SchussenAktiv-Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen

Rita Triebskorn, Ludek Blaha, Brigitte Engesser, Hans Güde, Harald Hetzenauer, Anja Henneberg, Heinz-R Köhler, Stefanie Krais, Diana Maier, Katharina Peschke, et al.

▶ **To cite this version:**

Rita Triebskorn, Ludek Blaha, Brigitte Engesser, Hans Güde, Harald Hetzenauer, et al.. SchussenAktiv-Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen: Expositions-und Effektmonitoring vor Inbetriebnahme der Adsorptionsstufe auf der Kläranlage Langwiese des AZV Mariatal, Ravensburg. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2013, 10.3243/kwe2013.08.001 . hal-02047760

HAL Id: hal-02047760

https://univ-avignon.hal.science/hal-02047760

Submitted on 7 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SchussenAktiv – Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen

Expositions- und Effektmonitoring vor Inbetriebnahme der Adsorptionsstufe auf der Kläranlage Langwiese des AZV Mariatal, Ravensburg

Rita Triebskorn (Tübingen), Ludek Blaha (Brno/Tschechien), Brigitte Engesser, Hans Güde, Harald Hetzenauer (Langenargen), Anja Henneberg, Heinz-R. Köhler, Stefanie Krais, Diana Maier, Katharina Peschke, Paul Thellmann, Hans-J. Vogel (Tübingen), Bertram Kuch (Stuttgart), Jörg Oehlmann (Frankfurt), Magali Rault, Séverine Suchail (Avignon/Frankreich), Peter Rey (Konstanz), Doreen Richter, Frank Sacher (Karlsruhe), Michael Weyhmüller (Achberg) und Karl Wurm (Starzach)

Zusammenfassung

Durch den kombinierten Einsatz verschiedener Methoden ist nachweisbar, dass sich Spurenstoffe auf den Gesundheitszustand wasserlebender Organismen und die Integrität aquatischer Lebensgemeinschaft negativ auswirken. Im Projekt SchussenAktiv konnte die Präsenz von Spurenstoffen mit toxischen (z.B. gentoxischen) und hormonellen (z.B. östrogenartigen) Potentialen sowie tatsächlichen Wirkungen in Verbindung gebracht werden. Die große Variabilität im Nachweis östrogenartig wirkender Chemikalien spiegelt sich auch in der Variabilität der nachgewiesenen östrogenen Wirkpotenziale und Wirkungen bei Fischen und Fischnährtieren wider. Die reduzierte Anzahl sensitiver Taxa unterhalb der untersuchten Kläranlage Langwiese (AZV Mariatal, Ravensburg) an der Schussen spricht dafür, dass sich negative Effekte bereits auf biozönotischer Ebene manifestiert haben. Ein Zusammenspiel toxischer und hormoneller Einflüsse auf die Organismen in der Schussen ist hierbei aufgrund der erzielten Resultate wahrscheinlich. Für die als Referenzgewässer ausgewählte Argen konnte gezeigt werden, dass die untersuchte Probenahmestelle zwar insgesamt als deutlich weniger belastet gelten kann als die Probenahmestellen an der Schussen, dass a ber auch hier Bedarf besteht, bestimmte Expositionen (z.B. β-Sitosterol, Cadmium, Arsen, Quecksilber, Zink) und Effekte (z.B. Acetylcholinesterasehemmung bei Fischen, fehlende Abundanz von Gammariden) genauer zu betrachten um gegebenenfalls ihre Ursachen zu eruieren.

Schlagwörter: anthropogene Spurenstoffe, Kläranlage, Schussen, Argen, Estrogene, Toxizität, Vorfluter

DOI: 10.3243/kwe2013.08.001

Abstract

SchussenAktiv – a Model Study on the Efficacy in Reducing Anthropogenic Micropollutants by Activated Carbon Filtration in Wastewater Treatment Plants – Exposure and Effect Monitoring Prior to the Startup of the Charcoal Adsorption System at the Wastewater Treatment Plant Langwiese, Association for Wastewater Treatment Mariatal, City of Ravensburg, Germany

Using a combination of different chemical and biological methods the project SchussenAktiv provided evidence that micropollutants negatively influence the health status of aquatic organisms and the integrity of aquatic ecosystems. It was possible to establish plausible connections between the presence of distinct micropollutants in the environment, toxic (e.g. genotoxic) or hormonal (e.g. estrogen-like) potentials in effluent or surface water samples, and the respective effects in feral fish. Large variability in the abundance of estrogen-like substances was reflected in the variation of both estrogenic potentials and estrogenic effects in fish and invertebrates. The decreased number of sensitive taxa in the river Schussen downstream the wastewater treatment plant Langwiese revealed evidence for detrimental effects also on the community structure. In general, the results of SchussenAktiv led to the suggestion that both toxic and endocrine-active chemicals interact in influencing organisms abundant in the Schussen river downstream sewage treatment plant. In contrast, the sampling site at the Argen river, chosen as a reference, was found to be clearly less polluted than the investigated sites along the Schussen. Nevertheless, detected pollutants (β-sitosterol, cadmium, arsenic, mercury, zinc) and effects (AChE inhibition in fish, absence of gammarids) call for a causal analysis also in the river Argen.

Key words: anthropogenic micropollutants, wastewater treatment plant, Schussen, Argen, estrogens, toxicity, discharge system

1 Einleitung

Der Eintrag von Spurenstoffen in Oberflächengewässer ist in den letzten Jahren verstärkt ins Zentrum des Interesses von Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit gerückt [1]. Die Erweiterung der Liste prioritärer Substanzen gemäß Wasserrahmenrichtlinie hat dieses Interesse in jüngster Zeit deutlich verstärkt. Einhergehend mit dem steigenden öffentlichen Interesse und dem Wissenszuwachs zur Thematik „Spurenstoffe“ hat das Land Baden-Württemberg im Jahre 2009 im Rahmen seines Konjunkturprogramms beschlossen, die Nachrüstung einiger Kläranlagen im Einzugsgebiet des Bodensees mit Aktivkohlefiltern zu fördern, um den Eintrag von Spurenstoffen in die Gewässer zu mindern. Im Vordergrund stand hierbei am Bodensee aus Vorsorgegründen das Schutzgut Trinkwasser. Mit Aktivkohlefiltern ausgestattet werden bzw. wurden innerhalb dieses Programms im Bodensee-Einzugsgebiet die Anlagen Esparsingen (Zweckverband Stockacher Aach), Emmingen-Liptingen, Kressbronn-Langenargen sowie Langwiese (Abwasserzweckverband Mariatal, Ravensburg).

Im Fokus des Projektes SchussenAktiv, das den Erfolg der weiteren Abwasserbehandlung mit Aktivkohle auf Expositions- und Wirkebene überprüfen soll, stand die Kläranlage Langwiese des AZV Mariatal, Ravensburg. Diese ist das größte Klärwerk im nördlichen Bodensee-Einzugsgebiet. Es ist schon heute mit einer Sandfiltration ausgestattet und reinigt eine Abwasserfracht von 170.000 Einwohner-Werten (ca. 80.000 Einwohner). Das gereinigte Abwasser wird in die Schussen abgeschlagen, in die neben der Kläranlage Langwiese noch 17 weitere mittlere und kleine Anlagen sowie zahlreiche Regenüberlaufbecken einleiten. In der Schussen wird eine relativ große Anzahl an Spurenstoffen in zum Teil recht hohen Konzentrationen nachgewiesen [2]. Dies liegt einerseits an der dichten Besiedelung des 815 km² großen Schussen-Einzugsgebiets und den daraus resultierenden hohen Eintragsmengen, andererseits aber auch an einer vergleichsweise geringen Verdünnung des eingeleiteten Abwassers aufgrund relativ niedriger Abflüsse (MQ neun bis 13 m³/s), die mit den relativ geringen Niederschlagsmengen im nordwestlichen Bodenseegebiet zusammenhängen. Die Argen, die im Projekt als weniger belastetes Vergleichsgewässer herangezogen wird, weist beispielsweise einen mittleren Abfluss von 22-23 m³/s bei einem Einzugsgebiet von 652 km² auf.

Das Ziel des Projektes SchussenAktiv war es, die Auswirkungen des Ausbaus der Kläranlage Langwiese mit einer Aktivkohlestufe zu dokumentieren. Da sich die Fertigstellung der Aktivkohle-Anlage in Langwiese allerdings verzögert hat und erst im Sommer 2013 in Betrieb gegangen ist, stand im Rahmen des Projektes zunächst die Erfassung des ökotoxikologischen Zustands der Schussen vor dem Ausbau der Kläranlage (KA) im Fokus. Die Untersuchungen werden von 2012-2014 im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektverbundes „SchussenAktiv*plus*“ [3] weitergeführt. In diesem Projekt wird die Effizienz weiterführender Abwassertechniken zur Eliminie-

	Potenziale	**Effekte**
TOXISCHE	**Gentoxizität** umu-Test (Recetox Brno)	**Gentoxizität** Mikrokerntest (Universität Tübingen)
	Dioxin-ähnliche Toxizität Reportergen-Assays (Recetox Brno)	**Dioxin-ähnliche Toxizität** Cyp-1A-1-Biotranformation/ EROD (Universität Tübingen)
	Entwicklungstoxizität ELS-Test Zebrabärbling (Universität Tübingen)	**Entwicklungstoxizität** ELS-Test Forellen (Universität Tübingen)
		Gewebetoxizität Histopathologie (Universität Tübingen)
		Proteotoxizität Stressproteine (Universität Tübingen)
		Neurotoxizität Acetylcholinesterase (Universität Avignon)
		Integrität Lebensgemeinschaft Makrozoobenthos (GÖL Starzach)
ENDOKRINE	**(Anti)-Östrogenität** E-Screen, Reportergen-Assay mit menschlichen Zellen (MVLN, HeLa9903) (Recetox Brno) Reproduktionstests mit der Zwergdeckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum* (Universität Frankfurt)	**Östrogenität** Vitellogenin (Universität Tübingen)
		Östrogenität-Androgenität Gonadenhistologie und gonadosomatischer Index Fische, Geschlechterverhältnis und Fekundität Gammariden (Universität Tübingen)

Tabelle 1: Durchgeführte Untersuchungen im Rahmen von SchussenAktiv

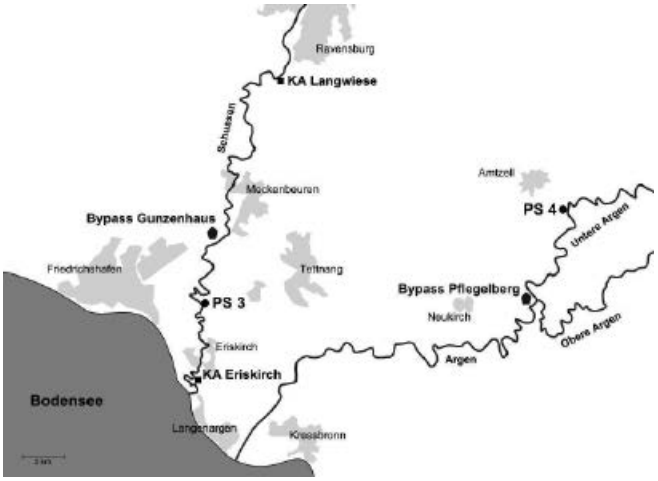

Abb. 1: Lage der Probestellen, für die Ergebnisse beschrieben werden, und der Bypass-Systeme an Schussen und Argen.

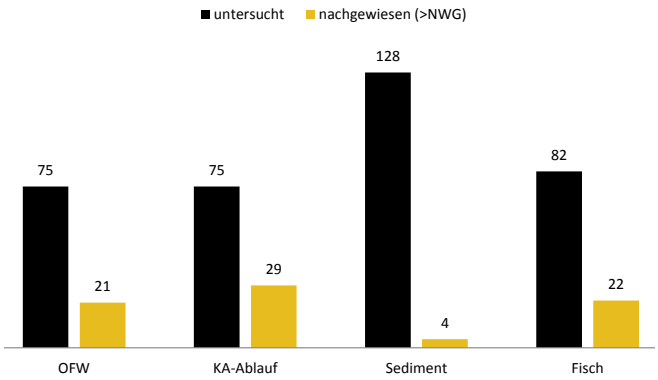

Abb. 2: Anzahl untersuchter und maximal nachgewiesener Substanzen im Ablauf der KA Langwiese, im Oberflächenwasser (OFW) und Sediment der Schussen unterhalb der KA Langwiese sowie in unterhalb der KA Langwiese gefangenen Fischen (Döbel und Schneider).

rung von Spurenstoffen zusätzlich an zwei zusätzlichen Kläranlagen sowie an zwei Regenwasserbehandlungssystemen untersucht.

Innovativ am Forschungsansatz von SchussenAktiv ist die kombinierte Betrachtung

(1) der Exposition mittels chemischer Analytik durch den Nachweis von Spurenstoffen im Kläranlagenablauf und im Oberflächenwasser sowie im Sediment und in Biota,
(2) der Überprüfung von in Umweltmatrices (Kläranlagenabläufe, Oberflächenwasser oder Sediment) vorhandenen toxischen und endokrinen Wirkpotenzialen in Labortests und
(3) der tatsächlichen Effekte in Biota aus dem Freiland bzw. solchen Organismen, die aktiv im Freiland in Bypass-Systemen exponiert wurden.

Diese Kombination erlaubt eine komplementäre und umfassende Bewertung der Belastungssituation. Während die chemische Analytik stoffspezifische Fragestellungen nach Präsenz oder Verbleib von Chemikalien in Umweltmatrices beantworteten kann, stößt sie an Grenzen, sobald das gesamte Spektrum an vorhandenen chemischen Belastungsfaktoren erfasst werden soll. Grund hierfür ist, dass die Auswahl der zu analysierenden Stoffe a priori die Anzahl potenziell im Gewässer nachweisbarer Chemikalien bestimmt bzw. einschränkt. Zudem ist der chemische Charakter vor allem von Metaboliten und Transformationsprodukten anthropogen eingetragener Substanzen, wie sie beispielsweise bei der Ozonierung von Abwasser entstehen können, derzeit vielfach noch unbekannt, so dass diese Stoffe analytisch (noch) nicht greifbar sind. Problematisch kann auch sein, dass Stoffe in so niedrigen Konzentrationen vorliegen, dass die Nachweisgrenzen unterschritten werden. Dies ist vor allem in komplizierteren Matrices, wie Sedimenten oder Biota, der Fall. Wirkpotenzial- und Effektanalysen haben den Vorteil, dass sie über ein je nach Testsystem mehr oder weniger großes und spezifisches Spektrum an Belastungsfaktoren integrieren. Die Potenzialanalytik vermittelt hierbei ein Bild vom Belastungszustand der Umweltprobe zum Zeitpunkt der Probenahme im Sinne einer Momentaufnahme. Wirkungen bei Freilandorganismen oder bei Organismen, die aktiv im Freiland exponiert werden, übermitteln komplementär hierzu Informationen zum Belastungszustand der jeweiligen Probestelle bis zum Zeitpunkt der Beprobung im Sinne einer Langzeitaufnahme. Da alle Methoden auf zeitgleich entnommene Umweltproben angewendet wurden, können im Rahmen von SchussenAktiv Querverbindungen zwischen den Ergebnissen geknüpft und Plausibilitätsketten erstellt werden.

2 Methodik

Von 2009 bis 2011 wurden zu neun Zeitpunkten von der KA Langwiese 24h–Mischproben vom KA-Ablauf sowie zeitgleich Wasserproben, Sedimente, Fische und Flohkrebse an mehreren Probestellen an der Schussen und an der Argen (als Referenzgewässer) entnommen. Die Proben wurden für chemische Analysen von Spurenstoffen, Wirkpotenzialanalysen und Wirkuntersuchungen genutzt. Zeitgleich wurden alle Probestellen limnochemisch charakterisiert. Die Spurenstoffanalytik fand am DVGW-Technologiezentrum Wasser in Karlsruhe statt, limnochemische Untersuchungen wurden von der Universität Tübingen durchgeführt. Döbel *(Leuciscus cephalus)* und Schneider *(Alburnoides bipunctatus)* wurden vom Seenforschungsinstitut Langenargen durch Elektrobefischung aus den Gewässern entnommen. In vom Bachwasser durchflossenen Aquarien (Bypass-Systeme) an der Schussen unterhalb der Kläranlage Langwiese sowie an der Argen in der Umgebung von Wangen (als Referenzgewässer) wurden Bach- und Regenbogenforellen sowie Flohkrebse aktiv exponiert und Embryotests mit Regen- und Bachforelleneiern durchgeführt. Die vorliegende Publikation enthält Daten zu den Kläranlagenabläufen sowie zu den Proben, die unterhalb der Kläranlage Langwiese bei Ravensburg und an der Argen gewonnen wurden. Die für Wirkpotenzial- und Wirkanalytik eingesetzten Methoden sowie die bearbeitenden Institutionen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Weiterführende Informationen zur Methodik und zum Aufbau der Bypass-Systeme sind [3] zu entnehmen. Die Lage der Probestellen sowie der Bypass-Systeme sind in Abbildung 1 dargestellt.

3 Zusammenfassung und Diskussion der Resultate

Das Projekt SchussenAktiv hatte zum Ziel, den ökotoxikologischen Zustand der Schussen im Vergleich zur Argen vor Ausbau der Kläranlage (KA) Langwiese zu beschreiben. Hierzu wurden im KA-Ablauf, im Oberflächenwasser (OFW) und in Sedimen-

ten der Schussen unterhalb der KA (im Vergleich zur Argen) sowie in Biota chemische Analysen auf verschiedene Stoffgruppen durchgeführt. Im Rahmen von Labortests wurden toxische und hormonelle Potenziale im Ablauf der KA und im OFW bzw. Sediment der Schussen (im Vergleich zur Argen) bewertet. Parallel hierzu wurden reale endokrine und toxische Wirkungen bei Freilandtieren oder bei Tieren, die aktiv im Freiland exponiert wurden, untersucht.

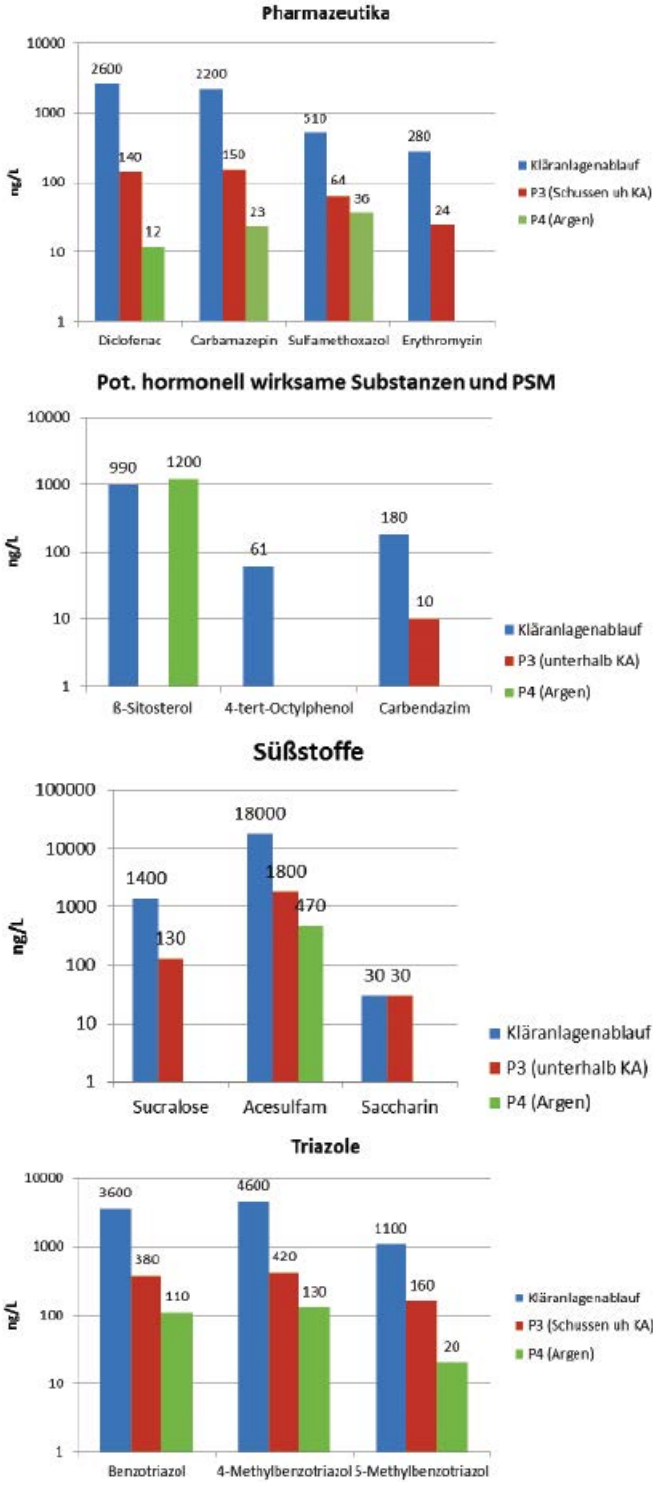

Abb. 3 a-d: Konzentrationen ausgewählter Substanzen (Maximalwerte) im Ablauf der KA Langwiese, im Oberflächenwasser der Schussen unterhalb der KA (P3) und in der Argen (P4).

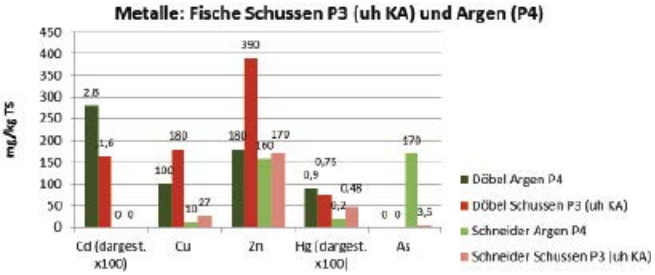

Abb. 4: Metallgehalte (Maximalwerte) in Fischen aus der Schussen unterhalb der KA Langwiese (P3) und Argen (P4)

3.1 Chemische Analysen

Die chemischen Analysen zeigen ein differenziertes Bild der Belastungssituation im Oberflächenwasser der Schussen unterhalb der KA Langwiese mit Spurenstoffen im Vergleich zur Argen. Im Ablauf der KA wurden von 75 untersuchten Spurenstoffen 29 Verbindungen in Konzentrationen über der Nachweisgrenze gefunden, im Oberflächenwasser der Schussen traten davon 21 auf (Abbildung 2). Der Spurenstoff-"Cocktail" war zu den verschiedenen Probenahmezeitpunkten sowohl qualitativ als auch quantitativ unterschiedlich zusammengesetzt. In der Schussen waren insgesamt deutlich mehr Substanzen als in der Argen nachzuweisen (Argen: zwölf Stoffe), und diese traten in den meisten Fällen auch in deutlich höheren Konzentrationen auf als an der Argen (Abbildung 3). Allerdings waren auch vereinzelt Substanzen in Oberflächenwasser (OFW) bzw. in Biota aus der Argen in höheren Konzentrationen vorhanden als in der Schussen (z. B. das Phytoöstrogen b-Sitosterol oder die Schwermetalle Arsen und Cadmium), was vor dem Hintergrund der deutlich stärkeren Verdünnung von Abwasser in der Argen aufgrund h öherer Abflüsse umso bedeutender ist.

Für mehrere Stoffe (z. B. Carbamazepin, N,N-Dimethylsulfamid, Sucralose, Benzotriazol) konnte der Eintrag über die KA Langwiese als bestimmend für die Konzentration im Vorfluter festgemacht werden. Üblicherweise lagen die Konzentrationen im OFW um den Faktor drei bis zehn niedriger als im KA-Ablauf, was etwa dem Verhältnis von gereinigter Abwassermenge zur Wasserführung der Schussen entspricht. Stoffe, die im KA-Ablauf in geringen Konzentrationen (z. B. 4-tert-Octylphenol: 61 ng/L; Bisphenol A: 24 ng/L) nachgewiesen wurden, lagen aufgrund des Verdünnungseffekts im OFW meist in Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze vor. Andere Spurenstoffe, wie z. B. Diclofenac, Ethanolamin oder Coffein waren oberhalb der Kläranlage bereits in vergleichbaren oder sogar etwas höheren Konzentrationen als flussabwärts vorhanden. Hierfür verantwortlich können Einträge bzw. Eintragsspitzen aus Kläranlagen oberhalb der KA Langwiese sein. Vor dem Hintergrund der vorgeschlagenen Erweiterung der Liste prioritärer Stoffe der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sowie der zu erwartenden Umweltqualitätsnormen (UQN) würden sich für Diclofenac im Oberflächenwasser der Schussen Grenzwertüberschreitungen ergeben.

In Fischen konnten 22 von 82 untersuchten Spurenstoffen nachgewiesen werden (Abbildung 2). Alle im Projekt erhobenen Daten zu Spurenstoffgehalten in Fischen sind auf das Trockengewicht (TG) bezogen. Es ist davon auszugehen, dass die Messwerte für persistente Stoffe bezogen auf das TG (berechnet für Brachsen aus dem Bodensee) ungefähr um den Faktor

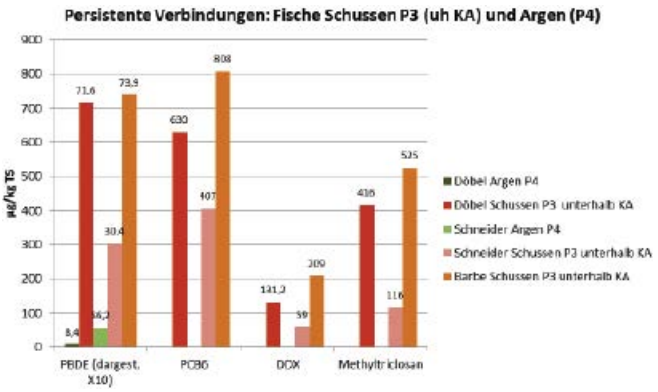

Abb. 5: Konzentrationen von persistenten Verbindungen in Fischen (Maximalwerte) aus der Schussen unterhalb der Kläranlage Langwiese (P3) der Argen (P4).

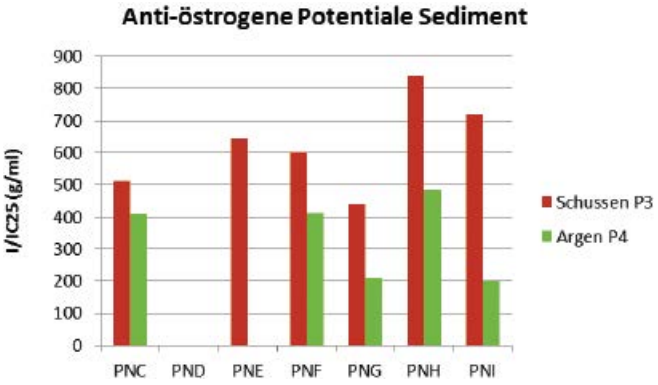

Abb. 6: Anti-östrogene Potentiale im Sediment der Schussen (unterhalb Kläranlage Langwiese) und der Argen zu 7 Probenahmezeitpunkten (PNC-PNI).

drei bis vier höher liegen als diejenigen bezogen auf das Frischgewicht (FG) (Hetzenauer, pers. Mitt.). Untersucht wurden von Döbeln primär Leberproben und Muskulatur (Filet), in einigen Fällen auch Gonaden, Darm und Gallenflüssigkeit, bei deren Entnahme die Gallenblase punktiert wurde. Von Schneidern wurde jeweils ein Pool aus drei bis vier Fischen *in toto* analysiert.

Die Ergebnisse der Metallanalysen sind in Abbildung 4 zusammengefasst. Auffällig ist, dass die Fische aus der Schussen nur für Zink und Kupfer höhere Werte zeigen als die Fische aus der Argen, in denen sehr hohe Gehalte an Arsen, Cadmium und Quecksilber nachgewiesen wurden. Mit max. 750 µg/kg TG (Döbel Schussen) bzw. 910 µg/kg TG (Döbel Argen) liegen die Werte für Quecksilber in Fischen aus Schussen und Argen deutlich über der für dieses Schwermetall existierenden UQN für Biota der WRRL von 20 µg/kg. Sowohl die Zink-, als auch die Kupferkonzentrationen in den Fischen aus der Schussen sind als sehr hoch einzustufen und liegen um den Faktor vier bis zehn höher als Werte, die für Döbel aus der Mureş in Rumänien (wenig dicht besiedeltes Gebiet) auch unterhalb von Kläranlagen gemessen wurden [4]. Bachforellen, die in einem ebenfalls stark Abwasser-beeinflussten Gewässer, der Körsch bei Stuttgart exponiert waren, akkumulierten nur ein Drittel an Cadmium und Zink. Die Kupferkonzentrationen in Döbeln aus der Schussen sind mehr als 30-fach höher als entsprechende Werte aus Forellen aus der Körsch [5].

Die maximalen Konzentrationen ausgewählter persistenter Stoffe in Fischproben sind in Abbildung 5 zusammengefasst. Der *PCB-Gehalt (Summe 6 Indikator-PCB)* im Filet der untersuchten Döbelproben liegt im Bereich der Werte, die für Döbel aus verschiedenen tschechischen Gewässern bestimmt wurden [6]. Geht man davon aus, dass die Werte bezogen auf das Frischgewicht ungefähr um den Faktor drei bis vier niedriger liegen als diejenigen bezogen auf das Trockengewicht, liegen die Werte für Döbel und Barbe aus der Schussen zwar noch unterhalb, allerdings auch für das Filet bereits im Bereich des von der EU formulierten Höchstwerts von 125 ng/g FG [7]. Werte für Fische aus relativ unbelasteten Gewässern bewegen sich laut Kuch (pers. Mitt.) im Bereich von fünf bis zehn µg/kg FG. Die Messwerte für alle im Projekt untersuchten Fischarten liegen hier deutlich höher, wobei das Filet einer zusätzlich untersuchten Barbe *(Barbus barbus)* mit einer Konzentration von ca. 100 µg/kg FG am stärksten belastet ist.

Durchschnittswerte für eine Belastung von Fischen mit *DDX* liegen laut Kuch (pers. Mitt.) in der Größenordnung von ca. fünf bis zehn ng/g FG. Die Konzentrationen in Schneidern und Döbeln aus der Schussen sind demnach als moderat, diejenigen in der Barbe als eher hoch zu bewerten. Allerdings liegen alle Konzentrationen für Fische aus der Schussen weit unterhalb der Höchstwerte, die in Döbeln aus tschechischen Gewässern gemessen wurden [6].

Die Messwerte für *Methyltriclosan*, einem Metaboliten des Antibakterizids Triclosan, liegen im Bereich der aus der Umweltprobenbank für Brassen *(Abramis brama)* aus deutschen Fließgewässern zu entnehmenden Werte [8]. Sie sind deutlich geringer als die Maximalwerte, die von [9] für Karpfen ermittelt wurden (596 µg/kg FG). Triclosan selbst verursacht sowohl cancerogene (Lebertumore), gentoxische als auch endokrine Effekte [10, 11].

Polybromierte Diphenylether (PBDE) wurden ebenfalls in den höchsten Konzentrationen in Geweben einer Barbe nachgewiesen. Allerdings liegen auch die PBDE-Konzentrationen für Döbel und Schneider weit über der von der EU vorgesehenen (extrem niedrigen) UQN für Biota von 0,0085 µg/g FG [12]. Die Messwerte für Döbel liegen im mittleren Bereich der von [13] erhobenen Werte für Döbel aus der Elbe. Die Messwerte für PBDE in Gammariden, die unterhalb der KA Langwiese entnommen wurden, liegen in der Größenordnung der Werte für Fische an dieser Probestelle. Deutliche Unterschiede zwischen Fischen und Gammariden findet man in der Verteilung der akkumulierten PBDE-Kongenere: Während bei Fischen BDE-47 mehr als 90 Prozent der Gesamt-BDE ausmacht, dominiert bei Gammariden aus der Schussen die wesentlich hydrophobere Verbindung BDE-209. Ob dies mit Kongener-spezifischer Aufnahme bzw. Akkumulation bei den beiden Arten zusammenhängt, ist derzeit nicht bekannt.

Die meisten der untersuchten *endokrin wirksamen Verbindungen* konnten nicht in den Geweben der untersuchten Fische nachgewiesen werden. In hohen Konzentrationen trat allerdings das Phytoöstrogen β-Sitosterol, in sehr geringen Konzentrationen 4-tert-Octylphenol in Fischen aus Schussen und Argen auf. Die hohen Messwerte für β-Sitosterol in Fischen aus der Argen lassen sich in Zusammenhang mit den im Oberflächenwasser nachgewiesenen hohen Konzentrationen dieser Verbindung bringen (s.o.). Da das östrogene Potenzial dieses Phytoöstrogens allerdings im Vergleich zu synthetischen oder natürlichen Hormonen um den Faktor 10^4

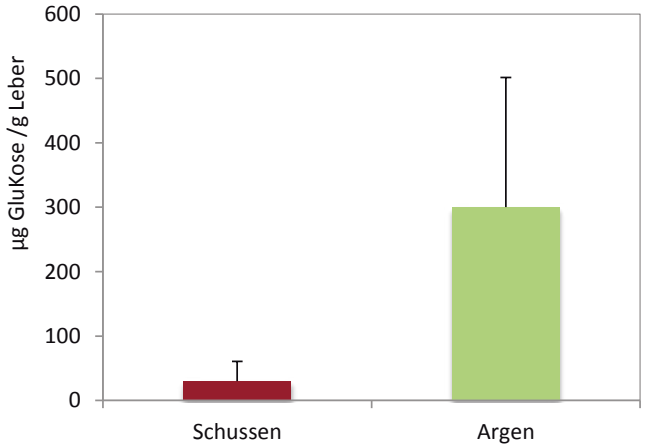

Abb. 7: Glykogengehalt in der Leber von Döbeln aus der Schussen (PS3, unterhalb der Kläranlage Langwiese) und der Argen (PS4).

geringer ist [14], sind von dieser Substanz ausgehende hormonelle Potenziale in Schussen und Argen als eher gering einzuschätzen.

3.2 Hormonelle und toxische Wirkpotenziale und reale Wirkungen

Ein Ziel des Projektes war es, die Relevanz der Ergebnisse aus Wirkpotenzialtests im Labor für tatsächliche Wirkungen in Organismen aus dem Freiland (oder solchen, die dort aktiv exponiert wurden) zu überprüfen. Auf Plausibilität beruhende Zusammenhänge mit möglicherweise für die Effekte verantwortlichen, im Rahmen des Projektes in den untersuchten Umweltmatrices nachgewiesenen Chemikalien wurden hergestellt.

Hormonelle Potenziale, für welche Chemikalienkonzentrationen sogar unterhalb der chemisch-analytischen Nachweisgrenzen sowie Summeneffekte verantwortlich sein können, wurden im Rahmen von SchussenAktiv mit *in vitro*- und *in vivo*-Testsystemen untersucht. Mit dem E-Screen-Test, der auf der durch endokrin wirksame Chemikalien induzierten vermehrten Teilung menschlicher Brustkrebszellen (MCF-7) basiert, wurde so z. B. eine östrogene Gesamtaktivität von max. 4,6 ng/L Östrogenäquivalente (EEQ) im KA-Ablauf bzw. max. 1,7 ng/L (EEQ) im Oberflächenwasser der Schussen ermittelt. Im Sediment der Schussen wurden mit Reportergenassays, welche die transformierte Mammakarzinomzelllinie (MVLN) und die Zelllinie HeLa-9903 nutzen, geringe östrogene und anti-östrogene Potenziale ermittelt (Abbildung 6). Vor dem Hintergrund, dass hormonelle Effekte durch Chemikalienkonzentrationen im unteren Nanogramm-Bereich ausgelöst werden können, trägt die biologische Wirkpotenzialanalytik, wie sie beispielsweise vom E-Screen-Test oder den im Projekt eingesetzten Reportergenassays geleistet wird, dazu bei, in einem Konzentrationsbereich Vorsorge treffen zu können, der mit instrumenteller Analytik (noch) nicht erfasst werden kann.

Durch die *in vivo* durchgeführten Reproduktionstests mit der Zwergdeckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum* wurden nicht nur, wie mit den Reportergenassays, in Sedimenten aus der Schussen, sondern auch in solchen aus der Argen sehr starke östrogenähnliche Potenziale nachgewiesen. Dieser Unterschied ist möglicherweise durch eine sehr viel höhere Sensitivität der im *in vivo*-Tests eingesetzten Testorganismen im Vergleich zu den im *in vitro*-Test verwendeten Lell-Linien zu erklären.

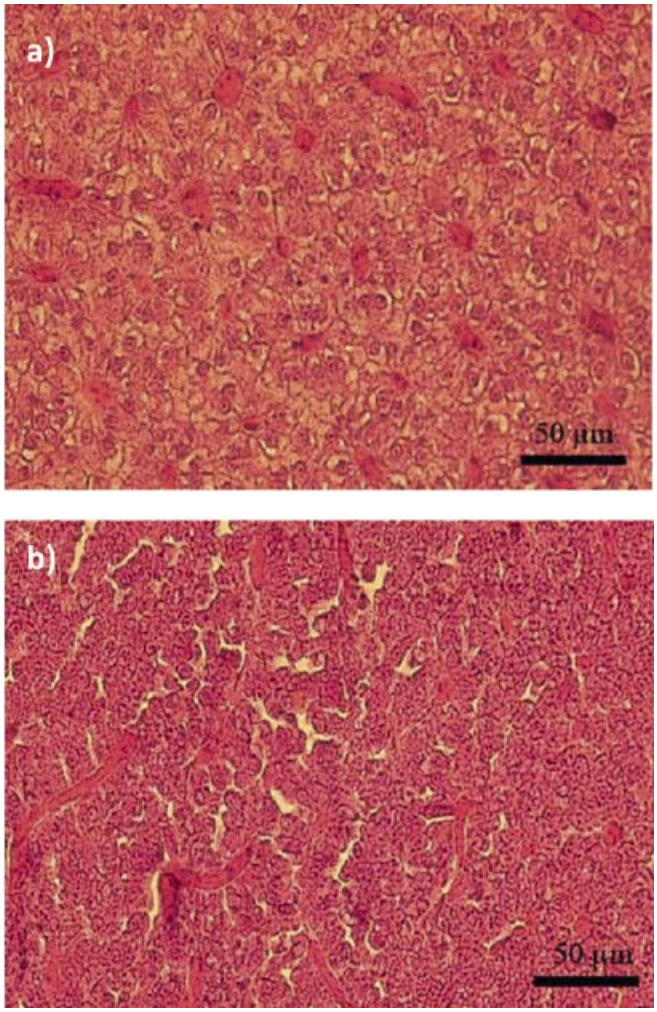

Abb. 8: Leber eines Döbels (a) aus der Argen mit Glykogenspeicher (helle Areale) und (b) aus der Schussen mit stark reduziertem Glykogen und deutlich erweiterten Interzellularräumen.

Um die Indizienkette von der Präsenz potenziell hormonell wirksamer Substanzen über endokrine Potenziale bis hin zu tatsächlichen Wirkungen bei Freilandorganismen verlängern zu können, wurden Wirkuntersuchungen an Fischen (Döbel, Schneider und Forellen) und Flohkrebsen durchgeführt, die entweder aus dem Freiland entnommen oder in Bypass-Systemen aktiv dem Wasser von Schussen oder Argen gegenüber exponiert wurden. Die Induktion der Bildung von Vitellogenin in Jungforellen und die höhere Anzahl an weiblichen Schneidern und Gammariden in der Schussen unterhalb der KA Langwiese lassen vermuten, dass sich an dieser Probenahmestelle östrogene Einflüsse bei Freilandorganismen bereits moderat manifestiert haben. Allerdings sprechen die verzögerte Gonadenreife bei weiblichen Döbeln und der signifikant niedrige gonadosomatische Index bei männlichen und weiblichen Döbeln für zusätzliche antiöstrogene und / oder toxische Einflüsse. Um Giftstoffe zu metabolisieren bzw. diese zu entgiften, setzen Organismen große Teile ihrer Stoffwechselenergie ein. Diese Energie steht in der Folge für Organ- oder Körperwachstum nicht zur Verfügung, so dass z. B. Fortpflanzungsorgane kleiner bleiben (sog. energetischer *trade-off*). Vor diesem Hintergrund ist das signifikant geringere Gonadengewicht bei Döbeln aus der Schussen zu erklären. Die Ergebnisse der biochemischen Glykogennachweise (Abbildung 7) sowie die histologisch sichtba-

Stoffgruppe	KA-Ablauf	P 3 Schussen (uh KA)	Fische Schussen	Gammariden Schussen	P 4 (Argen)	Fische Argen	Relevante Stoffe
Arzneimittel							Diclofenac, Carbamazepin, Sulfamethoxazol
Phytohormone							ß-Sitosterol
PSM							Wasser: Carbendazim, DMS, Mecoprop; Biota: DDX
Süßstoffe							Acesulfam, Sucralose
Metalle							Zn, Ni, Cu, Cd
Biozide							Methyltriclosan
Alkylphenole							Oktylphenol
Komplexbildner							EDTA, DPTA
Flammschutzmittel							Wasser: Tris(2-chlorpropyl)phosphat; Biota: PBDE
PCB							PCB_6

Bewertung:

	in hohen Konzentrationen nachgewiesen
	regelmäßig in mittleren Konzentrationen nachgewiesen
	in geringen Konzentrationen nachgewiesen
	nicht nachgewiesen

Tabelle 2: Zusammenfassende Bewertung der Relevanz der nachgewiesenen Stoffgruppen im Ablauf der KA Langwiese, im Oberflächenwasser und in Biota aus Schussen und Argen

	Ablauf KA Langwiese				P 3 (Schussen) / Bypass Gunzenhaus				P 4 (Argen) / Bypass Pflegelberg			
	toxische		endokrine		toxische		endokrine		toxische		endokrine	
ANALYSEMETHODE	Potentiale	Wirkungen	Potentiale	Wirkungen	Potentiale	Wirkungen	Potentiale	Wirkungen	Potentiale	Wirkungen	Potentiale	Wirkungen
E-Screen	(3)		3				2				1	
Reportergenassays Östrogenität			2				1				0/1	
Reportergenassays Anti-Östrogenität			1				1				0/1	
Reportergenassays Anti-Androgenität			0				1				0/1	
Reproduktionstests mit Schnecken	(3)		2				3				3	
Vitellogenin								2				0
Reifezustand, Geschlechterverhältnis, GSI Fische								3				0
Fertilität, Geschlechterverhältnis Gammarus								2				
Reportergenassays dioxinähnl. Potentiale	1				2				1			
Reportergenassays gentoxische Potentiale	1				2				0			
Mikrokerntests Fische						3				1		
Acetylcholinesterase						1				2		
Stressproteinanalysen						2				1		
Histopathologie Fische						3				2		
Embryotest Zebrabärbling Labor	1				1				1			
Embryotest Forellen Bypass						2				2		
Parasitiertung, Stessproteine Gammariden						1				0		
Makrozoobenthos						3						

Bewertung:

0	kein Effekt
1	schwacher Effekt
2	mittlerer Effekt
3	starker Effekt

Tabelle 3: Zusammenfassung der Resultate der durchgeführten Tests bzw. Untersuchungen vor dem Hintergrund, welche Endpunkte adressiert wurden (toxische/endokrine Potenziale/ Wirkungen) und wie stark die Effekte ausfielen.

ren Veränderungen in der Leber der Fische (Abbildung 8) unterstützen diese Hypothese des energetischen Trade-offs, da die Fische aus der Schussen signifikant weniger Glykogen (Speicherkohlenhydrat) in der Leber speichern als Fische aus der Argen.

Bekannt ist allerdings auch, dass tolerante Individuen aus Populationen, die dauerhaft und über viele Generationen hinweg unter Schadstoffeinfluss leben, bei geringerer Körpergröße und in geringerem Alter als üblich bereits reproduzieren können, was als mikroevolutive Anpassung gedeutet wird [15].

Aus der Gruppe der von [10] und [16] als potenziell endokrin wirksam eingestuften Chemikalien wurden im Rahmen des Projektes 4-tert-Octylphenol, Bisphenol A, polybromierte Diphenylether, ß-Sitosterol, Methyltriclosan, PCB, Quecksilber, Cadmium und DDX-Verbindungen in mindestens einem der untersuchten Umweltkompartimente nachgewiesen. Im Rahmen des Nachfolgeprojektes wurden zudem das Hormon Estron über der Nachweisgrenze im KA-Ablauf und im Oberflächenwasser der Schussen unterhalb der KA sowie deutliche PFT-Konzentrationen in Fischen aus der Schussen nachgewiesen. Die Konzentrationen der sehr stark wirksamen östrogenen Verbindungen ß-Estradiol bzw. 17alpha-Ethinylestradiol (EE2) lagen sowohl in den Oberflächenwasserproben als auch in den Ablaufproben der KA unterhalb der Nachweisgrenze.

Dass in der Schussen ein Zusammenspiel von endokrinen und toxischen Einflüssen von Bedeutung ist, ist aufgrund der Ergebnisse dieses Projektes sehr wahrscheinlich. Gewebetoxische Effekte können z. B. durch die nachgewiesenen Arzneimittel Diclofenac oder Carbamazepin hervorgerufen werden [17] [18]. Nach [19] und [20] könnten als Ursache für neurotoxische Effekte Quecksilber, Arsen, Kupfer, Cadmium, oder DDX in Frage kommen, für gentoxische bzw. cancerogene Wirkungen könnten laut [21] Nickel, Arsen oder der Metabolit von DMS,

das cancerogene NDMA (n-Nitrosodimethylamin), nach [22], [23] und [24] auch TCPP und Methyltriclosan sowie nach [25] Carbendazim verantwortlich sein. Genotoxische Potenziale, die mittels Reportergenassays in der Schussen nachgewiesen wurden, lassen sich dementsprechend einerseits mit der Präsenz dieser Substanzen in Verbindung bringen, andererseits wurden aber auch in Fischen aus der Schussen bzw. in solchen, die aktiv dem Wasser der Schussen gegenüber exponiert waren, genotoxische Effekte nachgewiesen. In den Blutzellen von Döbeln war die Anzahl an Mikrokernen, die DNA-Schädigungen anzeigen, deutlich erhöht.

Inwiefern sich auf Individualebene festgestellte Reaktionen bzw. Schädigungen bei Freilandfischen auf der Ebene der Fischpopulationen widerspiegeln, wurde im Rahmen von SchussenAktiv nicht untersucht. Allerdings liegen von anderer Seite für den Wasserkörper zwischen Mariatal (oberhalb KA Langwiese) und Mariabrunn Daten zur Bewertung des ökologischen Zustands des Gewässers auf der Basis des fischbasierten Bewertungssystems für Fließgewässer (FIBS) vor. Die Stelle „Brugg“ oberhalb von Meckenbeuren repräsentiert in diesem Wasserkörper eine Probestelle unterhalb der KA Langwiese. Der Gütezustand dieser Probestelle wurde nach FIBS als „mäßig“ eingestuft, wobei einer der Gründe hierfür die starke Dominanz des Schneiders in diesem Teilabschnitt des Wasserkörpers (50 – 75 Prozent aller Fische) war (Dussling, pers. Mitteilung 23. Juli 2012). Ob dieser Befund aus einer eventuellen vergleichsweise hohen Toleranz des Schneiders gegenüber chemischen Belastungen unterhalb der KA Langwiese resultiert, wäre weitergehend zu untersuchen. Bei den histologischen Untersuchungen und Stressproteinanalysen im Rahmen von SchussenAktiv erwies sich der Schneider insgesamt als weniger empfindlich als der Döbel, die Bachforelle oder die Regenbogenforelle.

Die Untersuchung des Makrozoobenthon entlang der Schussen verdeutlicht den Einfluss der Kläranlage Langwiese auf der Ebene der Lebensgemeinschaft. Die geringere Artenzahl und Individuendichte unterhalb der KA Langwiese und hierbei vor allem der sensitiven Artengruppen weist allerdings darauf hin, dass andere Stoffe als die zuvor genannten auf das System negativ einwirken können.

In den Tabellen 2 und 3 werden abschließend die chemisch-analytischen Daten und die Ergebnisse der Wirktests zusammenfassend bewertet. Beide Tabellen gemeinsam verdeutlichen, dass sowohl auf der Expositions- als auch auf der Effektseite ein komplexes Zusammenspiel zahlreicher Einflussgrößen die Belastungssymptomatik an Schussen und Argen beschreibt, wobei die Dichte der Einflussgrößen an der Schussen deutlich höher ist.

4 Fazit und Ausblick

Als Ergebnis des Projektes SchussenAktiv lässt sich festhalten, dass es durch den kombinierten Einsatz verschiedener Methoden, die sowohl die Expositions- als auch die Effektseite abdecken, möglich war, zwar nicht im Sinne von Kausalität, wohl aber auf der Basis einer Evidenzkette die auf Plausibilitätskriterien beruht [26], Zusammenhänge zwischen (1) der Präsenz von Spurenstoffen in Umweltkompartimenten, (2) toxischen und hormonellen Potenzialen, (3) toxischen und endokrinen Effekten bei exponierten Organismen sowie (4) dem Zustand der Lebensgemeinschaft in der Schussen herzustellen. So konnte z. B. die Präsenz potenziell gentoxischer Chemikalien in den untersuchten Umweltmatrices mit dem positiven Nachweis gentoxischer Potenziale sowie dem Auftreten gentoxischer Effekte in Blutzellen der untersuchten Fische in Verbindung gebracht werden. Die starke Variation im Nachweis östrogenartig wirkender Chemikalien spiegelte sich auch in der Variabilität der nachgewiesenen östrogenen Wirkpotenziale und Wirkungen bei Fischen und Fischnährtieren in der Schussen wieder. Die reduzierte Anzahl sensitiver Taxa unterhalb der untersuchten Kläranlage an der Schussen spricht dafür, dass sich negative Effekte bereits auf biozönotischer Ebene manifestiert haben. Ein Zusammenspiel toxischer und hormoneller Einflüsse auf die Organismen in der Schussen ist hierbei aufgrund der erzielten Resultate wahrscheinlich. Für die als Referenzgewässer ausgewählte Argen konnte gezeigt werden, dass die untersuchte Probenahmestelle zwar insgesamt als deutlich weniger belastet gelten kann als die Probenahmestellen an der Schussen, dass aber auch hier Bedarf besteht, bestimmte Expositionen (z. B. b-Sitosterol, Cadmium, Arsen, Quecksilber, Zink) und Effekte (z. B. Acetylcholinesterasehemmung bei Fischen, fehlende Abundanz von Gammariden) genauer zu betrachten um gegebenenfalls ihre Ursachen zu eruieren.

Für die Fortführung des Projektes über weitere drei Jahre hinweg konnten Fördermittel vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) eingeworben werden. Die Fragestellung von SchussenAktiv ist hierbei in ein erweitertes Forschungsfeld integriert und wird unter dem Namen „SchussenAktiv*plus*“ bis Ende 2014 fortgeführt. Inhalte und Ziel dieses Projektes sind bei [3] beschrieben. Aufgrund der Fertigstellung des Ausbaus der Kläranlage Langwiese im Sommer 2013 wird der Zustand der Schussen noch eineinhalb Jahre vor und anschließend eineinhalb Jahre nach dem Ausbau der Kläranlage untersucht.

Dank

Unser Dank gilt (1) dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die Förderung dieses Projektes sowie der Vorstudie, (2) der Stiftung „Natur und Umwelt“ der Landesbank Baden-Württemberg für Teile der Anschubfinanzierung, (3) Herrn Lothar Heissel, Ref. 53.2 des RP Tübingen, und seinen Mitarbeitern für die umfassende Unterstützung beim Aufbau der Freilandstationen; hierbei vor allem Herrn Vollmer für den unkonventionellen Transport des Bauwagens nach Wangen, (4) Frau Regierungsvizepräsidentin Grit Puchan, Abt. 1, und Herrn Dietmar Enkel, Abt. 5 Umwelt des RP Tübingen, für die Bereitstellung der Räumlichkeiten für die Projekttreffen sowie für ihr Interesse und für die Unterstützung des Projektes, (5) Herrn Gerd Schröder, ISF Langenargen, für seinen Einsatz für das Projekt, (6) Frau Dr. Ursula Maier vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die intensive und kritische Durchsicht des Abschlussberichts zu dieser Studie sowie für gute Anregungen, (7) Herrn Ralph-Michael Jung, Stadt Ravensburg für sein Interesse und die Unterstützung des Projektes, (8) den Mitarbeitern der Kläranlagen Langwiese und Pflegelberg sowie des AV Unteres Schussental, ganz besonders den Herren Markus Bertsch, AZV Mariatal und Heiko Kiebler, AV Unteres Schussental für ihre große Kooperationsbereitschaft, (9) den Herren Kurt Sarembe und Andreas

Schießl, ISF Langenargen, für den unermüdlichen Einsatz bei den Befischungen, (10) zahlreichen Vertretern der Fischereivereine an Schussen und Argen für wichtige Tipps, (11) Frau Lisa Hanslik, MSc und Herrn Dipl.-Biol. Sebastian Kindermann, Universität Tübingen sowie Frau Dr. Agnes Sieratowicz, Universität Frankfurt / Main für die Projektarbeiten im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten sowie (12) Herrn Matthias Lucht, MSc, Universität Tübingen, für die Vorlage zu Abb. 1.

Literatur

[1] Brauch H.-J., (2011): *Organische Spurenstoffe in Gewässern. Vorkommen und Bewertung*. Gwf-Wasser/Abwasser, 12, 1206-1211

[2] Triebskorn R., Hetzenauer H. (2012): *Micropollutants in three tributaries of Lake Constance, Argen, Schussen and Seefelder Aach: a literature review. (Mikroverunreinigungen in den drei Bodenseezufluessen Argen, Schussen und Seefelder Aach – eine Literaturstudie)*. Environmental Sciences Europe 24, 8 (open access)

[3] Triebskorn R., Amler A., Blaha L., Gallert C., Giebner S., Güde H., Henneberg A., Hess S., Hetzenauer H., Jedele K., Jung R.-M., Kneipp S., Köhler H.-R., Krais S., Kuch B., Lange C., Löffler H., Maier D., Metzger J., Müller M., Oehlmann J., Osterauer R., Peschke K., Raizner J., Rey P., Rault M., Richter D., Sacher F., Scheurer M., Schneider-Rapp J., Seifan M., Spieth M., Vogel H.-J., Weyhmüller M., Winter J., Wurm K. (2013): *SchussenAktivplus: reduction of micropollutants and of potenzially pathogenic bacteria for further water quality improvement of the river Schussen, a tributary of Lake Constance,* Germany. Environmental Sciences Europe 25, 2 (open access)

[4] Triebskorn R., Sandu C., Telcean I., Casper H., Farkas A., Colarescu O., Dori T., Köhler H.-R. (2008): *Monitoring Pollution in River Mure , Romania, Part II: Metal accumulation and histopathology*. Environmental Monitoring and Assessment 141, 177-188

[5] Honnen W., Rath K., Schlegel T., Schwinger A., Frahne D. (2001*): Chemical analyses of water, sediment and biota in two small streams in Southwest Germany*. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 8, 195-213

[6] Havelková M., Randak T., Blahova J., Slatinska I., Svobodová, Z. (2008): *Biochemical markers for the assessment of aquatic environment contamination.* Interdisciplinary Toxicology 1(2), 169-81

[7] *Verordnung (EG) Nr. 1259/2011 der Kommission vom 2. Dezember 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) No 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für Dioxine und Dioxin-ähnliche PCB in Lebensmitteln*.

[8] Umweltprobenbank: *http://www.umweltprobenbank.de/de/documents/investigations/ results/analytes?analytes=10100&sampling_areas=&sampling_years=&specimen_types=10007*

[9] Leiker T.J., Abney S.R., Goodbred S.L., Rosen M.R. (2009): *Identification of methyltriclosan and halogenated analogues in male common carp (Cyprinus carpio) from Las Vegas Bay and semipermeable membrane devices from Las Vegas Wash, Nevada.* Science of the Total Environment 407(6), 2102-2114

[10] Brausch J.M., Rand G.M. (2011): *A review of personal care products in the aquatic environment: environmental concentrations and toxicity*. Chemosphere 82(11), 1518-32.

[11] Ciniglia C., Cascone C., Giudice R.L., Pinto G., Pollio A. (2005): *Application of methods for assessing the geno- and cytotoxicity of Triclosan to C. ehrenbergii.* Journal of Hazardous Materials 122(3), 227-32

[12] COM 2011/876 (2012): *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy.* 31.1.2012

[13] Hajslová J., Pulkrabová J., Poustka J., Cajka T., Randák T (2007): *Brominated flame retardants and related chlorinated persistent organic pollutants in fish from river Elbe and its main tributary Vltava.* Chemosphere 69(8), 1195-203

[14] Körner W., Bolz U., Triebskorn R., Schwaiger J., Negele R.-D., Marx A., Hagenmaier H. (2001): *Steroid analysis and xenosteroid potenzials in two small streams in Southwest Germany.* Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 8(3/4), 215-229

[15] Donker M.H., Zonneveld C., van Straalen N.M. (1993): *Early reproduction and increased reproductive allocation in metal-adapted populations of the terrestrial isopod Porcellio scaber.* Oecologia 96, 316-323

[16] Landesumweltamt Brandenburg (2010): *Studien und Tagungsberichte Band 26: Endokrin wirksame Stoffe in der Umwelt – Literaturstudie zur Bedeutung dieser Stoffe im Land Brandenburg*. http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/2320/lua_bd26.pdf

[17] Schwaiger J., Ferling H., Mallow U., Wintermayr H., Negele R.D. (2004): *Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac. Part I: histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout.* Aquatic Toxicology 68(2), 141-150

[18] Triebskorn R., Casper H., Scheil V. Schwaiger J. (2007): *Ultrastructural effects of pharmaceuticals (carbamazepine, clofibric acid, metoprolol, diclofenac) in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and common carp (Cyprinus carpio).* Analytical and Bioanalytical Chemistry 387(4), 1405-1416

[19] Bull S. (2007): *Review of Environmental Chemicals and Neurotoxicity. Focus on Neurological Diseases*. Health Protection Agency, Chilton

[20] EPA Health Effect Assessment of DD. *EPA -540/1-86-026*

[21] Umweltbundesamt (2011): *Karzinogene, mutagene, reproduktionstoxische (CMR) und andere problematische Stoffe in Produkten. Identifikation relevanter Stoffe und Erzeugnisse, Überprüfung durch Messungen, Regelungsbedarf im Chemikalienrecht*. UBA-Texte 18/2011

[22] Uhl M., Hartl W., Schar S. (2010): Überprüfung von Babyartikeln auf Schadstoffe. Umweltbundesamt Wien, Rep-0284. http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/ publikationen/REP0284.pdf

[23] Anitha D., Shantha S.L., Krishnamurthy V., Vanishree R. (2008): *Triclosan as a genotoxic compound for Drosophila melanogaster.* Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology 1(5), 12-161.

[24] Lin D, Xie X, Zhou Q, Liu Y. (2012): *Biochemical and genotoxic effect of triclosan on earthworms (Eisenia fetida) using contact and soil tests*. Environmental Toxicology 27(7), 385-92

[25] PAN *Europe factsheet on Carbendazim*, Brussels, 2nd March 2011

[26] Triebskorn R., Adam S., Behrens A., Beier S., Böhmer J., Braunbeck T., Casper H., Dietze U., Gernhöfer M., Honnen W., Köhler H.-R., Körner W., Konradt J., Lehmann R., Luckenbach T., Oberemm A., Schwaiger J., Segner H., Strmac M., Schüürmann G., Siligato S., Traunspurger W. (2003): *Establishing causality between pollution and effects at different levels of biological organization*: The VALIMAR project. Human and Ecological Risk Assessment 9(1), 171-194

Autoren

Prof. Dr. Rita Triebskorn
Dipl.-Biol. Anja Henneberg
Prof. Dr. Heinz-R. Köhler
Dipl.-Geoökol. Stefanie Krais
Dipl.-Biol. Diana Maier
Dipl.-Biol. Katharina Peschke
Dipl.-Biol. Paul Thellmann
Physiologische Ökologie der Tiere
Institut für Evolution und Ökologie
Universität Tübingen
Konrad-Adenauer-Straße 2
72072 Tübingen

Prof. Dr. Rita Triebskorn
Steinbeis Transferzentrum
für Ökotoxikologie und Ökophysiologie
Blumenstraße 13, 72108 Rottenburg

Prof. Dr. Ludek Blaha
RECETOX-Research Centre for Toxic Compounds
in the Environment
Faculty of Science
Masaryk University
Kamenice 3, CZ-62500 Brno, Tschechien

Dr. Harald Hetzenauer
Dr. Hans Güde
Brigitte Engesser
ISF (Institut für Seenforschung) der LUBW (Landesanstalt für
Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Argenweg 50/1
88085 Langenargen

Dr. Bertram Kuch
ISWA (Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte-
und Abfallwirtschaft)
Bandtäle, 70569 Stuttgart

Prof. Dr. Jörg Oehlmann
Aquatische Ökotoxikologie
Goethe Universität Frankfurt
Max-von-Laue-Straße 13
60323 Frankfurt am Main

Dr. Magali Rault
Dr. Séverine Suchail
Université d'Avignon
et des Pays de Vaucluse UMR 7263 CNRS-IRD
IMBE, 301 rue Baruch de Spinoza BP21239
F-84916 Avignon Cedex 09, Frankreich

Dipl.-Biol. Peter Rey
Hydra-Büro
Fürstenbergstraße 25, 78467 Konstanz

Dr. Doreen Richter
Dr. Frank Sacher
TZW (DVGW-Technologiezentrum Wasser)
Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe

Dipl.-Biol. Michael Weyhmüller
BBW – Biologiebüro Weyhmüller
Am Königsbühl 15, 88147 Achberg

Dr. Karl Wurm
GLW (Gewässerökologisches Labor Wurm)
Tulpenstraße 4, 72181 Starzach

Dipl.-Ing. Hans-J. Vogel
Regierungspräsidium Tübingen
Referat 54.3
72072 Tübingen

E-Mail: rita.triebskorn@uni-tuebingen.de bzw.
stz.oekotox@gmx.de
blaha@recetox.muni.cz
Brigitte.engesser@lubw.bwl.de
anja.henneberg@googlemail.com
hans.guede@lubw.bwl.de
harald.hetzenauer@lubw.bwl.de
heinz-r.koehler@uni-tuebingen.de
stefanie.krais@uni-tuebingen.de
Bertram.Kuch@iswa.uni-stuttgart.de
dianamaier.mt@gmail.com
oehlmann@bio.uni-frankfurt.de
katharina.peschke1@googlemail.com
rault@avignon.inra.fr
p.rey@hydra-institute.com
doreen.richter@tzw.de
sacher@tzw.de
suchail@avignon.inra.fr
info@biologiebuero-weyhmueller.de
GLW.K.Wurm@t-online.de
hans-joachim.vogel@rpt.bwl.de

Unser Expertentipp

ATV-DVWK-Arbeitsbericht
Anthropogene Einflüsse auf Niedrigwasserabflüsse
März 2003,
85 Seiten, DIN A4,
ISBN 978-3-924063-45-0
anstatt ~~€ 36,00/~~
jetzt € 21,60

DWA-Themen
Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe
Mai 2008,
85 Seiten, DIN A4,
ISBN 978-3-940173-74-4
auch in Englisch erhältlich
anstatt ~~€ 64,00/~~
jetzt € 38,40

Seminar
Spurenstoffelimination auf Kläranlagen – Notwendigkeit, Verfahren, Kosten
14.11.2013 in Siegburg
€ 390,00/€ 320,00
für DWA-Mitglieder

Kostenlos: DWA Position zu anthropogenen Spurenstoffe unter www.dwa.de Themen