäftsstelle des Netzwerkes Wasserforschung Baden-Württemberg für ihre Unterstützung bei der Organisation der Veranstaltung. Schließlich danken wir auch allen SprecherInnen und Diskutierenden bei der Tagung sowie all denjenigen, die diese mit Tatkräft unterstützt haben.

Literatur

- [1] J. Bernanke, H.R. Köhler: *The impact of environmental chemicals on wildlife vertebrates*, Rev Environ Contam Toxicol 198/2009, S:1–47.
- [2] T. Braunbeck, A. Brauns, S. Keiter, H. Hollert, P. Schwartz: *Fish populations under stress – the example of the Lower Neckar River*, UWSF – Z Umweltchem Ökotox 21/2009, S. 197–211.
- [3] A.S. Goudie: *Human Impact on the Natural Environment*, 8. Auflage. Wiley-Blackwell, 2018.
- [4] F. Sánchez-Bayo, K. A.G. Wyckhuys: *Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers*. Biol Conserv 232/2019, S. 8–22
- [5] UM BW, 2019. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/schutz-natuerlicher-lebensgrundlagen/wasser/ge-waesseroekologie/gewaesserguete/> (Stand 28.4.2019)
- [6] R. Binetti, F. M. Costamagna, I. Marcello: *Exponential growth of new chemicals and evolution of information relevant to risk control*. Ann Ist Super Sanita 44(1)/2008, S.13-5.
- [7] B. Petrie, R. Barden, B. Kasprzyk-Horderna: *A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring*. Wat Res 72/2015, S. 3–27.
- [8] W. Brack, B. Escher, E. Müller, M. Schmitt-Jansen, T. Schulze, J. Slobodnik, H. Hollert; *Towards a holistic and solution-ori-*

ented monitoring of chemical status of European water bodies: how to support the EU strategy for a non-toxic environment? Environ Sci Eur 30(1)/2018, S. 33. Doi: 10.1186/s12302-018-0161-1

- [9] V. Dulio, B. van Bavel, E. Brorström-Lundén, J. Harmsen, J. Hollender, M. Schlöb, J. Slobodnik, K. Thomas, J. Koschorreck: *Emerging pollutants in the EU: 10 years of NORMAN in support of environmental policies and regulations*. Environ Sci Eur 30(1)/2018, S. 5 doi: 10.1186/s12302-018-0135-3.
- [10] K. Rehberger, I. Werner, B. Hitzfeld, H. Segner, L. Baumann L: *20 Years of fish immunotoxicology – what we know and where we are*. Crit Rev Toxicol 47 (6)/2017, S. 509–535.
- [11] C. S. Rosenfeld. *Gut Dysbiosis in Animals Due to Environmental Chemical Exposures*. Front Cell Infect Microbiol 7/2017, S. 396. doi:10.3389/fcimb.2017.00396.
- [12] S. P. Claus, H. Guillou, S. Ellero-Simatos: *The gut microbiota: a major player in the toxicity of environmental pollutants?* NPJ Biofilms and Microbiomes 2/2016, S. 16003. doi:10.1038/npjbiofilms.2016.3

AutorInnen

Prof. Dr. Rita Triebkorn
Institut für Evolution und Ökologie
Physiologische Ökologie der Tiere
Universität Tübingen
Auf der Morgenstelle 5
72076 Tübingen

E-Mail: rita.triebhorn@uni-tuebingen.de

Dr. Ulrike Scherer
KIT Geschäftsstelle des Netzwerkes
Wasserforschung Baden-Württemberg
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Engler-Bunte-Institut Wasserchemie und
Wassertechnologie
Campus Süd, Gebäude 40.04
Engler-Bunte-Ring 9
76131 Karlsruhe

E-Mail: ulrike.scherer@kit.edu

Prof. Dr. Thomas Braunbeck
Aquatische Ökologie und Toxikologie
COS – Center for Organismic Studies
Universität Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 504
69120 Heidelberg

E-Mail: braunbeck@uni-hd.de

