

EINFLUSS VON MIKROVERUNREINIGUNGEN

LEBENS-GEMEINSCHAFTEN IN FLIESSGEWÄSSERN – ERGEBNISSE AUS DEM PROJEKT ECOIMPACT

Im Projekt Ecolmpact wurden die ökotoxikologischen und ökologischen Effekte von Mikroverunreinigungen aus Kläranlagen auf aquatische Lebensgemeinschaften untersucht. Chemische und biologische Untersuchungen oberhalb und unterhalb von Kläranlagen deuten auf Effekte dieser Stoffe hin, die von physiologischen Antworten der Organismen bis hin zu veränderten Ökosystemfunktionen wie z. B. dem Laubbau reichen. Gezielte Rinnenexperimente mit kontrollierter Wasserqualität unterstützen diese Befunde.

Christian Stamm; Frank Burdon; Stephan Fischer, Eawag
Cornelia Kienle, Oekotoxzentrum Eawag-EPFL
Nicole Munz; Ahmed Tlili; Florian Altermatt, Eawag
Renata Behra; Helmut Bürgmann; Adriano Joss, Eawag
Katja Räsänen; Rik Eggen, Eawag*

RÉSUMÉ

LES MICROPOLLUANTS INFLUENT SUR LES BIOCÉNOSES DES COURS D'EAU – RÉSULTATS DU PROJET ECOIMPACT

Durant les prochaines années, de nombreuses stations d'épuration (STEP) de Suisse obtiendront un niveau d'assainissement supplémentaire afin d'éliminer de façon ciblée les micropolluants (MP) organiques. La charge de ces substances doit ainsi être divisée par deux dans tout le pays. Bien que les conséquences positives sur la qualité de l'eau soient indubitables, les conséquences écologiques des MP sur les cours d'eau sont insuffisamment comprises. La modernisation des stations d'épuration pourra nous permettre d'en apprendre davantage là-dessus.

Cela n'est cependant possible que si l'état chimique et biologique des cours d'eau a été évalué avant cette modernisation. C'est cette motivation qui a poussé l'Eawag à lancer en 2013 le projet interdisciplinaire Ecolmpact. Au cours de sa première phase jusqu'en 2016, on s'est posé la question de savoir quelles étaient les conséquences écologiques des MP des eaux usées nettoyées sur la composition des biocénoses des cours d'eau et sur le fonctionnement des écosystèmes de rivières. Pour répondre à cette question, on a procédé à des analyses chimiques et biologiques

AUSGANGSLAGE

Mit dem Inkrafttreten des neuen Gewässerschutzgesetzes auf den 1. Januar 2016 wurde der Grundstein für die Weiterentwicklung der Schweizer ARA-Infrastruktur gelegt. Ausgewählte Abwasserreinigungsanlagen (ARA) werden in der Schweiz zukünftig mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe versehen, um gezielt organische Mikroverunreinigungen (MV) zu entfernen. Die Fracht dieser Substanzen soll schweizweit um die Hälfte reduziert werden. Diese Investitionen werden die Wasserqualität erhöhen, das Risiko für aquatische Lebewesen vermindern und dazu beitragen, auch zukünftig chemisch einwandfreies Trinkwasser zur Verfügung zu stellen.

Obwohl diese positiven Aspekte unbestritten sind, versteht man die ökologischen Auswirkungen von MV in Fließgewässern nur unzureichend. Aus der Aufrüstung der Kläranlagen kann dazu aber zukünftig einiges gelernt werden. Da durch diese Aufrüstungen gezielt MV entfernt werden, kann beobachtet werden, wie die geringere Belastung mit MV die Wasserorganismen beeinflusst.

* Kontakt: christian.stamm@eawag.ch

ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE

Diese Beobachtungen und das damit verbundene Lernen über die ökologische Rolle der MV sind nur möglich, wenn der Zustand vor der Aufrüstung erfasst wurde. Mit dieser Motivation hat die Eawag 2013 das interdisziplinäre Projekt *EcolImpact* gestartet. Es ging in seiner ersten Phase (bis 2016) der Frage nach, welche ökotoxikologischen und ökologischen Auswirkungen MV aus gereinigtem Abwasser auf die Zusammensetzung und das Funktionieren von Fluss-Ökosystemen haben.

Um diese Frage zu klären, wurden an 24 ARA-Standorten (Fig. 1) die Wasserchemie und -biologie oberhalb und unterhalb der Abwassereinleitung untersucht. Oberhalb war jeweils kein Abwasser im Gewässer vorhanden (mit einer Ausnahme, bei welcher nachträglich klar wurde, dass eine geringe Menge eingeleitet wurde). Zudem wurde darauf geachtet, dass Fluss- und Ufermorphologie oberhalb und unterhalb jeder ARA jeweils möglichst ähnlich und dass oberhalb (diffuse) Pestizideinträge durch Obst- oder Gemüsebau möglichst gering waren.

An jedem Standort wurden bei Trockenwetter während eines Jahres chemische und biologische Erhebungen durchgeführt. Jeweils zwölf Stellen wurden 2013 und 2014 untersucht. Zudem wurden Antibiotika-Resistenzgene (Box 1) und genetisches Material für die Erfassung der Biodiversität (Box 2) analysiert.

Die Ergebnisse sind aufgrund der hohen Anzahl der Standorte für das Mittelland und den Jura breit abgestützt. Solche Feldstudien erlauben es jedoch nicht, gezielt den Einfluss von MV und anderen Abwasserkomponenten auseinanderzuhalten. Aus diesem Grund wurde das Rinnensystem *Maiandros* (Fig. 2) entwickelt, in dem in 16 Durchflussrinnen vier unterschiedliche Wasserqualitäten hergestellt und die ökologischen Auswirkungen von MV und Nährstoffen sowohl separat als auch in Kombination studiert werden können.

Im Folgenden werden zuerst die wichtigsten Ergebnisse aus den Felderhebungen vorgestellt, danach die relevanten Erkenntnisse aus den Rinnenversuchen beschrieben.

ERGEBNISSE DER FELDUNTERSUCHUNGEN

WASSERQUALITÄT OBERHALB UND UNTERHALB DER ARA

Wie zu erwarten war, stiegen an allen Untersuchungsstandorten die Konzentrationen aller chemischen Wasserqualitätsparameter von oberhalb nach unterhalb der Kläranlagen deutlich an (Fig. 3). Besonders ausgeprägt war der Anstieg bei Medikamenten und Haushaltschemikalien. Aber auch die Konzentrationen von Nährstoffen, Schwermetallen und Pflanzenschutzmitteln/Bioziden waren unterhalb der ARA deutlich erhöht [1].

Welche biologische Bedeutung die Konzentrationen der MV potenziell haben können, erlaubt ein Vergleich mit Umweltqualitätskriterien, welche das Ökotoxizentrum Eawag-EPFL für zahlreiche MV hergeleitet hat [2]. Teilt man die gemessene Konzentration eines chemischen Stoffes durch das entsprechende Qualitätskriterium, erhält man einen Risikofaktor. Ist dieser grösser als eins, besteht ein Risiko für negative Auswirkungen auf Wasserlebewesen. Zur Beurteilung der Mischungstoxizität können in erster Näherung die Risikofaktoren aller Substanzen aufsummiert werden [3]. Es zeigte sich, dass nur wenige Substanzen pro Standort den überwiegenden Teil des jeweiligen Risikos ausmachten. Neben Diclofenac als Schmerzmittel waren die anderen relevanten Substanzen in der Regel Pestizide (Dia-

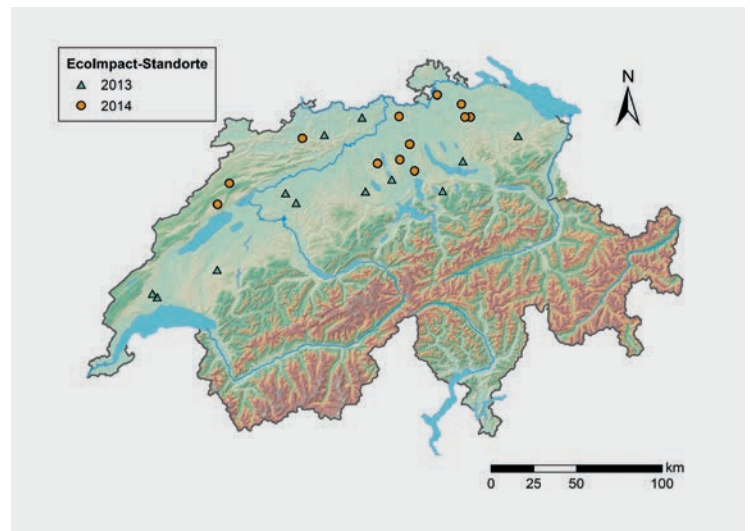


Fig. 1 Karte der 24 EcolImpact-Standorte.

Carte des 24 sites EcolImpact (reproduite avec l'autorisation de swisstopo) (Swisstopo: 5704 000000/DHM25@2003; Vector200@2015; swissTLM3D@2014, reproduziert mit Bewilligung swisstopo/JA100119)

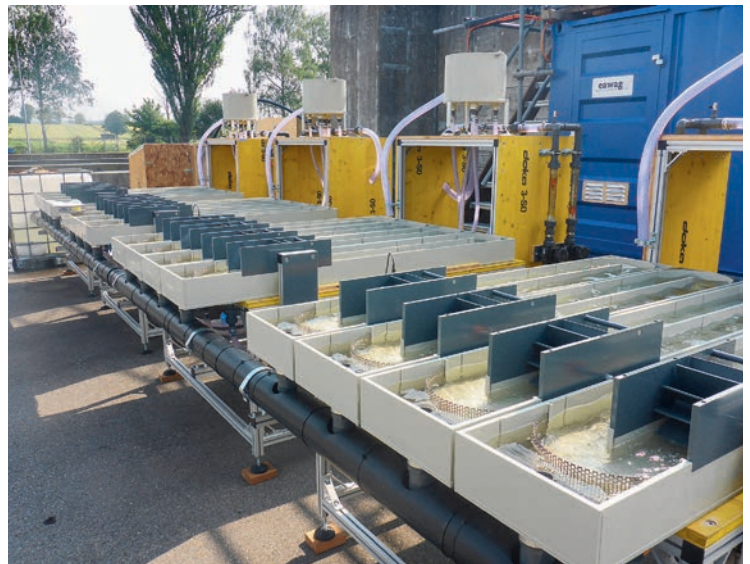


Fig. 2 Blick auf die 16 Durchflussrinnen von Maiandros auf der ARA Bachwis in Fällanden ZH.

Aperçu des 16 canaux jaugeurs de Maiandros sur la STEP Bachwis à Fällanden ZH

zinon, Diuron). Diesen scheint demnach auch im Abwasser eine biologisch wichtige Rolle zuzukommen [4]. Diese Bedeutung der Pestizide wurde durch ökotoxikologische Biotests für die Hemmung der Photosynthese bei Algen bestätigt. An praktisch allen Standorten war diese Hemmung unterhalb der ARA stärker ausgeprägt als oberhalb [5].

BIOLOGISCHE EFFEKTE IN VIVO

Die ökotoxikologische Risikoabschätzung wird durch biologische Untersuchungen im Fließgewässer grundsätzlich bestätigt. Die untersuchten Organismen zeigten verschiedene Zeichen toxischer Wirkungen unterhalb der Kläranlagen. So wurde z. B. die Regulation von Biomarker-Genen, die verschiedene zelluläre Effekte gegenüber Schadstoffbelastung widerspiegeln, in Bachforellen gemessen. Fische von unterhalb der untersuchten ARA (Herisau, Ellikon, Elgg und Steinach [Letztere als Nicht-

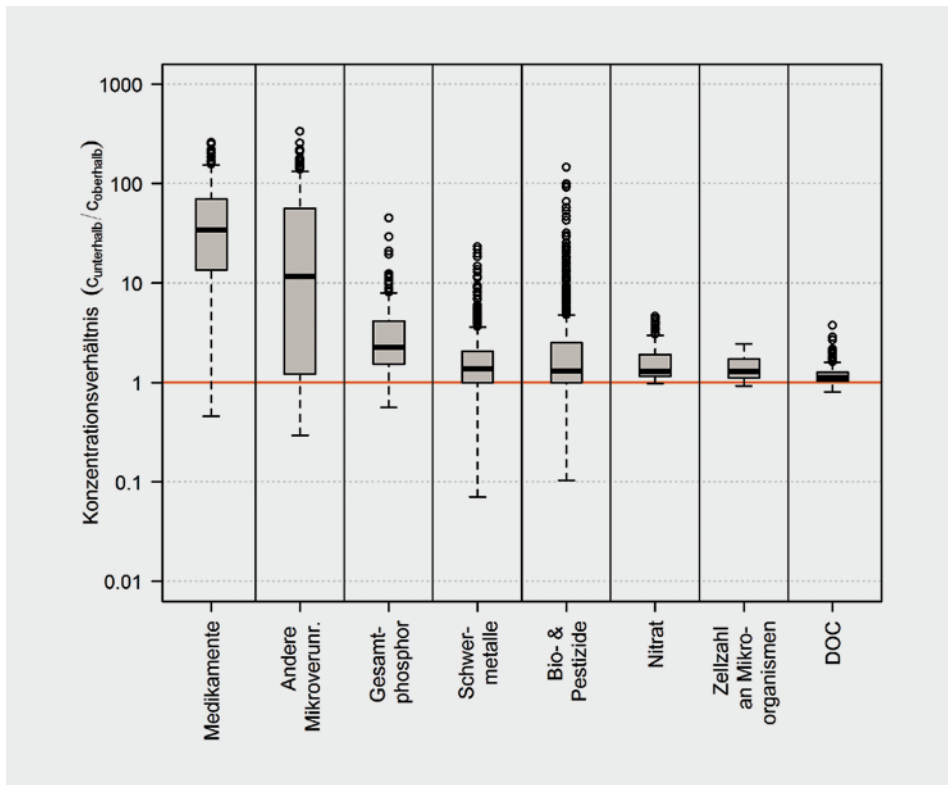


Fig. 3 Verhältnis zwischen Konzentrationen verschiedener Wasserqualitätsparameter unterhalb und oberhalb der Kläranlagen. Die Daten beruhen auf monatlichen (2013) und zwei-monatlichen (2014) Stichproben für Nährstoffe, 2 bzw. 6 Stichproben für die organischen MV (2013/2014). In den Proben wurden mit einer Ausnahme jeweils 57 MV untersucht. Während der ersten Probenahme 2013 wurden 389 Stoffe gemessen. Schwermetalle wurden nur 2014 bestimmt. (Daten aus [1])

Rapport entre les concentrations de paramètres de qualité de l'eau en aval et en amont des STEP. Les données s'appuient sur des échantillonnages mensuels (2013) et bimestriels (2014) de substances nutritives, 2 à 6 échantillonnages pour les MP organiques (2013/2014). A une exception, 57 MP ont été analysés pour chaque échantillon. Durant la 1^{ère} collecte d'échantillons de 2013, 389 substances ont été examinées. La présence de métaux lourds a été déterminée uniquement en 2014. (données de [1])

EcoImpact-Stelle) zeigten eine verstärkte Aktivität der zellulären Entgiftungsmechanismen [6]. Dieser biochemische Aufwand ist vermutlich mit physiologischen Kosten verbunden.

Auch bei Wirbellosen (Makrozoobenthos) wurden Effekte festgestellt, die auf toxische Einwirkungen schliessen lassen. So wiesen Bachflohkrebse, deren Populationsstruktur an drei Standorten genauer

untersucht wurde, an allen Stellen unterhalb der ARA einen auffallenden Mangel an kleinen/jungen Individuen auf (Taddei et al., unpublizierte Daten). Das deutet darauf hin, dass die Populationen unterhalb der Kläranlagen eine niedrigere Vermehrungsrate oder höhere Sterblichkeit der Jungtiere hatten und vielleicht nur durch Einwanderung von oberhalb erhalten blieben. Wird die gesamte Makrozoobenthos-Lebensgemeinschaft analysiert, stellt man unterhalb der ARA anhand des SPEAR-Index (Species at Risk; [7]) eine Abnahme von Arten, die empfindlich gegenüber Pestiziden sind, fest. Diese Abnahme ist umso stärker, je grösser der durchschnittliche Abwasseranteil ist [8]. Auch das Periphyton (ein benthischer Biofilm dominiert durch Algen und Bakterien) wird durch das Abwasser stark beeinflusst. An drei EcoImpact-Standorten (Buttisholz, Hochdorf, Herisau) sowie an der Steinach wurde getestet, wie empfindlich der Biofilm gegenüber den MV aus dem jeweiligen Gewässer reagiert. Algen und Bakterien von unterhalb der Kläranlagen waren gegenüber den MV jeweils deutlich toleranter (Fig. 4, [9]). Das Ausmass der Toleranzzunahme stieg mit der Intensität der chemischen Belastung am entsprechenden Standort an. Dies deutet auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber MV und den gemessenen ökologischen Effekten hin.

Der Abbau von organischem Material wie z.B. Laub ist ein wichtiger Prozess in aquatischen Ökosystemen. Aus diesem Grund wurde diese ökologische Funktion mit zwei verschiedenen Ansätzen untersucht. Einerseits wurden Blätter in Ma-

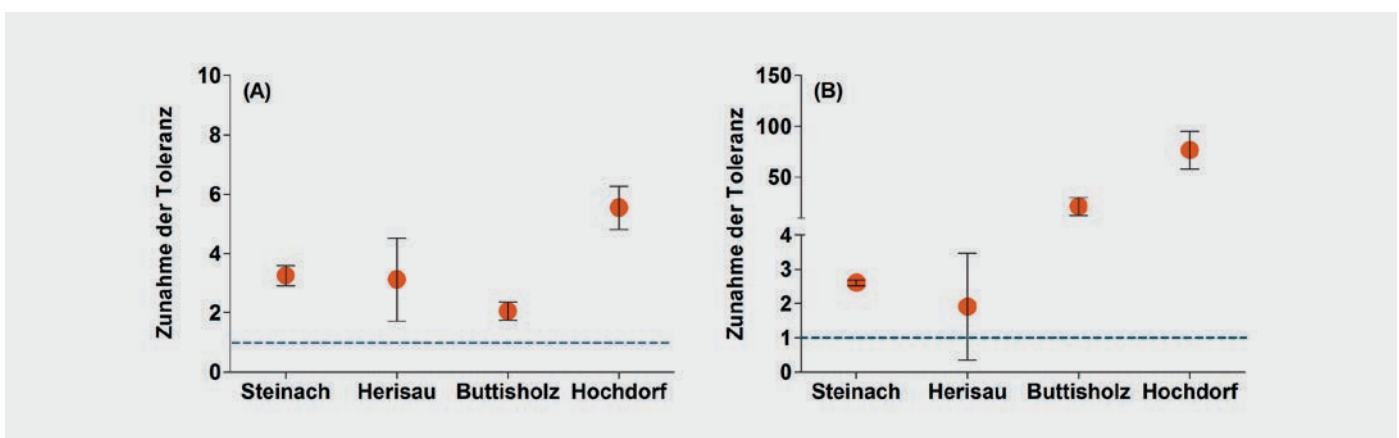


Fig. 4 Zunahme der Toleranz (x-fach) unterhalb der Kläranlage für die Primärproduktion der Algen (A) und die bakterielle Sekundärproduktion (B) an jeder beprobten Stelle. Ein Verhältnis > 1 (d.h. über der gestrichelten Linie) bedeutet eine Toleranzzunahme. (Daten aus [9])
 Augmentation de la tolérance (x-fois) en aval de la station d'épuration pour la production primaire des algues (A) et la production secondaire de bactéries (B) à chaque endroit échantillonné. Un rapport > 1 signifie une augmentation de la tolérance. (Données de [9])

schennetzen in die Gewässer eingebracht und der Abbau über mehrere Wochen hinweg untersucht. Andererseits wurde ein standardisiertes Baumwollmaterial [10] verwendet, welches die Vergleichbarkeit über Standorte und Studien hinweg erleichtert. Diese Untersuchungen zu ökologischen Funktionen geben interessante Einblicke in die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Einflussfaktoren. Statistische Auswertungen zeigen, dass der Laubabbau durch Nährstoffe gefördert wird, MV aber eine negative Wirkung entfalten [11]. Verschiedene Abwasserinhaltsstoffe führen also zu gegensätzlichen Effekten. Erstmals zeigen die Daten aus EcoImpact den hemmenden Effekt des Abwassers auf den Blattabbau insbesondere bei optimalen Nährstoffbedingungen. Unter diesen Verhältnissen waren die Abbauraten unterhalb von Kläranlagen auf rund einen Drittel reduziert [11]. Die statistische Auswertung deutet darauf hin, dass u. a. die toxische Wirkung von Insektiziden auf Bachflohkrebs – wichtige laubabbauende Organismen – dafür verantwortlich ist.

ERSTE WIRKUNG DER AUFRÜSTUNG DER ARA

Aus der Glatt bei Herisau liegen inzwischen erste Ergebnisse zur Auswirkung der Kläranlagen-Aufrüstung vor und zeigen, dass die Organismen auf die Verringerung der MV innerhalb von zehn Monaten positiv reagiert haben. Die vorher bestehenden Unterschiede in der Regulierung verschiedener Gene für Entgiftungsmechanismen bei Bachforellen zwischen oberhalb und unterhalb sind verschwunden [6].

Auch das Periphyton in der Glatt hat auf die verbesserte Wasserqualität reagiert. Die Algen aus diesem Biofilm haben ihre erhöhte Toleranz gegenüber MV verloren [12]. Offensichtlich reagieren Organismen mit ganz unterschiedlichen Stellungen im Nahrungsnetz positiv auf die Verminderung der MV.

RESULTATE DER RINNENVERSUCHE

Die Anlage *Maiandros* wurde auf der Kläranlage Bachwis in Fällanden (ZH) installiert. Dies ermöglichte es, in den Versuchen Flusswasser und gereinigtes Abwasser direkt aus der ARA in verschiedenen Verhältnissen zu mischen. Zudem konnten MV und Nährstoffe auch gezielt dem Flusswasser zugesetzt werden. Im Folgenden sind die Ergebnisse zu Abbauversuchen des oben erwähnten Baumwollmaterials vorgestellt. Es wurde 13 Tage in den Rinnen exponiert und anschliessend der Verlust an Masse und an Reissfestigkeit ermittelt.

In einem ersten Experiment wurden vier verschiedene Abwasseranteile simuliert (0, 20, 50, 80%). Je grösser der Abwasseranteil, desto rascher wurde das Baumwollmaterial abgebaut. Interessanterweise stieg die Abbaurate aber nicht linear mit dem Prozentsatz an Abwasser an. Die grösste Veränderung wurde zwischen reinem Flusswasser und der Beimischung von 20% Abwasser festgestellt (Fig. 5). Die weitere Erhöhung des Abwasseranteils beschleunigte den Abbau zwar weiter, aber in geringem Ausmass. Dieses Muster widerspricht der Hypothese, dass die Abbaurate nur durch die MV- und Nährstoffkonzentrationen bestimmt wird. Es passt jedoch zu den Beobachtungen aus dem Feld und Labor, wonach die Besiedlung mit Mikroorganismen aus dem gereinigten Abwasser den Abbau beschleunigt [13].

Um die Wirkungen von Nährstoffen und MV auseinanderzuhalten, wurde die Qualität des Flusswassers durch Zumischen ausgewählter Stoffe verändert und die Auswirkungen auf den Abbau des Baumwollmaterials studiert. Zudosiert wurden ei-

AUSWIRKUNG VON ABWASSEREINLEITUNGEN AUF DAS VORKOMMEN VON ANTIOTIKARESISTENZEN IN GEWÄSSERN

Neben Mikroschadstoffen werden in jüngerer Zeit auch Antibiotikaresistenzen als eine Form der Umweltbelastung wahrgenommen. Antibiotikaresistente Krankheitserreger verursachen weltweit zunehmend Probleme, da sich solche Infektionen entsprechend schlechter behandeln lassen. Die durch Antibiotika-Resistenzgene (ARG) vermittelten Resistenzen können sich aber auch über harmlose Umweltbakterien ausbreiten, denn Bakterien tauschen genetisches Material untereinander aus. Seit einiger Zeit ist bekannt, dass solche ARG aus den Abwasserreinigungsanlagen in die Umwelt gelangen können und sich dort weiter verbreiten [14].

Der Zusammenhang mit MV liegt auf der Hand: Bestimmt doch der Einsatz von Antibiotika, einer Gruppe von MV, massgeblich die Entstehung von Resistenzen und gelangen die Antibiotika und die resistenten Bakterien mit menschlichen Ausscheidungen auch gemeinsam in das Abwasser. Da konventionelle Kläranlagen sowohl viele Antibiotika als auch die resistenten Bakterien nicht komplett entfernen können, gelangen beide schliesslich in die Gewässer. Daten aus EcoImpact zeigen, dass auch die Konzentration von Resistenzgenen in den Fließgewässern unterhalb der Kläranlagen zunimmt (Fig. 7). Die Resistenzgene werden dazu mit molekularbiologischen Methoden (quantitative PCR) direkt in den Wasserproben quantifiziert. Der beobachtete Anstieg kann zum einen durch den direkten Eintrag resistenter Bakterien aus der Kläranlage bewirkt werden. Es gibt aber auch Hinweise, dass sich Resistenzen innerhalb der Gewässer noch weiter vermehren können, vielleicht ein Effekt der eingetragenen Nähr- und Schadstoffe. Dies soll in weiteren Studien genauer untersucht werden.

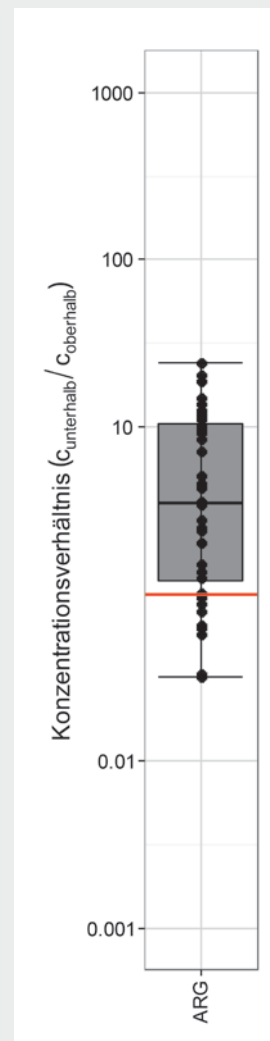


Fig. 7 Verhältnis zwischen den Konzentrationen dreier Antibiotika-Resistenzgene (ARG: *sul1*, *tet(W)*, *ermB*) unterhalb und oberhalb der Kläranlagen. Das *tet(W)*-Gen vermittelt Tetracyclin-Resistenz, das *sul1*-Gen Sulfonamid-Resistenz, und *ermB* Erythromycin-Resistenz. Bei der Mehrzahl der untersuchten Standorte ist eine deutliche Zunahme zu beobachten. (Czekalski, Bürgmann, unpublierte Daten)

Rapport entre les concentrations de trois gènes de résistance aux antibiotiques (ARG: *sul1*, *tet(W)*, *ermB*) dans l'eau fluviale en amont et en aval des STEP. Le gène *tet(W)* confère une résistance à la tétracycline, le gène *sul1* aux sulfamides et le gène *ermB* à l'érythromycine. La plupart des sites révèlent une nette augmentation des concentrations de gènes de résistance en aval des STEP

nerseits MV in einer Mischung aus 17 verschiedenen Stoffen (plus Zink als Schwermetall) in realistischen Konzentrationen, andererseits wurde die gleiche MV-Mischung verwendet und zusätzlich die Stickstoff- und Phosphorkonzentration erhöht [1]. Durch MV alleine wurde die Abbaurrate deutlich verringert. Die

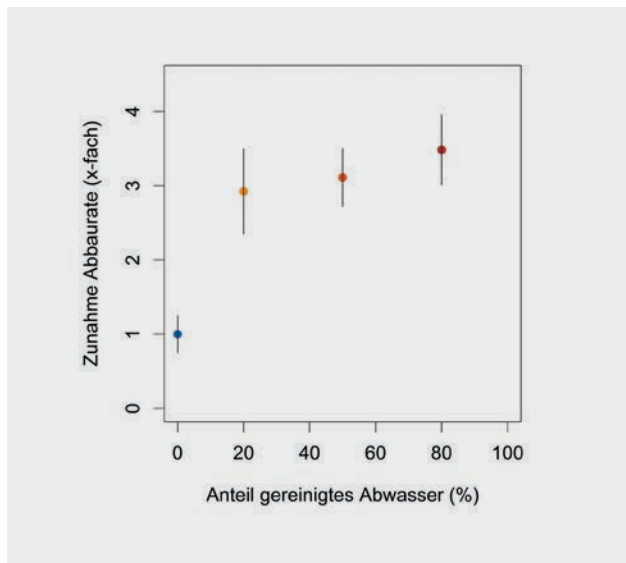


Fig. 5 Zunahme der Abbaurrate von Baumwollmaterial mit zunehmendem Abwasseranteil in den Maiandros-Rinnen. Die senkrechten Linien geben die jeweiligen Standardabweichungen an.

(Daten aus [13])

Augmentation des taux de dégradation des matériaux en coton dans les canaux de Maiandros. Les lignes verticales indiquent les écarts standard. (Données de [13])

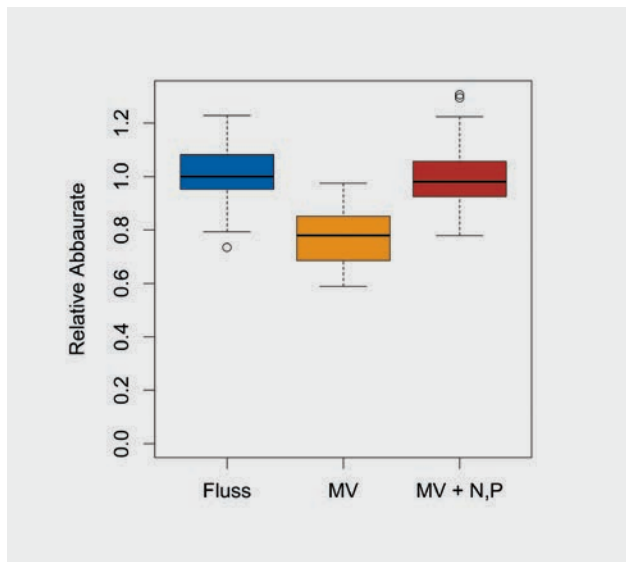


Fig. 6 Vergleich der Abbauraten des Baumwoll-Testmaterials in den Maiandros-Rinnen zwischen Flusswasser, bei Zugabe einer Mischung von 17 MV und Zink (MV) sowie der Zugabe dieser Mischung mit einer gleichzeitigen Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen (MV + N,P). (Daten aus [13])

Comparaison des taux de dégradation des matériaux de test en coton dans les canaux de Maiandros entre les eaux fluviales, lors de l'ajout d'un mélange de 17 MP plus zinc (MV) et l'ajout de ce mélange combiné à une augmentation simultanée des concentrations en substances nutritives (MV + N,P). (Données de [13])

ENTWICKLUNG NEUER NACHWEISMETHODEN ZUM MESSEN BIOLOGISCHER EFFEKTE

Das Kernziel von EcolImpact ist ein besseres Verständnis der ökologischen Auswirkungen von Mikroverunreinigungen. Eine der wichtigsten Grössen ist dabei die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften. Bestehende Nachweismethoden (z. B. im Rahmen des Modulstufenkonzeptes) sind aufwendig und teuer. Im Rahmen von EcolImpact wurde darum auch die Entwicklung neuer Methoden zur Erfassung der Biodiversität in Gewässern vorangetrieben. Der Fokus lag dabei auf der sogenannten Umwelt-DNA (engl. *environmental DNA*, *eDNA*). Diese Methode nutzt die Tatsache, dass alle Organismen permanent DNA in die Umwelt abgeben. Diese DNA kann über eine Umweltprobe gesammelt, extrahiert und anschliessend sequenziert werden. Mithilfe von Datenbanken können diese Sequenzen einzelnen Organismengruppen oder Arten zugeordnet werden (*Barcoding*). Damit gewinnt man ein Bild über die vorkommenden Arten. Rasante Entwicklungen in der Sequenzieretechnologie ermöglichen es heute, geringste Mengen DNA zu sequenzieren und daraus Signale zu Tausenden von Arten gleichzeitig zu ermitteln.

Wir konnten zeigen, dass in einem Liter Wasser DNA-Signale von Hunderten von Arten zu finden sind [15] und dass in Stichproben eine räumliche Integration der im Einzugsgebiet vorkommenden Arten stattfindet [16]. Der Vorteil dieser neuen Methode liegt also vor allem im Erfassen räumlich integrierter Daten, während die klassischen Methoden sich für sehr lokale Messungen eignen. Die Erkenntnisse in EcolImpact zeigen das grosse Potenzial der Methode für das Gewässermonitoring auf. Es gibt auch bereits erste Praxisanwendungen dieser Methode in Monitoringprojekten in der Schweiz. So plant beispielsweise das BAFU, 2019 eine wissenschaftliche Begleitstudie mit eDNA zusätzlich zum nächsten NAWA-Programm durchzuführen und testet die Anwendung als Zusatzstudie im Rahmen der Koordinierten Biologischen Untersuchungen am Hochrhein im 2017/2018. Der Kanton Zürich wiederum verwendet die Methode für das Controlling eines Projektes gegen invasive Arten im Pfäffikersee. Mittelfristig ist es denkbar, dass das Vorkommen von Arten mit einer ähnlichen räumlichen und zeitlichen Auflösung wie chemische oder physikalische Parameter erfasst werden kann.

Box 2

gleichzeitige Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen hob im Vergleich dazu diesen negativen Effekt wieder auf (Fig. 6). Diese entgegengesetzten Wirkungen decken sich mit den statistischen Auswertungen zu den Laubabbauversuchen im Feld. Wiederum führten also verschiedene Abwasserinhaltsstoffe zu gegensätzlichen Effekten.

WIE WEITER?

Die erste Phase von EcolImpact wurde letztes Jahr abgeschlossen. Viele Fragen sind aber noch offen und momentan wird an der Eawag ein Folgeprojekt ausgearbeitet. Es soll sich auf die Auswirkungen von MV auf Biofilmprozesse und die Folgen für die darauf aufbauende Nahrungskette konzentrieren. Diese Eawag-basierten Aktivitäten werden aber nicht ausrei-

chen, um das ganze Potenzial, das mit dem bisherigen EcoImpact-Projekt angelegt wurde, zu nutzen. Deshalb wurden die chemischen und biologischen Untersuchungen der EcoImpact-Standorte als NAWA-SPEZ-Programm vorgeschlagen. Durch die Einbindung in dieses nationale Gewässermonitoringprogramm wurde sichergestellt, dass der wichtige Schritt der Aufrüstung der Kläranlagen gezielt durch das Monitoring von chemischen und biologischen Grössen begleitet wird.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die bisherigen Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass MV sowohl Struktur als auch Funktion der Lebensgemeinschaften unterhalb der Kläranlagen beeinflussen. Verschiedene der beobachteten Effekte (Genexpression bei Bachforellen, Toleranzerhöhung bei Biofilmen, Abnahme SPEAR) deuten auf MV als kausale Ursachen hin. Auch die bisherigen Ergebnisse in Herisau nach der Aufrüstung der ARA unterstützen diese Interpretation. Durch die zahlreichen Standorte mit einer breiten geografischen Verteilung sind die Befunde räumlich gut verankert. Die Resultate werden zudem durch Befunde ähnlicher Studien im benachbarten Ausland gestützt (z. B. Projekt *Schussen Aktiv Plus* [<http://schussenaktiv-plus.de>]). All diese Ergebnisse deuten damit darauf hin, dass durch die zukünftige Aufrüstung der ARA der ökologische Zustand der Fliessgewässer verbessert wird. Im Feld treten die Wirkungen der MV aber nur begrenzt direkt zutage, da sich die Effekte verschiedener Einflussfaktoren (Nährstoffe, MV, Mikroorganismen etc.) überlagern. Die Auswertungen deuten darauf hin, dass die negative Wirkung von MV auf Abbaufunktionen von organischem Material durch die entgegengesetzte Wirkung von Nährstoffen und die Besiedlung mit Mikroorganismen aus der Kläranlage kompensiert werden kann. Rinnen-Experimente bestätigen diese Ergebnisse aus dem Feld und liefern damit eine wichtige Ergänzung zu den Felduntersuchungen. Solche Erkenntnisse werden auch der Praxis helfen zu entscheiden, wie mit der Thematik der MV weiter umzugehen ist.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Stamm, C. et al. (2016): *Unravelling the impacts of micropollutants in aquatic ecosystems: cross-disciplinary studies at the interface of large-scale*

- ecology. Advances in Ecological Research. 24: p. 183-223*
- [2] Oekotoxzentrum (2017): *Qualitätskriterien für organische Spurenstoffe in Oberflächengewässern. www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/*
- [3] Junghans, M.; Kunz, P.; Werner, I. (2013): *Toxizität von Mischungen – Aktuelle praxisorientierte Ansätze für die Beurteilung von Gewässerproben. Aqua & Gas, 13/5: p. 54-61*
- [4] Munz, N. et al. (2017): *Pesticides drive risk of micropollutants in wastewater-impacted streams during low flow conditions. Water Research, 2017. 110: p. 366-377*
- [5] Kienle, C. et al.: *Effects of micropollutants from wastewater treatment plants on stream ecosystems: spatial patterns of ecotoxicological bioassays in 24 Swiss Rivers. In Vorb.*
- [6] Zöllig, H. et al. (2017): *Erste grosstechnische Umsetzung einer PAK-Stufe in der Schweiz - Erfahrungen nach einem Jahr. Aqua & Gas, 17/1: p. 14-23.*
- [7] Liess, M.; von der Ohe, P.C. (2005): *Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. Environmental Toxicology and Chemistry, 24: p. 954-965*
- [8] Burdon, F.J. et al. (2016): *Environmental context and disturbance influence differing trait-mediated community responses to wastewater pollution in streams. Ecology and Evolution, 6: p. 3923-3939, doi: 10.1002/ece3.2165*
- [9] Tlili, A. et al. (2017): *Micropollutant-induced tolerance of in situ periphyton: Establishing causality in wastewater-impacted streams. Water Research, 111: p. 185-194*

DANKSAGUNG

Das Projekt wurde durch die Eawag, das Oekotoxzentrum Eawag-EPFL sowie das Bundesamt für Umwelt (BAFU) finanziert. Ermöglicht wurde es aber nur durch die Mitarbeit einer Vielzahl an Personen der Eawag und des Oekotoxentrums, deren vollständige Aufzählung den Rahmen hier sprengen würde. Ihnen allen gebührt ein ganz herzlicher Dank. Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei allen Betreibern und Mitarbeitenden der ARA für ihre stets hilfreiche Unterstützung.

- [10] Tiegs, S.D. et al. (2013): *A standardized cotton-strip assay for measuring organic-matter decomposition in streams. Ecological Indicators, 32: p. 131-139*
- [11] Burdon, F.J. et al.: *Wastewater perturbations alter the balance of microbial- and invertebrate-mediated decomposition in stream ecosystems. In Vorb.*
- [12] Tlili, A. et al.: *Tolerance of stream biofilms to anthropogenic chemicals indicates causality and reflects ecosystem recovery. Under Review*
- [13] Burdon, F.J. et al.: *Wastewater input alters stream microbial communities and ecosystem processes. In Vorb.*
- [14] Czekalski, N. et al. (2016): *Antibiotikaresistenzen im Wasserkreislauf. Aqua & Gas, 96: p. 72-80*
- [15] Deiner, K.; Altermatt, F. (2014): *Transport distance of invertebrate environmental DNA in a natural river. PLoS ONE, 9: p. e88786*
- [16] Deiner, K. et al. (2016): *Environmental DNA reveals that rivers are conveyor belts of biodiversity information. Nature Communications: p. 12544*

> SUITE DU RÉSUMÉ

de l'eau en amont et en aval des conduites d'eaux usées de 24 sites STEP. De plus, les conséquences écologiques de MP et substances nutritives ont été étudiées à la fois séparément et en combinaison, dans un système de 16 canaux jaugeurs.

Les concentrations élevées de MP et autres substances contenues dans les eaux usées (substances nutritives, métaux lourds, etc.) ont entraîné différents effets biologiques. Ceux-ci vont des réponses physiologiques des organismes à la modification de la composition des espèces d'invertébrés, en passant par les modifications de la structure de population d'importants animaux aquatiques. De plus, il s'est avéré que le biofilm du fond d'une rivière tolérait davantage les MP en aval des STEP qu'en amont et que la diminution du feuillage s'était réduite en aval des stations d'épuration. Beaucoup des effets observés mettent en évidence la causalité des MP. Sur le terrain toutefois, les effets des MP ne sont que partiellement visibles, car les effets de différentes substances issues des STEP (substances nutritives, MP, microorganismes, etc.) se superposent. Cette conclusion est renforcée par les résultats des tests effectués sur les canaux. D'une manière globale, les résultats montrent clairement que la modernisation future des STEP permettra d'améliorer l'état écologique des cours d'eau.