

aqua viva

Die Zeitschrift für Gewässerschutz

THEMENHEFT

Koproduktion von Aqua Viva
und dem Verband Schweizer Abwasser-
und Gewässerschutzfachleute VSA

vormals «natur und mensch», seit 1958

59. Jahrgang #3/2017

Mikroverunreinigungen in unseren Gewässern

Das Thema geht uns alle an





EDITORIAL

1 Heinz Habegger, Thomas Weibel

KOMMENTAR

2 Eine klare Sache?

Antonia Eisenhut, Stefan Hasler

GEWÄSSER

4 Mikroverunreinigungen – eine Herausforderung für den Gewässerschutz

Christian Götz

10 Der VSA fordert Massnahmen zur Reduktion der Pestizidbelastung

Stefan Hasler

15 Aktionsplan Pflanzenschutzmittel

Zusammenfassung des BLW

16 Mikroverunreinigungen vermeiden – BOKOSMA, ein engagierter Anbieter

Jürg Frommlet im Gespräch

18 Wir schauen zusammen genau hin!

Aqua Viva

20 Mikroverunreinigungen – Massnahmen in Abwasserreinigungsanlagen

Christian Abegglen

24 Interview: Gute Trinkwasserqualität ist kein Selbstläufer

Rik Eggen im Gespräch

28 Begünstigen Mikroverunreinigungen Antibiotikaresistenzen im Wasser?

Nadine Czekalski

32 Nachhaltige Reinigung und Entgiftung von Wasser mit Licht

Thomas Oppenländer

36 Was können wir tun?

Aqua Viva

Das Themenheft entstand in Koproduktion von Aqua Viva und dem Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA.

La version française est disponible sur le site internet des deux organisations (www.vsa.ch ou www.aquaviva.ch).



Titelbild:

S. Steiner

aqua viva 3/2017

Liebe Leserinnen und Leser

Aqua Viva und der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA setzen sich seit Jahren für saubere und lebendige Gewässer ein – beide Organisationen auf engagierte, zielgerichtete Art und Weise. Neben Aktivitäten für Fachspezialisten und politischem Engagement sensibilisieren beide Organisationen die breite Bevölkerung für den Gewässerschutz und die Wichtigkeit von naturnahen Gewässern.

Gemeinsam geben wir unseren Gewässern eine Stimme, die von der Bevölkerung, der Politik und den Medien gehört wird. Gemeinsam können wir die Bedürfnisse und Anliegen unserer Gewässer wirkungsvoller vertreten, als dies bis heute jeweils alleine möglich war.

Die vorliegende Ausgabe greift eines der vielen gemeinsamen Themen von Aqua Viva und VSA auf: Mikroverunreinigungen gehen uns alle etwas an – auch wenn sie nicht direkt sichtbar sind.

Das anspruchsvolle Thema wird von verschiedenen Seiten beleuchtet. Wie gelangen die Mikroverunreinigungen in unsere Gewässer? Welche Auswirkungen haben sie auf uns Menschen und auf die Wasserbewohner? Und wie reagieren wir darauf?

Wie im Artikel von Christian Götz klar wird, sind die «Mikroverunreinigungen eine Herausforderung für den Gewässerschutz». Diese müssen wir annehmen und entsprechend handeln. Wichtig sind sowohl bewusster, sparsamer und kritischer Kauf und Verbrauch im Alltag als auch gezielte Massnahmen etwa beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Zehn-Punkte-Plan des VSA, S.13) und durch den Ausbau der ARAs (S.20). Im Interview mit Rik Eggen, Direktion Eawag, sprechen wir die Situation in Entwicklungs- und Schwellenländern an (S.24).

*Eine zum Nachdenken anregende Lektüre
wünschen Ihnen*

*Heinz Habegger, Präsident VSA und
Thomas Weibel, Präsident Aqua Viva*



Eine klare Sache?



Antonia Eisenhut

ist Geschäftsführerin von Aqua Viva. Sie ist Geografin und Gymnasiallehrerin.



Stefan Hasler

ist Direktor des VSA. Er ist dipl. Kultur- und Umweltingenieur ETH.

Der klare Bergbach – Sinnbild für Reinheit und Sauberkeit, touristischer Wert der Schweiz. Doch ganz so sauber, wie viele denken, sind die Schweizer Gewässer nicht.

Neben natürlichen Inhaltsstoffen wie beispielsweise Calciumcarbonat finden sich viele vom Menschen eingebrachte Spurenstoffe im Wasser, sogenannte Mikroverunreinigungen. Mikroverunreinigungen sind beispielsweise Rückstände aus Reinigungs-, Pflanzenschutz- und Arzneimitteln, darunter auch hormonaktive Substanzen. Sie können sich negativ auf Wasserlebewesen auswirken. Bereits zweieinhalb handelsübliche Tabletten des Schmerzmittels Diclofenac, aufgelöst im Wasser eines olympischen Schwimmbeckens von 50 Metern Länge, lassen die Konzentration des Stoffes auf den kritischen Grenzwert ansteigen. Diclofenac kann unter anderem zu Nierenschäden bei Forellen führen.

Aber es geht auch was! Allein seit 2015 wurden im Parlament 12 Vorstösse unter dem Stichwort Pestizide eingereicht – das Thema bewegt. In den nächsten Jahren sollen rund 100 Abwasserreinigungsanlagen so ausgerüstet werden, dass sie Mikroverunreinigungen aus dem Wasser entfernen können. Auch viele Menschen wie Sie und wir tun bereits heute etwas – und das geht ganz einfach: Kaufen Sie von Lebensmittelproduzenten, welche keine Pestizide verwenden. Informieren Sie sich über die Zusammensetzung von Kosmetika, Arznei- und Reinigungsmitteln: Auf Seite 36 stellen wir Ihnen Apps vor, mit denen Sie direkt im Laden die Barcodes der Produkte scannen können und erfahren, ob und wie belastend der WC-Reiniger oder das Shampoo tatsächlich ist. Verwenden Sie notwendige belastende Mittel mit Mass und entsorgen Sie die Reste korrekt. Und erzählen Sie es weiter. Gemeinsam halten wir unsere Gewässer und unser Trinkwasser sauber.

Übrigens: Auch Plastik belastet unsere Gewässer. In Form von Mikro- und Nanoteilchen zirkuliert es in Flüssen und Seen. Diverse Schadstoffe, welche von Plastik über viele Jahre hinweg abgegeben werden, schaden der Umwelt und beeinträchtigen unsere Gesundheit. Daher hat sich Aqua Viva entschieden, «die Zeitschrift für Gewässerschutz» ohne Plastikhülle zu verschicken – ein Versuch, von dem wir sehr hoffen, dass er sich bewährt. Der VSA ist motiviert, diesem positiven Beispiel zu folgen und klärt mit dem SVGW einen künftigen «hüllenlosen» Versand der Zeitschrift «Aqua & Gas» ab. ♦

► So sauber wie unsere Bäche auf den ersten Blick scheinen sind sie leider nicht.



Foto: Marianne Stokar





Mikroverunreinigungen – eine Herausforderung für den Gewässerschutz

Mikroverunreinigungen beeinträchtigen die Wasserqualität von Fliessgewässern in der Schweiz. Sie können sich negativ auf Wasserlebewesen auswirken, die Biodiversität reduzieren und Trinkwasserressourcen belasten. Die beschlossenen Massnahmen zum Ausbau von rund 100 Schweizer Kläranlagen werden einen wertvollen Beitrag zur Reduktion der Gewässerbelastung leisten. Es bleiben aber verschiedene andere Herausforderungen für die Zukunft. von Christian Götz

Was sind Mikroverunreinigungen?

Mikroverunreinigungen sind Stoffe, die in Gewässern im Bereich von tiefen Mikrogramm bis Nanogramm pro Liter vorkommen. Häufig wird dabei auf organische Spurenstoffe fokussiert, wobei teilweise auch Schwermetalle miteinbezogen werden. Mikroverunreinigungen können sich in den Konzentrationen, in welchen sie in Gewässern nachgewiesen wurden, negativ auf Wasserlebewesen auswirken (Gälli et al. 2009). Auch können Trinkwasserressourcen belastet werden, da sich diese Stoffe teilweise nicht mit einfachen Wasseraufbereitungsmethoden entfernen las-

sen. Beispiele für Mikroverunreinigungen sind Rückstände von Medikamenten, Pflanzenschutzmitteln, Pflegeprodukten, Haushaltschemikalien, Industriechemikalien und Chemikalien aus dem Materialschutz. Aktuell werden in der Schweiz über 30000 solche künstliche organische Stoffe eingesetzt. Neben Einträgen aus Landwirtschaft und Strassenabwässern werden diese Stoffe hauptsächlich über die Siedlungsentwässerung und ARA in die Gewässer eingetragen. Um diese Einträge zu erfassen ist es essentiell, eine Übersicht über Quellen und Eintragspfade zu haben. Häufig werden punktuelle und diffuse Einträge unterschieden (Abb. 1).

Punktuelle Stoffeinträge

Die Haupteintragspfade aus dem Siedlungsraum in oberirdische Gewässer sind der Eintrag mit gereinigtem Abwasser von kommunalen ARA, der Eintrag mit Rohabwasser durch Entlastungen der Mischwasserkanalisation bei Regenwetter und der Eintrag durch Regenkanäle (in Trennkanalisationen).

In der Schweiz werden heute etwa 70 Prozent aller Siedlungen über Mischwasserkanalisationen entwässert (Maurer & Herlyn 2006). Dabei werden das abfliessende Niederschlagswasser und das häusliche Abwasser in der Kanalisation zusammengeführt. Bei starken Niederschlägen kann die

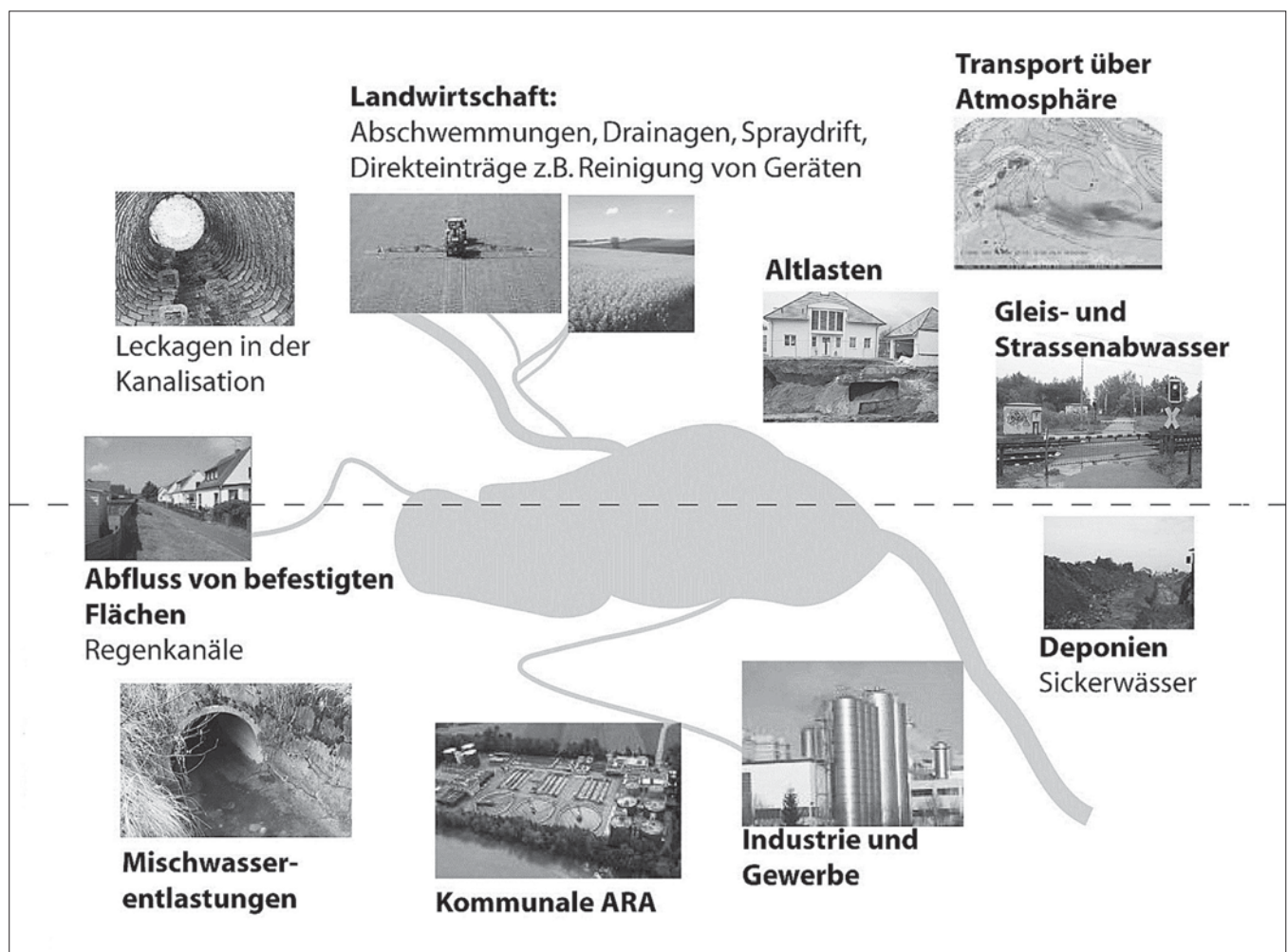
Kapazität der Kanalisation und Regenüberlaufbecken, wie auch die Kapazität der Kläranlage überschritten werden. In diesem Fall wird Rohabwasser (ungereinigtes Abwasser) über die Entlastungen der Mischwasserkanalisationen direkt in die Gewässer eingetragen. Im Jahresmittel wird in der Schweiz rund 2.5 Prozent des Rohabwassers durch Entlastung der Mischwasserkanalisation ungereinigt in Gewässer eingetragen (Maurer & Herlyn 2006).

Abbildung 2 zeigt den Eintrag von Mikroverunreinigungen in Gewässer durch Regenentlastungen der Mischwasserkanalisationen (Rohabwasser) oder Kläranlagen (gereinigtes Abwasser), abhängig von deren Eliminationsrate in der ARA.

Der Eintrag durch Entlastungen der Mischwasserkanalisationen ist für Stoffe ausschlaggebend, welche in Kläranlagen aus dem Abwasser entfernt werden und daher nicht mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer gelangen. Die meisten problematischen Mikroverunreinigungen aus dem Siedlungsgebiet werden jedoch in der mechanisch-biologischen Reinigung in ARA nicht effizient eliminiert. Für diese persistenten Stoffe ist der Haupteintragspfad in Gewässer der gereinigte Ablauf der ARA. Beispiele für solche schlecht abbaubare Stoffe sind das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol und das Antiepileptikum Carbamazepin (Götz et al. 2010). Solche Stoffe lassen sich nur mit einer weitergehenden Abwasserbehandlung, wie einer Ozonung

oder Pulveraktivkohlestufe aus dem Abwasser entfernen. Diese zusätzliche Reinigung erfolgt nach der biologischen Behandlung und Nachklärung des Abwassers und gilt daher als vierte Reinigungsstufe.

Aus diesem Grund wurde durch eine Anpassung der Gesetzgebung im 2017 der Ausbau von rund 100 Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe zur Entfernung von Mikroverunreinigungen festgelegt. Dieser Ausbau soll bis 2040 schweizweit realisiert werden. Durch diese Massnahmen wird der Eintrag von Mikroverunreinigungen über ARA in die Gewässer in den nächsten 20 Jahren schweizweit um etwa 50 Prozent reduziert. Diese Massnahmen werden einen wertvollen Beitrag zur Re-



▲ Abbildung 1: Übersicht über verschiedene Eintragspfade von Mikroverunreinigungen in die Gewässer (Götz et al. 2010) .



▲ Abbildung 2: Berechneter Anteil des Stoffeintrages über Mischwasserentlastungen, abhängig von der Eliminationsrate der Stoffe in Kläranlagen. Im Mittel wird etwa 2,5 Prozent des Rohabwassers über Entlastungen der Mischwasserkanalisation ungereinigt in die Gewässer eingetragen.

duktion der Gewässerbelastung leisten. Umso wichtiger bleibt aber eine ganzheitliche Systembetrachtung, welche eine Optimierung der Siedlungsentwässerung auch

im Hinblick auf die Minimierung der Einleitung von Spurenstoffen über Mischwasserüberläufe miteinbezieht.

	Datum Probenahme	SPEAR _{pesticide}
Eschelisbach TG	06.03.15	20.2
	14.07.15	8.5
Weierbach BL	05.03.15	(10.1)
	14.07.15	(12.4)
Mooskanal BE	03.03.15	(30.5)
	13.07.15	(2.2)
Canale Piano di Magadino TI	04.03.15	34
	13.07.15	31.4
La Tsatonire VS	03.03.15	(15.2)
	13.07.15	(21.2)

Zustandsklassen
 ■ sehr gut ■ gut ■ mässig ■ unbefriedigend ■ schlecht

▲ Abbildung 3: Abbildung aus der Publikation von Langer et al. im Aqua & Gas 2017: Auf Artniveau bestimmter SPEAR_{pesticide}-Index an den verschiedenen NAWA SPEZ 2015-Probestellen. Werte in Klammern wurden für Gewässer bestimmt, die für eine Anwendung mit dem SPEAR nicht uneingeschränkt geeignet waren.

Diffuse Stoffeinträge

Bei diffusen Einträgen lässt sich der Ort des Eintrags nicht genau lokalisieren, das heisst der Stoffeintrag erfolgt grossflächig. Beispiele dafür sind Landwirtschaft, Altlasten, Rücklösungen aus Sedimenten, Böden oder Gletschern, sowie Deposition von Stoffen, welche durch die Atmosphäre transportiert wurden. Zum Beispiel Pflanzenschutzmittel, Tierarzneimittel, Mykotoxine, Phytoöstrogene und deren Transformationsprodukte stammen aus landwirtschaftlichen oder natürlichen Quellen und werden diffus in Oberflächengewässer eingetragen. Weitere diffuse Einträge von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässer stammen von Industriechemikalien aus Altlasten. Gewisse Pestizidwirkstoffe werden sowohl in der Landwirtschaft als Pflanzenschutzmittel als auch im Siedlungsbereich als Biozide eingesetzt und werden daher sowohl diffus als auch punktuell in natürliche Gewässer eingetragen. So wird zum Beispiel Diuron, ein Phenylharnstoffderivat, in der Landwirtschaft als Herbizid und in Fassaden von Gebäuden als Materialschutz verwendet.

Diffuse Einträge weisen in der Regel sehr dynamische und teilweise stark saisonabhängige Eintragsmuster auf. Sie sind daher in der Regel schwieriger zu erfassen als punktuelle Einträge. Mit Messprogrammen im Rahmen von NAWA (Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität) wurde der Fokus in den letzten Jahren aber stärker auch auf diese Stoffe gelegt. Mit geeigneten Probenahmekonzepten konnte so die Belastung der Schweizer Gewässer mit Pflanzenschutzmitteln genauer beschrieben werden (Wittmer et al. 2014).

Beurteilung von Mikroverunreinigungen

Dass Mikroverunreinigungen negative Auswirkungen auf Wasserlebewesen haben können und ökotoxikologische Wir-

kungsgrenzen teilweise überschritten werden, ist seit längerem bekannt. Trotzdem haben erst die Untersuchungen zu Arzneimittelrückständen aus den Kläranlagen und die aktuellen Untersuchungen zu Pflanzenschutzmitteln in den Gewässern das Ausmass deutlich gemacht. Unterhalb vieler Kläranlagen kommt es bei Trockenwetter regelmässig zu Überschreitungen von ökotoxikologischen Wirkungsgrenzen (Gälli et al. 2009). Mit dem Ausbau der ARA mit einer vierten Reinigungsstufe (vergl. oben) wird dieses Problem in vielen Fällen deutlich entschärft.

In vielen kleinen Bächen in landwirtschaftlichem Gebiet überschreiten die Pflanzenschutzmittelkonzentrationen den heute in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) festgelegten Wert von 0.1 µg/L und ökotoxikologisch basierte Kriterien während und nach den Applikationsperi-

oden regelmässig. Auch mit direkt wirkungsbasierten Untersuchungen mittels Biotests wurde ein hohes ökotoxikologisches Risiko festgestellt (Langer et al. 2017). In an das Programm NAWA Spez angegliederten Untersuchungen im 2015 wurde auch die Auswirkung von regelmässigen Überschreitungen von ökotoxikologischen Kriterien auf die Artengemeinschaft im Gewässer bestimmt. Dabei wurde der SPEAR-Index berechnet. Der SPEARpesticide ist ein Index, der speziell für Pestizidbelastungen in kleinen Fließgewässern optimiert wurde. Der Index berechnet den Anteil Pflanzenschutzmittel-empfindlicher Wirbelloser im Gewässer (Langer et al. 2017). In der *Abbildung 3* (aus Langer et al. 2017) sind die mittels SPEAR-Index bestimmten Zustandsklassen angegeben.

Diese regelmässigen Überschreitungen von Qualitätskriterien und die einhergehenden Defizite in der Gewässerqualität haben dazu geführt, dass in den letzten Jahren grosse Anstrengungen seitens des Bundes unternommen wurden, die Gewässer besser vor Mikroverunreinigungen zu schützen. Am 6. September 2017 hat der Bundesrat ein Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln verabschiedet. Weitere Anpassungen der GSchV sind in Planung.

Neue gesetzliche Anforderungen in Planung

Auf Basis der oben vorgestellten Arbeiten, weiteren Untersuchungen zu Spurenstoffen in den Gewässern sowie intensiven Recherchen zu den Wirkungen von Mikroverunreinigungen durch das Schweizeri-

▼ **Abbildung 4:** Installieren eines aktiven Probennehmers. Für eine aussagekräftige Messung ist die Probenahme von entscheidender Bedeutung.





▲ Abbildung 5: Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln wird angestrebt (Symbolbild): Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) hat den nationalen Aktionsplan Pflanzenschutzmittel verabschiedet und verschiedene Ressourcenprojekte in diesem Bereich lanciert.

sche Zentrum für angewandte Ökotoxikologie (Oekotoxzentrum), ist unter der Federführung des BAFU eine Ergänzung von Anhang 2 der GSchV für das Jahr 2018 vorgesehen: Es sollen für etwa 50 Mikroverunreinigungen ökotoxikologisch basierte Anforderungen verankert werden. Diese neuen Anforderungen bieten erstmals eine gesetzlich verankerte

Grundlage zur Beurteilung der Wasserqualität bezüglich Mikroverunreinigungen.

Zur Überprüfung dieser neuen Anforderungen bedarf es einer adäquaten Erhebung der Konzentrationsdaten in den Gewässern. Dazu wurden in den letzten

Jahren verschiedene Konzepte erarbeitet. Die richtige Probenahme-strategie hängt vom Stoff respektive dessen Eintragsdynamik in die Gewässer, von der zu überprüfenden Anforderung (akute oder chronische Toxizität) und auch von der Gewässergrösse und Abflussdynamik des Gewässers ab. Im Rahmen des Modulstufen-Konzepts des BAFU – Methoden

zur Untersuchung und Beurteilung der Oberflächengewässer in der Schweiz – wird aktuell vom VSA in Zusammenarbeit mit Bund und Kantonen ein entsprechendes Modul erarbeitet. Dieses soll die adäquate Erhebung der Daten zur Überprüfung der GSchV und eine schweizweit einheitliche Praxis sicherstellen.

Zukünftige Herausforderungen

Für die Reduktion der Einträge von Mikroverunreinigungen über kommunale Kläranlagen ist die gesetzliche Grundlage geschaffen. Die Herausforderung liegt nun in der konkreten Umsetzung. Im Artikel von Christian Abegglen ab Seite 20 in diesem Themenheft wird auf diese Thematik genauer eingegangen.

Neben der verfahrenstechnischen Umsetzung ist es wichtig, in den Gewässern eine entsprechende Erfolgskontrolle durchführen zu können, um die Auswirkungen des Ausbaus beurteilen zu können. Dazu soll unter anderem das oben erwähnte Modul-Stufen-Konzept eine Hilfestellung bieten. Wichtig ist dabei auch, dass die ARA-Einleitungen nicht isoliert betrachtet werden, sondern das Gesamtsystem im Auge behalten wird. Mit einer Optimierung der Siedlungsentwässerung und den Mischwasserentlastungen bei Regenwetter kann ebenfalls ein wichtiger Beitrag zur Reduktion des Eintrags von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser geleistet werden.

Zur Reduktion der Pflanzenschutzmitteleinträge sind verschiedene Ansätze in der Pipeline und verschiedene Vorschläge vorhanden. Seitens des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW) wurde der nationale Aktionsplan Pflanzenschutzmittel verabschiedet und verschiedene Ressourcenprojekte in diesem Bereich lanciert. Mit den Ressourcenprojekten fördert der Bund im Rahmen der verfügbaren Kredite die Verbesserung der Nachhaltigkeit in

der Nutzung von natürlichen Ressourcen in der Landwirtschaft mit Beiträgen. Unter anderem wird auch die Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln angestrebt. Der nationale Aktionsplan Pflanzenschutzmittel wird ab Seite 10 besprochen.

Erst am Anfang steht man mit dem Wissen über organische Spurenstoffe aus Industrie und Gewerbe. Während sich der «Chemikalien-Cocktail» aus dem kommunalen Abwasser zwischen unterschiedlichen Kläranlagen und Regionen nur unwesentlich unterscheidet, variiert die Zusammensetzung von industriellem Abwasser massiv. Solches Abwasser kann, je nach Branche, Betrieb und vorhandener Abwasservorbehandlung, fast keine bis sehr hohe Mengen an problematischen Substanzen mitführen. Eine erste Übersicht soll im VSA Projekt Standortbestimmung zum Stoffeintrag aus Industrie und Gewerbe erstellt werden. Dieses Projekt ist bis Anfang 2019 geplant und dem CC Industrie und Gewerbe des VSA angegliedert.

Obwohl es unseren Gewässern, den darin lebenden Wasserorganismen, unseren Trinkwasserressourcen und nicht zuletzt den Badegewässern im Vergleich zu früher deutlich besser geht, ist es wichtig, im Gewässerschutz nicht nachzulassen und die zukünftigen Herausforderungen anzunehmen. Unsere Gewässer werden unter dem Einfluss des Klimawandels und der Zunahme der Bevölkerungsdichte in der Schweiz in Zukunft noch stärker unter Druck geraten. Umso wichtiger ist die konsequente Weiterführung der Verbesserungen der letzten 60 Jahre und eine proaktive Planung und Anpassung unserer Gewässerschutzgesetzgebung. ♦



Christian Götz

Dr., hat an der ETH Zürich Umweltnaturwissenschaften mit Schwerpunkt Chemie studiert und am

Institut für Chemie- und Bioingenieurwissenschaften promoviert. An der Eawag war er im Bereich Analytik von Spurenstoffen tätig. Seit 2010 leitet er die organische Spurenanalytik der Envilab AG und seit 2016 zusätzlich das CC Gewässer des VSA.

Literatur

- Gälli, R.; Ort, Ch. & Schärer, M. (2009): Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Publikation Umwelt-Wissen. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Götz, C.W., Kase, R. & Hollender, J. (2010): «Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser». Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf.
- Langer, M., Junghans, M., Spycher, S., Koster, M., Baumgartner, C., Vermeissen, E., & Werner, I. (2017): Hohe Ökotoxikologische Risiken in Bächen, Aqua & Gas, 97(4), 58–68.
- Maurer, M. & Herlyn, A. (2006): Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der schweizerischen Abwasserentsorgung. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf.
- Wittmer, I., Moschet, C., Simovic, J., Singer, H., Stamm, C., Hollender, J., Junghans M. & Leu, C. (2014): Über 100 Pestizide in Fließgewässern. Programm NAWA Spez zeigt die hohe Pestizidbelastung der Schweizer Fließgewässer auf. Aqua & Gas, 94(3), 32–43.

Christian Götz

ENVILAB AG
Mühlethalstrasse 25
4800 Zofingen
062 745 70 54
christian.goetz@envilab.ch

Der VSA fordert Massnahmen zur Reduktion der Pestizidbelastung

Kleine und mittlere Fliessgewässer sind oft mit einer Vielzahl an Pestiziden aus der Landwirtschaft belastet. So zeigt eine kürzlich im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) erstellte Studie zu fünf Schweizer Bächen, dass in keinem Fall die gesetzlichen Anforderungen an die Wasserqualität eingehalten wurden. Selbst Stoffkonzentrationen, die für Gewässerorganismen als akut toxisch gelten, wurden überschritten. Alle Beteiligten sind sich einig, dass Handlungsbedarf besteht. Im «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» des Bundes werden Massnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität aufgezeigt. Dieser weist aus Sicht VSA in die richtige Richtung. Die Trendwende, die es im Umgang mit Pestiziden dringend braucht, leitet er aber nicht ein. Der VSA fordert eine umweltschonende landwirtschaftliche Produktion, welche die Wasserressourcen optimal schützt.

von Stefan Hasler

Bereits frühere Studien – unter anderem von kantonalen Fachstellen – zeigten, dass Schweizer Gewässer mit Pestiziden belastet sind (Munz et al. 2012; Gälli et al. 2015). Das ganze Ausmass der Belastung förderte jedoch erst neulich eine im Auftrag des BAFU erstellte Studie (Doppler et al. 2017; Langer et al. 2017) in fünf landwirtschaftlich genutzten Gebieten in den Kantonen Bern, Baselland, Thurgau, Tessin und Wallis zu Tage.

Sammelsurium an Wirkstoffen und hohe Konzentrationen

Die untersuchten Gewässer sind mit Pestiziden belastet, teilweise stark. Die Forschenden wiesen in den Gewässerproben 128 verschiedene Wirkstoffe aus Acker-, Gemüse-, Obst- und Rebbaubereich nach. Eingesetzt werden Herbizide, Fungizide und Insektizide. In 80 Prozent der Gewässerproben wurde die Anforderung der Gewässerschutzverordnung ($\leq 0.1 \mu\text{g/L}$) von mindestens einem Stoff nicht eingehalten

– im Weierbach (BL) und im Eschelisbach (TG) praktisch während der gesamten sechsmonatigen Studiendauer. Im Schnitt wurden in jeder Probe nicht eine, sondern 20 bis 40 Substanzen gefunden. Von einzelnen Substanzen wurden Konzentrationen bis $40 \mu\text{g/L}$ festgestellt. Kurzzeitige Spitzen dürften noch wesentlich höher liegen.

Chronisch und akut toxische Mischungen

Die Höhe der Konzentration alleine reicht jedoch nicht aus, um die Belastung für die Organismen im Bach abzuschätzen. Dazu wurden die Konzentrationen aller Stoffe mit den stoffspezifischen ökotoxikologischen Qualitätskriterien verglichen.

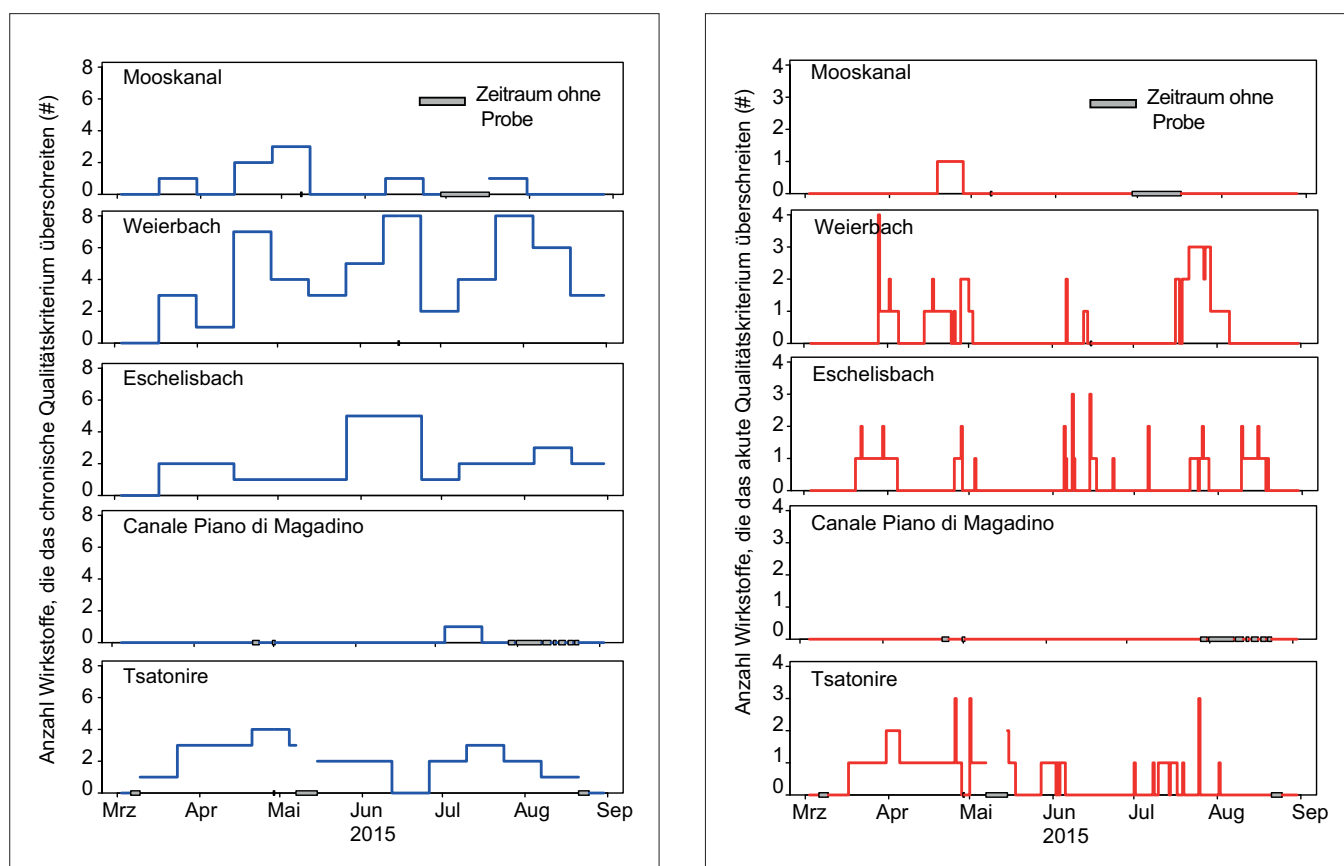
Insgesamt 32 verschiedene Pestizide überschritten chronische und/oder akute ökotoxikologische Qualitätskriterien – teilweise um ein Vielfaches. Im Minimum wurden die chronischen Werte während zwei Wochen (Canale Piano di Magadino TI), maximal bis zu fünfeinhalb Monate lang überschritten, was praktisch der ganzen Untersuchungsperiode entspricht (Weierbach BL, Eschelischbach TG).

In vier Gewässern wurden selbst Konzentrationen überschritten, ab denen der Pestizidmix für empfindliche Organismen ein akut toxisches Risiko darstellt. Die in einem der Bäche ausgesetzten Bachflohkrebse zeigten auf Grund der hohen Pestizidkonzentrationen erhöhte Mortalitätsraten und lethargisches Verhalten.

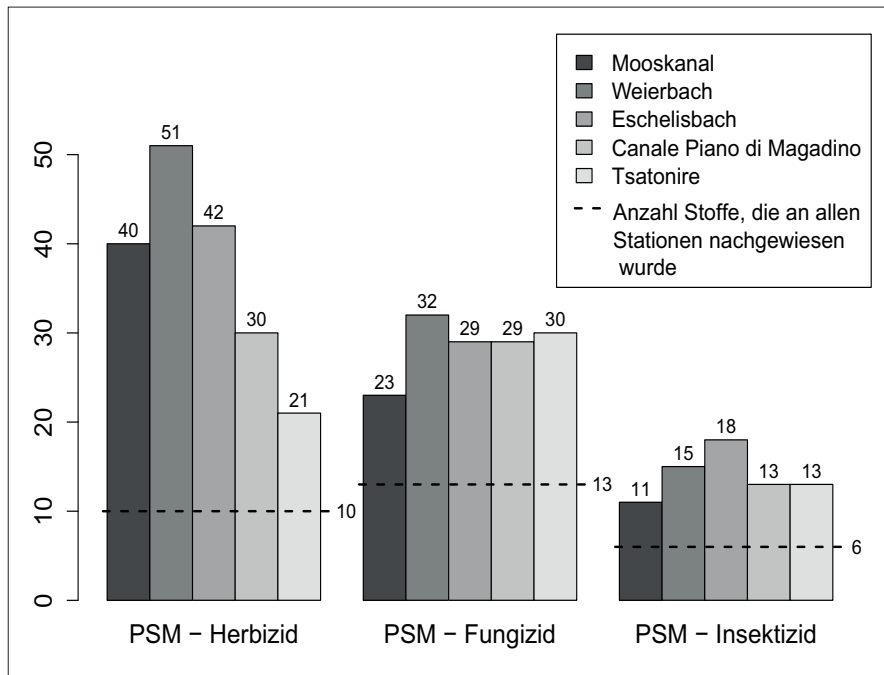
Repräsentativ für die Schweiz

Die Studie unterstreicht die Befunde aus einer früheren, bezüglich der untersuchten Stoffvielfalt ebenso umfassenden Untersuchung, wo in fünf mittelgrossen Fließgewässern ebenfalls mehr als 100 Wirkstoffe in zum Teil ökotoxikologisch bedenklichen Konzentrationen gefunden wurden (Wittmer et al. 2014).

Da die Pestizid-intensive Landwirtschaft im gesamten Schweizer Mittelland von grosser Bedeutung ist, sind die Befunde weit über die fünf bzw. zehn Untersuchungsgebiete hinaus relevant. Die Ergebnisse bestätigen, dass Pestizide aus der Landwirtschaft – neben den Mikroverunreinigungen, die via Kläranlagen ins Gewässer gelangen – die aktuell bedeutendsten stofflichen Verunreinigungen der Schweizer Oberflächengewässer sind. Der laufend ändernde Mix vieler Stoffe in problematischen Konzentrationen lässt den Organismen in vielen Fällen keine Erholungszeit. Dies gilt insbesondere auch für die zahlreichen kleinen Bäche. Diese sind von speziellem Interesse, weil sie erstens mit 45000 Kilometer etwa drei Viertel des Schweizer Ge-



▲ Abbildung 1: Anzahl von Stoffen, die das chronische oder akute Qualitätskriterium überschritten haben (Grafik Doppler et al. aus Aqua & Gas). Ökotoxikologische Qualitätskriterien sind spezifische Werte für einzelne Stoffe. Ist die Konzentration in der Umwelt höher als dieses Kriterium (also als dieser Wert), kann eine Schädigung der Organismen nicht mehr ausgeschlossen werden. Ökotoxikologische Kriterien basieren auf Tests, in denen die Empfindlichkeit verschiedener Organismen gegenüber einem Stoff geprüft wurde. Die Kriterien werden vom schweizerischen Ökotoxizentrum hergeleitet (Langer et al. 2017).



▲ Abbildung 2: Anzahl Herbizide, Fungizide und Insektizide, die in den verschiedenen Gebieten gefunden wurden (PSM = Pflanzenschutzmittel). (Grafik: Doppler et al. aus Aqua & Gas)

wässernetzes ausmachen und zweitens Rückzugsort und «Kinderzimmer» für Wasserlebewesen, insbesondere für Fische, sind.

Nach den Kläranlagen ist die Landwirtschaft gefordert

Mit dem Ausbau ausgewählter Kläranlagen kann der über das Abwasser in die Gewässer eingetragene Teil an Mikroverunrei-

nigungen halbiert werden. Der VSA ist der Meinung, dass nun auch die Gewässerbelastung durch diffuse Einträge – insbesondere von Pestiziden – deutlich reduziert werden muss.

Aktionsplan zur Risikoreduktion von Pflanzenschutzmitteln zu wenig ambitioniert

Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist der am 6. September 2017 publizierte «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» (vgl. S. 15). Der VSA begrüsst die Breite der im Aktionsplan vorgeschlagenen Massnahmen. Die Ziele sind aber zu wenig ambitioniert:

Zum Schutz der Gewässer formuliert der Aktionsplan das Ziel, «die Länge der Abschnitte des Schweizer Fließgewässernetzes mit Überschreitungen der numerischen Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Gewässerschutzverordnung bis 2027 zu halbieren». Der Aktionsplan nimmt also bewusst in Kauf, dass gesetzliche Anforderungen auch in Zukunft in vielen Gewässern nicht eingehalten werden. Dies ist nicht zulässig.

▼ Abbildung 3: Die in einem der Bäche ausgesetzten Bachflohkrebse zeigten auf Grund der hohen Pestizidkonzentrationen erhöhte Mortalitätsraten und lethargisches Verhalten.



Zehn-Punkte-Plan

Der VSA postuliert zehn Massnahmen für eine Trendwende im Umgang mit Pestiziden. Diese Massnahmen sollen grösstenteils mit der Agrarpolitik nach 2021 («AP22+») umgesetzt werden:

- 1 **ÖLN-Vorgaben verschärfen:**
Obwohl heute fast 98 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche nach Vorgaben des «Ökologischen Leistungsnachweises» (ÖLN) bewirtschaftet werden, verursacht die Landwirtschaft diverse Umweltprobleme (Fliessgewässer, Grundwasser, Boden, Luft). Anders gesagt: Die heutigen ÖLN-Vorgaben können die gemäss Art. 104 der Bundesverfassung geforderte Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen nicht gewährleisten. Die Vorgaben sind im Rahmen der AP22+ zu verschärfen.
- 2 **Direktzahlungen anpassen:**
Die Direktzahlungen sollen zukünftig eine klare Lenkungswirkung hin zu einem extensiven Anbau haben.
- 3 **Biolandbau fördern:**
In der AP22+ sollen konkrete Massnahmen zur Förderung des Biolandbaus definiert werden, weil eine Vergrösserung der biologisch bewirtschafteten Fläche viel zu den Pestizid-Reduktionszielen beitragen würde.
- 4 **Landwirte unabhängig beraten:**
Eine vom Pestizidverkauf unabhängige Beratung der Landwirte ist zentral. Die AP22+ soll auf einem Konzept basieren, das ein Finanzierungsmodell und eine klare Trennung von Verkauf, Kontrolle und Beratung umfasst. Diese Beratung soll betriebspezifisch sein und alle Aspekte abdecken: Von der Wahl resistenter Sorten und der Anpassung der Fruchtfolge über reduzierte Bodenbearbeitung bis zur Entwässerungssituation der Wasch- und Umschlagsplätze.
- 5 **Geltende Regelungen durchsetzen:**
Die AP22+ soll griffige Massnahmen aufzeigen, wie die Einhaltung geltender Regelungen (Einhaltung der Pufferstreifen, des integrierten Pflanzenschutzes etc.) wirkungsvoll durchgesetzt werden kann. Verstösse sollen deutlich stärker sanktioniert werden als heute.
- 6 **Lenkungsabgabe auf Pflanzenschutzmittel einführen:**
Pestizide werden heute noch in vielen Fällen nicht erst als letzte Massnahme, sondern aus wirtschaftlichen Gründen bereits vorsorglich eingesetzt. Eine Lenkungsabgabe auf Pflanzenschutzmittel würde bewirken, dass diese erst eingesetzt werden, wenn andere, heute meist teurere Methoden nicht zum Erfolg geführt haben.
- 7 **Innovative Massnahmen fördern:**
Die Züchtung resistenter Sorten, die Förderung von alternativen Pflanzenschutzmassnahmen (Aussetzen von Nützlingen, Verwirrung von Schädlingen etc.), GPS- und optisch gesteuerte Roboter und andere innovative Massnahmen sollen mit der AP22+ gezielt gefördert werden.
- 8 **Transparentes Zulassungsverfahren durch unabhängige Stelle:**
Gewisse in der BAFU-Studie gemessene Pestizidkonzentrationen müssten um einen Faktor 50 reduziert werden, damit sie für die betroffenen Gewässer unproblematisch wären. Dies deutet darauf hin, dass in der Schweiz Pestizide zugelassen sind, die auf Grund ihrer Toxizität gar nicht erst hätten zugelassen werden dürfen. Im aktuellen Zulassungsverfahren erfolgen Interessenabwägungen und Entscheide unter Ausschluss der Öffentlichkeit und ohne die Möglichkeit einer Überprüfung durch Rechtsmittelinstanzen. Der VSA fordert deshalb die Einführung eines transparenten Zulassungsverfahrens, welches – analog Swissmedic für die Arzneimittelzulassung – von einer unabhängigen Stelle durchgeführt werden soll.
- 9 **Umdenken bei Grossverteilern und Konsumenten:**
Damit eine weniger intensive Produktion gleich viele Nahrungsmittel auf die Teller bringt, muss der Trend zu immer perfekter aussehenden Früchten und Gemüsen durchbrochen werden. Mit abgestuften Preisen sollen die Grossverteiler dafür sorgen, dass sie alle produzierten Lebensmittel in den Verkauf bringen können. Ausserdem sollen sie neue resistente Sorten gezielt bewerben – sonst werden sie nicht angebaut. Informationskampagnen sollen dem Konsumenten ermöglichen, gezielt Produkte mit einer möglichst geringen Pestizidbelastung wählen zu können.
- 10 **Verbote im Hobbybereich:**
Der «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» sieht vor, ab 2018 eine Liste jener Pestizide zu publizieren, die für die nicht berufliche Verwendung bewilligt sind. Die Verkäufer solcher Pestizide sollen darüber informiert werden. Diese Massnahme ist nicht ausreichend: Giftige Pestizide sollen für den Hobbybereich explizit verboten werden.



▲ Abbildung 4: Das Einzugsgebiet der Tsatonire im Wallis ist sehr steil und auf knapp einem Viertel der Fläche werden Reben angebaut – ein Pflanzenschutzmittel-intensiver Anbau.

Eine mutige Vision ist gefragt

Die Schweizer Landwirtschaft soll sich in einer Vorreiterrolle mit hohem Qualitätsanspruch positionieren. Um die verlangte Trendwende im Umgang mit Pestiziden einzuläuten, ist neben der Landwirtschaft die gesamte Kette vom Produzenten über den Verkauf bis hin zum Konsumenten gefordert.



Stefan Hasler

hat an der ETH Lausanne Kultur- und Umweltingenieur studiert. Zwischen

1992 und 2004 war er Projektleiter bei BG Ingenieure und Berater AG, danach bis 2016 Leiter der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft im Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern. Ab 2011 bis Ende 2016 leitete er das VSA-CC Siedlungsentwässerung. Seit September 2016 ist er VSA-Direktor.

Alle sind gefordert!

Für die Umsetzung des auf Seite 13 abgebildeten Zehn-Punkte-Plans ist einerseits die Landwirtschaftspolitik stark gefordert. Andererseits muss auch der Handel seine Praxis anpassen. Schlussendlich stehen wir als Gesellschaft aber alle in der Verantwortung: Mit unserem Konsumverhalten, unserem Umgang mit qualitativ nicht (mehr) einwandfreien Lebensmitteln, dem Verzicht auf Pestizide rund ums Haus und im Garten – um einige zu nennen – tragen auch wir viel für saubere Gewässer und die Erhaltung unserer Lebensgrundlagen bei!



Literatur

Doppler, T., S. Mangold, I. Wittmer, S. Spycher, R. Comte, C. Stamm, H. Singer, M. Junghans und M. Kunz. (2017): Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen - NAWA-SPEZ-Kampagne untersucht Bäche in Gebieten intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. Aqua & Gas. 4

Gälli, R., C. Leu, N. Munz, Y. Schindler, I.

Wittmer und I. Strahm. (2015): Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Umwelt Zustand. Bern, BAFU.

Langer, M., S. Spycher, M. Koster, C. Baumgartner und E. Vermeirsen. (2017): Hohe ökotoxikologische Risiken in Bächen. Aqua & Gas. 4

Munz, N., C. Leu und I. Wittmer. (2012): Pestizidmessungen in Fließgewässern – Schweizweite Auswertung. Aqua & Gas. 11

Wittmer, I., C. Moschet, J. Simovic, H. Singer, C. Stamm, J. Hollender, M. Junghans und C. Leu. (2014): Über 100 Pestizide in Fließgewässern – Programm Nawa Spez zeigt die hohe Pestizidbelastung der schweizer Fließgewässer auf. Aqua & Gas. 3

Stefan Hasler

VSA

Europastrasse 3

8152 Glattbrugg

043 343 70 72

stefan.hasler@vsa.ch

Verbesserung der Wasserqualität

Aktionsplan Pflanzenschutzmittel

Die Zusammenfassung des Aktionsplans zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Der Bundesrat hat am 6. September 2017 den Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln verabschiedet. Die Risiken sollen halbiert und Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz gefördert werden. Mit dem Aktionsplan setzt der Bundesrat klare Ziele. Damit diese erreicht werden, sollen bestehende Massnahmen ausgebaut sowie neue eingeführt werden. Der Aktionsplan erlaubt der Schweizer Landwirtschaft, sich mit der Produktion nachhaltiger Nahrungsmittel zu positionieren.

Pflanzenschutzmittel werden in und ausserhalb der Landwirtschaft verwendet. In der Landwirtschaft steht der Schutz der Kulturen vor Krankheiten und Schädlingen sowie vor der Konkurrenz durch Unkräuter im Vordergrund. Pflanzenschutzmittel leisten einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Erträge und zur Qualität der Erntegüter. Allerdings können die in Pflanzenschutzmittel enthaltenen biologisch wirksamen Stoffe unerwünschte Auswirkungen auf Mensch und Nichtzielorganismen ausüben, welche es zu begrenzen gilt.

Der Bericht «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» beschreibt die Risiken von Pflanzenschutzmittel für Anwender, Konsumenten und Umwelt, welche gemäss heutiger Kenntnisse trotz der vielen bereits umgesetzten Massnahmen nachweisbar und/oder zu erwarten sind. Er definiert Risikoreduktionsziele und zeigt zu ergreifende Massnahmen auf, um diese Ziele zu erreichen.

Die Risikoanalyse ermöglicht grundsätzlich zwischen drei Situationen zu unterscheiden, welche im Aktionsplan entsprechend berücksichtigt werden:

1. Bestehende Risiken werden gezielt reduziert.
2. Unabhängig vom Risiko, wird das Potenzial zur Reduktion der Anwendungen und Emissionen von Pflanzenschutzmittel genutzt. Damit werden auch die Erwartungen an eine ressourcenschonende Landwirtschaft berücksichtigt.
3. Die Kenntnisse über unerwünschte Auswirkungen von PSM werden verbessert und neue Möglichkeiten zu deren Reduktion werden entwickelt.

Mit der Umsetzung des Aktionsplans sollen die heutigen Risiken von Pflanzenschutzmitteln halbiert und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nachhaltiger werden. Leitziele legen für jeden Bereich den langfristig anzustrebenden Zustand fest. Die Zielerreichung wird anhand konkreter Zwischenziele überprüft, welche ambitioniert, nach heutiger Einschätzung mit den vorgeschlagenen Massnahmen mittelfristig aber erreichbar sind.

Die für die Zielerreichung erforderlichen Massnahmen werden in neue und auszubauende Massnahmen sowie zu prüfende Massnahmen unterteilt. Die Verantwortung sowie der Zeitrahmen für die Umsetzung werden bestimmt und auf ggf. erforderliche Rechtsanpassungen wird hingewiesen. Der Bund ist sich bewusst,

dass die Ressourcen der Kantone derzeit knapp sind. Die Massnahmen wurden daher so ausgestaltet, dass der Zusatzaufwand für die Kantone möglichst klein ist.

Der Erfolg des Aktionsplans hängt auch von Faktoren ab, wie der Bereitschaft der Gesellschaft, damit verbundene Mehraufwendungen der Landwirtschaft über höhere Preise abzugelten, von der Bereitschaft des Handels geringere Ansprüche an die Qualität zu stellen oder von der Bereitschaft der Landwirtinnen und Landwirte präventive und alternative Schutzmassnahmen anzuwenden. Ebenso sind die finanziellen Möglichkeiten der öffentlichen Hand ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche Umsetzung.

Der Aktionsplan soll die Risiken für Mensch und Umwelt reduzieren und stellt eine Chance für die Schweizer Landwirtschaft dar. Mit dessen Umsetzung kann sie sich mit Produkten, welche unter Einhaltung hoher Umweltstandards und minimalem Einsatz risikobehafteter Pflanzenschutzmitteln produziert wurden, bei den für ökologische Fragen stark sensibilisierten Konsumentinnen und Konsumenten positionieren. Damit wird auch das Vertrauen der Bevölkerung in die Arbeit der Schweizer Landwirtschaft gestärkt. ♣

Quelle:

www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
Fachbereich Nachhaltiger Pflanzenschutz

Kontakt: psm@blw.admin.ch

Mikroverunreinigungen vermeiden – BLOKOSMA, ein engagierter Anbieter



Die Mikroverunreinigungen-Werte sind deutlich zu hoch. Um dies zu ändern sind wir Produzenten und Konsumenten gefragt. Ein Beispiel für ein Unternehmen, welches sich einen verantwortungsvollen Umgang auf die Fahne geschrieben hat, ist BLOKOSMA. 1935 in Zürich gegründet, strebt das Unternehmen an, moderne Naturkosmetik anzubieten und dabei auch die Umwelt zu respektieren. Wie geht das Unternehmen dies an?

BLOKOSMA verwendet Rohstoffe, welche in der Schweiz entwickelt und hergestellt werden. So können lange Transportwege vermieden werden. Es werden vorzugsweise Pflanzen aus kontrolliertem biologischem Anbau verwendet. Auch der Nachhaltigkeit von Ressourcen wird Rechnung getragen: Alle Verpackungen der Produkte sind recycelbar.

Das Unternehmen gibt Konsumenten die Möglichkeit, umweltbewusst produzierte Kosmetika zu kaufen. Denn viele kosmetische Produkte gelangen unweigerlich ins Abwasser und damit in den Wasserkreislauf. Um zu prüfen, wie umweltverträglich die Produkte sind, stehen uns Konsumenten verschiedene Apps zur Verfügung (vgl. Seite 36).

BLOKOSMA, Pionier der Schweizer Naturkosmetik, gehört zu den Anbietern, welche sich Gedanken über die Folgen Ihrer Produkte machen. Jürg Frommlet, Geschäftsführer der Firma Melisana AG, zu welcher die Marke BLOKOSMA gehört, steht uns Red und Antwort. Das Gespräch führte Salome Steiner, Aqua Viva

Jürg Frommlet, was hat das Unternehmen dazu bewogen, bei Ihren Produkten auf die Umweltverträglichkeit zu achten?

Seit Anbeginn der Markengeschichte steht bei BLOKOSMA die Nachhaltigkeit im Zentrum und die Natur ist dabei unser

Vorbild. Die Bewahrung der natürlichen Ressourcen liegt im Kern der Marke, und wir sehen es als unsere selbstverständliche Pflicht an, verantwortungsbewusst mit den gegebenen Ressourcen umzugehen.

BLOKOSMA achtet auf nachhaltige Ressourcenverwendung, indem wir zum Beispiel keine Aluminiumtuben einsetzen und Inhaltsstoffe verwenden, die biologisch abbaubar sind und die Umwelt nicht zusätzlich belasten. BLOKOSMA als Naturkosmetikmarke produziert nach strengen, eigenen Grundsätzen und lässt zudem die Produkte nach den NaTrue Richtlinien zertifizieren. Dies beinhaltet zum Beispiel, dass BLOKOSMA

natürliche und biologische Inhaltsstoffe verwendet, einen sanften Herstellungsprozess beachtet, keine synthetischen Duft- und Farbstoffe, keine Inhaltsstoffe aus Erdölchemie, keine Silikonöle oder Derivate und keine gentechnisch modifizierten Inhaltsstoffe verwendet. Zudem verzichteten wir von Anfang an auf die Durchführung von Tierversuchen und verzichten auf die Bestrahlung von Endprodukten oder pflanzlichen Inhaltsstoffen.

Ist Ihren Kunden die Nachhaltigkeit wichtig oder wird nie nachgefragt?

In den Kontakten und Gesprächen mit unseren Verbraucherinnen sehen wir, dass der Naturkosmetikkundin die Nachhaltigkeit sehr wichtig ist. Sie informiert sich teils intensiv über das Produkt und über die Firma, die hinter dem Produkt steht. Welche Philosophie wird verfolgt, wie und wo wird produziert? Wie steht die Firma zu Tierversuchen? Hat es kritische Inhaltsstoffe in den Produkten? Das sind häufige Fragestellungen, welche die Konsumentinnen beschäftigen.

Gibt es Produkte, welche Sie mit der von BOKOSMA gewählten Verfahrenstechnik nicht herstellen können?

Auch ein Naturkosmetikprodukt muss heute die Kundin in puncto Produktleistung und Anwendungsfreundlichkeit



▲ BOKOSMA-Labor Ebnet-Kappel, 40er Jahre.

überzeugen. Es gibt tatsächlich Produktsegmente, die es sehr schwierig machen, ein funktionierendes Produkt zu entwickeln, welches dann auch die strengen Vorschriften der Zertifizierung erfüllt.

Herr Frommlet, welche Zukunft sehen Sie persönlich für unsere Gewässer?

Ich würde gerne die Zukunft voraussagen können. Ich hoffe darauf, dass alle Stakeholders von Industrie, Handel, Konsument und Politik alles daran setzen, unsere Gewässer nachhaltig zu schützen. Wir von BOKOSMA wollen unseren Beitrag dafür leisten und verantwortungsbewusst handeln. Wenn dies von unseren Kundinnen und Kunden unterstützt wird und wir ihr Vertrauen erhalten, dann ist dies die schönste Anerkennung und zugleich Motivation für die Zukunft. ♦



▲ BOKOSMA Anzeige aus dem Jahre 1965.



Jürg Frommlet

Geschäftsführer Melisana AG,
Zürich

Wir schauen zusammen genau hin!



Salome Steiner ist Bereichsleiterin Umweltbildung bei Aqua Viva. Die gelernte Biologin mit Sek II-Ausweis ist überzeugt, dass wir schützen, was wir schätzen. Um unsere Gewässer zu schätzen braucht es einen emotionalen Bezug und Wissen.

Mit Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen besucht das Umweltbildungs-Team von Aqua Viva an Wassererlebnistagen die Bäche und Flüsse in der Umgebung. Zusammen schauen sie sich das Gewässer genauer an, entdecken die darin lebenden Tiere und überlegen zusammen, welche Einflüsse Fremdstoffe, also Mikroverunreinigungen, im Wasser haben.

Wassererlebnistage in Kürze

Stand: seit 2006

Ziel: Sensibilisierung der Kinder und Jugendlichen für die Schönheit, aber auch die Gefährdung unserer Gewässer

Wer: Aqua Viva & Kooperationspartner

Infos:  umweltbildung.aquaviva.ch

Salome Steiner bringt Kinder und Jugendliche raus an unserer Gewässer. Sie lernen die Flüsse und Bäche in ihrer Umgebung kennen und schätzen. Sie erleben mit allen Sinnen die einzigartigen Ökosysteme. Und verstehen die Zusammenhänge zwischen der Verunreinigung unserer Gewässer und dem Leben darin.

Salome Steiner, unsere Gewässer sind mit Mikroverunreinigungen belastet. Ist das den Kindern und Jugendlichen bewusst?

Wenn wir mit den Kindern und Jugendlichen einen Bach genauer unter die Lupe nehmen, die Tiere die darin leben anschauen und über den Wert des Wassers und des Bachs sprechen, kommt auch die Frage nach möglichen Gefahren auf. Viele der Kinder und Jugendlichen denken bei möglichen Verschmutzungen der Gewässer an Plastik, Petflaschen etwa, und an alte Fahrräder und Autoreifen. An Abfall also, welchen die Kinder auch selber und direkt verursachen – und welcher von blossem Auge problemlos und oft auch als störend wahrgenommen wird. Die wenigsten denken an die «unsichtbaren» Stoffe, an die Mikroverunreinigungen wie etwa Pestizide und Medikamentenrückstände. Da geht es den Kindern nicht anders als uns Erwachsenen. Umso wichtiger, dass etwa auch der VSA Kurse für Erwachsene zum Thema anbietet.

Wie bringen Sie den Klassen das Thema Mikroverunreinigungen näher?

Ein Becher mit Wasser. Was wohl da drin ist? Auf den ersten Blick und auch nach dem Vergleich mit dem Becher des Nachbarn ist klar: da ist einfach Wasser drin. Über die Herkunft wird diskutiert – es könnte vom Bach kommen oder auch aus dem Kühlschrank. Nehmen die Kinder nun einen kleinen Schluck, folgt die Überraschung: in einem Becher ist Zucker drin, im anderen Salzwasser. Die Kinder merken: wir sehen dem Wasser nicht an, welche

Stoffe darin gelöst sind. Mit blossem Anschauen können wir das nicht beurteilen. Woher können die Stoffe im Wasser kommen? Ein Problem in vielen Gewässern ist der hohe Nitratgehalt. Mit Hilfe der Bioindikation – wir fangen die Kleinlebewesen, Steinfliegenlarven, Eintagsfliegenlarven, Mückenlarven und Strudelwürmer – können wir beurteilen, ob ein Bach sehr nährstoffreich ist oder nicht. Die Zusammensetzung der Tiere sagt uns, ob viele Nährstoffe in den Bach gelangen oder ob das Wasser für die Lage angemessen belastet ist.

Welchen Einfluss haben die Wassererlebnistage auf das Verhalten der Kinder und Jugendliche?

Sicher, die Wassererlebnistage können A) nicht das Verhalten der Kinder ganz umkrempeln und B) sind wir alle Verursacher – auch wenn wir besten Willens sind, dies nicht zu tun. Ich bin aber der festen Überzeugung, dass die Kinder und Jugendlichen durch das Forschen und Erkunden des Bachs in ihrer Schulhausnähe einen emotionalen Bezug zu diesem aufbauen. Sie erkennen – oft zum ersten Mal bewusst – was alles für Leben im Bach ist und wie stark alles zusammenhängt. Dies legt die Grundlage für die Bereitschaft, in Zukunft im Sinne unserer Gewässer und – denken wir zum Beispiel ans Grundwasser – letztlich auch für uns zu entscheiden. ♦



Mikroverunreinigungen – Massnahmen in Abwasserreinigungsanlagen



Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sind ein wichtiger Pfeiler des Schweizer Gewässerschutzes. Die heutigen mechanisch-biologischen ARA entfernen organische Spurenstoffe allerdings nur ungenügend. Mit der revidierten Gewässerschutzgesetzgebung werden ausgewählte ARA verpflichtet, Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen zu ergreifen. Dazu kommen neue Verfahren wie die Ozonung oder die Aktivkohleadsorption zum Einsatz. Die Schweiz ist in diesem Bereich der Abwasserreinigung weltweit führend.

von Christian Abegglen

Abwasserreinigungsanlagen – ein wichtiger Pfeiler des Gewässerschutzes

Vor 100 Jahren wurde die erste mechanisch-biologische Abwasserreinigungsanlage (ARA) der Schweiz, die ARA Hofen in St.Gallen, in Betrieb genommen. Seither hat sich technologisch einiges verändert, die Grundprinzipien der Abwasserreinigung sind hingegen die gleichen geblieben (vgl. Abb. 1). Im ersten Schritt erfolgt immer die sogenannte mechanische Reinigung. Durch Grössenausschluss und Dichteunterschiede zwischen dem (Ab)wasser und dessen Inhaltsstoffen werden die partikulären Stoffe entfernt – dazu sind Rechenanlagen, Siebe, Sedimenta-

tions- und Flotationsstufen im Einsatz, manchmal ergänzt durch Chemikaliendosierung. Das vorgeklärte Abwasser wird im nächsten Schritt der biologischen Reinigung zugeführt, wo Mikroorganismen die Schmutzstoffe abbauen. Dazu benötigen sie aber geeignete Umweltbedingungen, beispielsweise genügend Sauerstoff oder ausreichende Aufenthaltszeiten. Im letzten Schritt werden die Mikroorganismen wieder vom Abwasser getrennt, in der Regel wiederum durch eine Sedimentation, manchmal gefolgt von einer Filtration. In der biologischen Reinigungsstufe wird normalerweise auch Phosphat eliminiert, indem es chemisch gefällt wird. Vereinzelt erfolgt die Phosphatelimination

auch durch biologische Prozesse. Der anfallende Schlamm aus der mechanischen und biologischen Reinigung ist energiereich und wird entweder direkt oder nach einer Faulung mit Klärgasproduktion thermisch verwertet. Dadurch spielen ARA heute zunehmend eine wichtige Rolle bei der Versorgung mit erneuerbaren Energien.

Was passiert mit den Mikroverunreinigungen

Nehmen wir als Beispiel den Wirkstoff Carbamazepin: dieses wird von Epilepsie-Patienten eingenommen, im Körper teilweise umgewandelt und anschliessend über den Urin ausgeschieden. Mit dem

Urin gelangt der Stoff via Toilette und Kanalisationssystem in die ARA. Dort wird das Wasser mechanisch und anschliessend biologisch gereinigt. Die mechanische Reinigung hat grundsätzlich keinen Einfluss auf gelöste Stoffe. In der biologischen Stufe könnten gelöste Stoffe eliminiert werden (zum Beispiel durch biologische Umwandlung). Bei den meisten Mikroverunreinigungen wie Carbamazepin findet in diesen Reinigungsstufen aber nur eine unzureichende Elimination statt. Die Stoffe gelangen somit in die Gewässer und können dort Wasserlebewesen schädigen.

Im Projekt «Strategie Micropoll» (vgl. blauer Kasten) wurde untersucht, wie hoch die Belastung mit Mikroverunreinigungen aus kommunalen ARA in Schweizer Gewässern ist, welche Stoffe relevant sind und ob zusätzliche Massnahmen in ARA die Belastung signifikant zu reduzieren vermögen. Die Resultate des Projekts mündeten in einer Revision der Gewässerschutzgesetzgebung, die ausgewählte ARA verpflichten, den Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Gewässer zu vermindern. Betroffen sind:

- ARA ab 8000 angeschlossenen Einwohnern mit einem Abwasseranteil > 10 %, um sensitive Gewässer zu schützen;
- ARA ab 24 000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen, um die Trinkwasserressourcen zu schützen;
- die grössten ARA ab 80 000 angeschlossenen Einwohnern, um die insgesamt eingetragene Menge an Mikroverunreinigungen zu reduzieren.

Verfahrenstechnik

Wie erwähnt sind die heutigen Reinigungsprozesse für die Entfernung von Mikroverunreinigungen nicht ausreichend. Die Kläranlagen müssen somit zusätzliche Reinigungsstufen einführen. Bisher haben

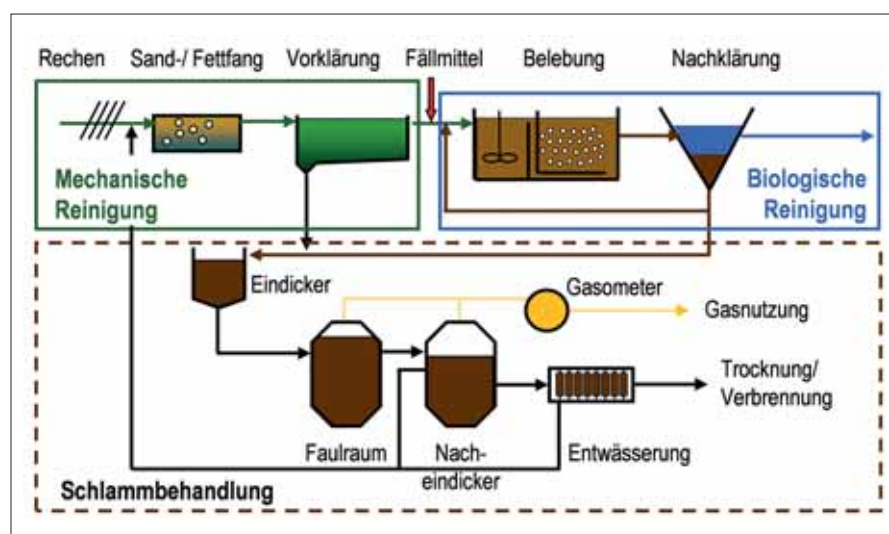
sich vor allem zwei Verfahrensprinzipien – die Aktivkohleadsorption sowie die Ozonung – als zweckmässig erwiesen. Sie entfernen eine Vielzahl von Stoffen (vgl. Abb. 2), sind relativ kostengünstig und können in bestehende Anlagen integriert werden. Diese beiden Verfahrensprinzipien beruhen auf unterschiedlichen Wirkmechanismen und werden nachfolgend erläutert:

Aktivkohleadsorption: Bei diesem Verfahren wird das Abwasser mit Aktivkohle in Kontakt gebracht (vgl. Abb. 3). Die Aktivkohle verfügt über eine immense innere Oberfläche. Daran lagern sich die gelösten Abwasserinhaltsstoffe (zum Beispiel Carbamazepin) an. Die beladene Aktivkohle muss anschliessend vom Abwasser getrennt werden. Zum Einsatz kommt die Aktivkohle entweder in gemahlener (Pulveraktivkohle, PAK) oder in granulierter Form (granulierte Aktivkohle, GAK). Die PAK wird (kontinuierlich) ins Abwasser eingemischt. Zur Abtrennung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung (vor allem Sedimentations- und Filtrationsverfahren). Die beladene Aktivkohle wird bei diesem Verfahren entweder kontinuierlich oder in kurzen Zeitabständen entfernt und mit dem Klärschlamm entsorgt (gefault, entwässert und ver-

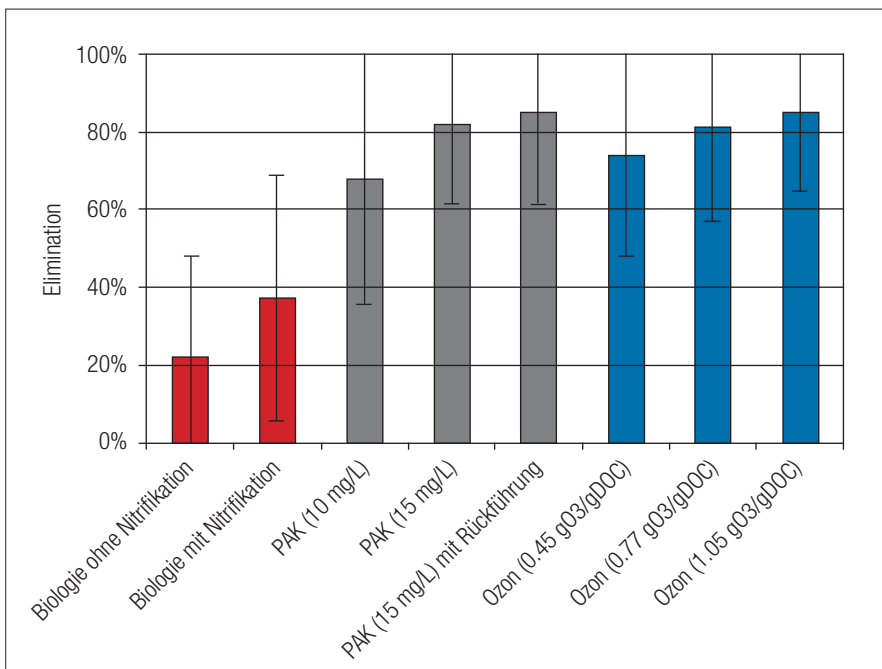
Strategie Micropoll

Im Projekt «Strategie Micropoll» des BAFU wurden zwischen 2006 und 2012 in drei Modulen die wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet, um den Eintrag von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser zu reduzieren. Das erste Modul zeigt auf, dass insbesondere Gewässer mit einem hohen Anteil an gereinigtem Abwasser stark mit verschiedenen Stoffen belastet sind. Das zweite Modul beinhaltet ein Beurteilungskonzept für die Belastung mit Spurenstoffen. Das dritte Modul zeigt, welche weitergehenden Verfahren in ARA geeignet und umsetzbar sind, um den Eintrag von Spurenstoffen zu reduzieren. Die Schlussberichte sind auf der BAFU-Website verfügbar.

brannt). Granulierte Aktivkohle wird hingegen in Filtern eingesetzt, die vom Abwasser durchströmt werden. Nach einer gewissen Zeit wird dann das gesamte Kohlebett entfernt und mit frischer Kohle ersetzt. Der Vorteil der GAK ist, dass sie – mit gewissen Verlusten – wieder aufbereitet (regeneriert) und eingesetzt werden



▲ Abbildung 1: Prinzipschema einer ARA (Abegglen & Siegrist 2012).



▲ Abbildung 2: Summarische Reinigungsleistung bezüglich Mikroverunreinigungen verschiedener Verfahren. Mit Ozon und Aktivkohle kann eine sehr hohe Reinigungsleistung erreicht werden (Abegglen & Siegrist 2012).

kann. Die Bandbreite an möglichen Verfahrensführungen ist sehr gross – für eine aktuelle Übersicht der möglichen Verfahren wird auf Wunderlin et al. (2017) verwiesen.

Ozonung: In das (biologisch) gereinigte Abwasser wird gasförmiges Ozon zuge-

geben (vgl. Abb. 4). Das Ozon löst sich im Wasser und reagiert mit den vorhandenen Abwasserinhaltsstoffen. Es handelt sich dabei um eine chemische Oxidation, wobei bestimmte chemische Verbindungen bevorzugt angegriffen werden. Da viele Mikroverunreinigungen solche chemische Verbindungen aufweisen, werden

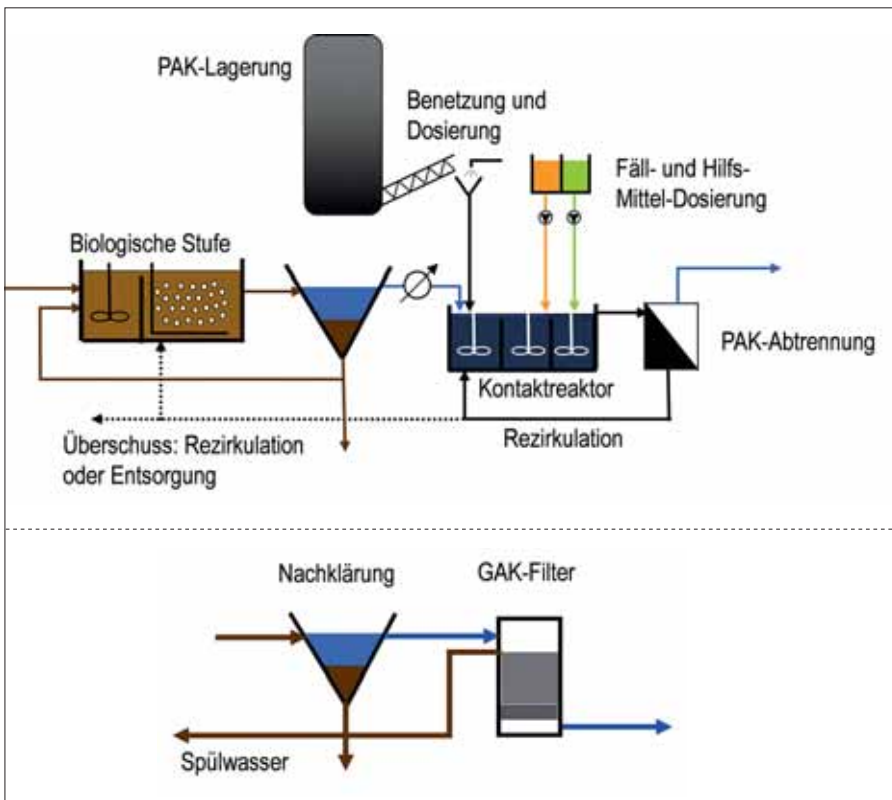
viele angegriffen und somit unschädlich gemacht. Im Gegensatz zur Adsorption, bei der die Moleküle an die Aktivkohle gebunden werden, erfolgt bei der Ozonung eine Stoffumwandlung. In aufwändigen Versuchen wurde nachgewiesen, dass durch diese Stoffumwandlung die problematische Wirkung praktisch vollständig verloren geht. Bei gewissen Abwässern kann es aber sein, dass durch die Ozonung andere problematische Stoffe gebildet werden. Dies ist unerwünscht und kann vermieden werden, indem die Abwasserzusammensetzung vor dem Verfahrensentscheid genau untersucht wird.

Das Ozon wird vor Ort aus einem sauerstoffhaltigen Gas erzeugt. Das sauerstoffhaltige Gas kann entweder aus getrockneter Luft oder flüssig angeliefertem Sauerstoff stammen, oder vor Ort durch Luftzerlegung hergestellt werden.

Carbamazepin wird somit in der Ozonung angegriffen und chemisch verändert, so dass es seine Wirkung verliert. Es bleiben jedoch noch Fragmente im gereinigten Abwasser.

Beide Verfahren wirken nicht «nur» auf die Mikroverunreinigungen, sondern auch auf natürliche organische Hintergrundstoffe. Zudem sind beide Betriebsmittel (Aktivkohle, Ozon) verhältnismässig teuer, so dass sie gemäss der Regel «so wenig wie möglich, so viel wie nötig» eingesetzt werden sollten. Aus diesem Grund werden sie üblicherweise nach der biologischen Reinigung eingesetzt, die möglichst weitgehend sein sollte, um den Gehalt an Restverunreinigungen im Abwasser gering zu halten und somit eine optimale Ausnützung der Betriebsmittel zu gewährleisten.

Andere Verfahren, die in der Wasser- und Abwassertechnik eingesetzt werden, wie zum Beispiel die Umkehrosmose, biologische Verfahren, Advanced Oxidation Processes (AOP, zum Beispiel UV und H_2O_2),



▲ Abbildung 3: Prinzipschema einer Pulveraktivkohle-Anlage (PAK, oben) und einer granulierten Aktivkohle-Anlage (GAK, unten) (Abegglen & Siegrist 2012).

sind aus verschiedenen Gründen nicht geeignet.

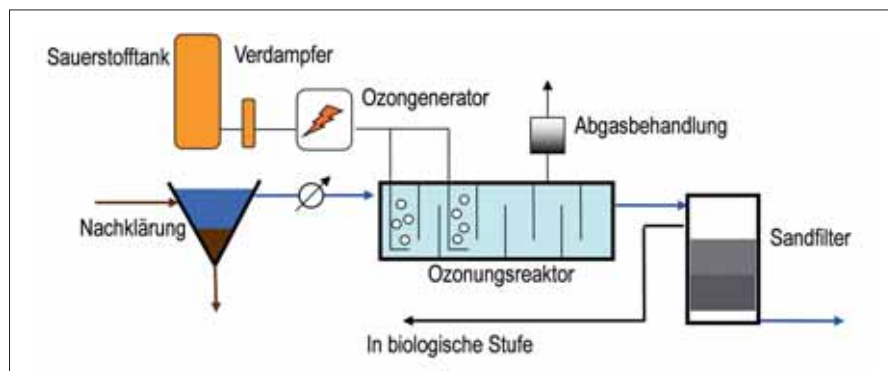
Die Umsetzung hat begonnen

Aktuell sind in der Schweiz drei Anlagen zur Elimination von Mikroverunreinigungen in Betrieb: ARA Neugut in Dübendorf (ZH) mit Ozon, ARA Bachwis in Herisau (AR) mit PAK sowie die ARA Reinach (AG) mit Ozon. Rund 10 weitere ARA befinden sich im Bau, wobei sowohl aktivkohle-basierte Verfahren als auch Ozonanlagen eingesetzt werden. Die Verfahrenswahl ist dabei vor allem von den örtlichen Verhältnissen abhängig (Platzangebot, bestehende Infrastruktur, Abwasserzusammensetzung).

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass die Anlagen relativ einfach, sicher und zuverlässig betrieben werden können. Da es sich um neue Technologien handelt und einige Entwicklungen parallel laufen, betreibt der VSA die Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» mit dem Ziel, Wissen aufzubauen und zu bündeln, sowie Erfahrungen auszutauschen (vgl. www.micropoll.ch).

Blick über die Grenze

Die Schweiz ist bisher das einzige Land, das auf Gesetzesebene Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen in ARA vorschreibt. In den europäischen



▲ Abbildung 4: Prinzipschema einer Ozonung (Abegglen & Siegrist 2012).

Ländern sind gesetzliche Regelungen erst zu erwarten, falls Massnahmen gegen Mikroverunreinigungen ins EU-Recht einfließen – davon ist momentan nicht auszugehen. Trotzdem gibt es auch im Ausland einige grosstechnische Umsetzungen.

Führend ist sicher das deutsche Bundesland Baden-Württemberg, wo bereits etwa ein Dutzend Anlagen vor allem mit PAK-Stufen ausgerüstet wurden. Auch Nordrhein-Westfalen beschäftigt sich intensiv mit dem Thema, getrieben durch die hohe Bevölkerungsdichte und das Spannungsfeld zwischen hohem Abwasseranteil und Trinkwassergewinnung. In anderen Ländern sind – soweit bekannt – allenfalls einzelne Anlagen in Betrieb oder werden Versuche durchgeführt.

Für die Rheinanliegerstaaten sind Mikroverunreinigungen aber eine zentrale Herausforderung. In ihrer Strategie verlangt die Internationale Rheinschutzkommission IKS, dass die Trinkwassergewinnung aus dem Rheinwasser mit einfachen, natürlichen Aufbereitungsmethoden möglich sein soll. «Dies bedeutet Vermeidung von Verunreinigungen durch Verringerung der Einleitung, Emissionen und Verluste von Mikroverunreinigungen mit nachteiligen Auswirkungen, mit dem Ziel, Konzentrationen in der Nähe der Hintergrundwerte natürlich vorkommender Stoffe zu erreichen und, bei synthetischen Stoffen, Konzentrationen in der Nähe von Null zu erreichen» (IKSR 2012).

Fazit

Die revidierte Gewässerschutzgesetzgebung verpflichtet ausgewählte Schweizer ARA, Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen zu ergreifen. Als Verfahren stehen derzeit die Ozonung so-

wie verschiedene aktivkohlebasierte Verfahren im Vordergrund – jeweils mit spezifischen Vor- und Nachteilen. Das geeignete Verfahren muss im Einzelfall aufgrund der lokalen Randbedingungen gewählt werden. Verschiedene Pilotversuche und die drei bisher realisierten grosstechnischen Umsetzungen zeigen, dass die Qualität des gereinigten Abwassers deutlich verbessert wird. Die Umsetzung hat jedoch erst begonnen – noch bleibt viel zu tun. Wir sind aber zuversichtlich, dass die ARA durch die zusätzlichen Massnahmen einen weiteren wichtigen Beitrag zum Gewässerschutz leisten! ♦

Literatur

- Abegglen C., Siegrist H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser – Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 14–12.
- Internationale Kommission zum Schutz des Rheins IKS (2012): Strategie Mikroverunreinigungen Integrale Bewertung von Mikroverunreinigungen und Massnahmen zur Reduzierung von Einträgen aus Siedlungs- und Industrieabwässern. Bericht Nr. 203.
- Wunderlin P., Meier A. & Grelot J. (2017): Elimination von Mikroverunreinigungen auf ARA: Aktueller Stand der Verfahren und künftige Entwicklungen. Aqua & Gas Nr. 11/2017 (in Vorbereitung).
- www.micropoll.ch Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» VSA



Christian Abegglen

Dr., hat an der ETH Zürich Umweltingenieurwissenschaften studiert. An der Eawag promovierte er im

Bereich dezentrale Abwasserreinigung und arbeitete anschliessend als Postdoc im Projekt «Strategie Micropoll». Seit 2011 ist er im Klärwerk Werdhölzli als Ingenieur Verfahrenstechnik tätig, seit 2014 leitet er das CC Abwasserreinigung des VSA.

Christian Abegglen

Klärwerk Werdhölzli
Bändlistrasse 108, Postfach
8010 Zürich
044 645 52 63
christian.abegglen@zuerich.ch

Gute Trinkwasserqualität ist kein Selbstläufer

Seit 1994 beschäftigt sich Prof. Dr. Rik Eggen mit dem Thema Mikroverunreinigungen – in und auch ausserhalb der Schweiz. Im Gespräch gehen wir den Fragen über Vorkommen und Wirkung von Mikroverunreinigungen in unseren Gewässern und in Schwellen- und Entwicklungsländern nach und sprechen über unsere Verantwortung. Rik Eggen ist stellvertretender Direktor der Eawag und Professor für Ökotoxikologie an der ETH Zürich.

Das Gespräch führte Salome Steiner, Aqua Viva.

Rik Eggen, was fasziniert Sie an der Forschung mit Mikroverunreinigungen?

Wie reagieren Organismen auf veränderte Temperaturen, auf die Abwesenheit von Sauerstoff, auf Pathogene, auf Mikroverunreinigungen – wie passen sie sich an? Die Auswirkungen von Umweltbedingungen auf Lebewesen haben mich schon immer beschäftigt und beeindruckt. Vor allem in der Forschung mit Mikroverunreinigungen spielt eine enorm breite Palette an Faktoren mit. Von der Anwendung von Chemikalien über den Eintrag zur Wirkung auf molekularer Ebene, bis hin zur Wirkung auf Organismen und das ganze Ökosystem. Um auf die Problematik der Mikroverunreinigungen reagieren zu können, müssen Massnahmen ausgearbeitet, getestet und implementiert werden. Dabei ist die Zusammenarbeit mit der Praxis sehr wichtig – und sehr spannend. Seitens der Eawag bringen viele Fachpersonen ihr Wissen ein – Chemiker, Toxikologen, Biologen, Ingenieuren und Sozialwissenschaftler. Das macht die Arbeit umfassend und höchst interessant.

Woher kommen die Mikroverunreinigungen in unseren Gewässern?

Ihre Herkunft ist vielfältig. Zu den Hauptquellen gehören die Landwirtschaft, Abwasser aus Städten und Industrieabwasser. Auch aus Depo- nien können Mikroverunreinigungen in die Umwelt gelangen. Es wird zwischen Punktquellen, wie etwa das gefasste Abwasser, und diffusen Quellen, wie etwa die Landwirtschaft, unterschieden. Daraus ergeben sich dann verschiedene Massnahmen, die ergriffen werden können um den Eintrag zu reduzieren.

Warum sind es so viele?

Die Antwort ist einfach: es werden so viele Chemikalien produziert und gebraucht. Da ist es logisch, dass sie in der Umwelt landen – im Boden, der Luft und auch im Wasser.

Wo überall finden wir Mikroverunreinigungen im Wasser?

Sie sind überall zu finden. Die Konzentration ist abhängig davon, wie nahe die Herkunftsquelle ist. So ist etwa die Konzentration unterhalb einer Kläranlage oder in Landwirtschafts- gebieten höher. Weiter weg von den Eintragsorten nimmt die Konzentration durch Verdünnung oder Abbau der Mikrover- unreinigungen ab. Auch nimmt die Konzentration generell ab, wenn das Wasser durch «Filter» wie den Boden fliesst.

Auch im Grundwasser wurden Mikroverunreinigungen ge- funden. Hier sind die Abbauraten wegen des fehlenden Lichts und tieferen Temperaturen länger. Das bedeutet: wenn Mikroverunreinigungen ins Grundwasser gelangen, bleiben sie dort länger.

.....

Mikroverun-
reinigungen
sind im Wasser
überall
zu finden.

.....

Aus dem Wasserhahn fliesst Trinkwasser, gewonnen aus Grundwasser oder aufbe- reitetem Oberflächenwasser. Die Qualität des Trinkwassers ist sehr hoch und wir dürfen es bedenkenlos geniessen, für uns fast eine Selbstverständlichkeit. Oft realisieren wir erst nach Reisen, wie aus- sergewöhnlich diese Tatsache eigentlich ist. Frühere aber auch heutige Generatio- nen haben viel zu dieser guten Wasser- qualität beigetragen. Es ist aber nicht

einfach gegeben, dass die Qualität so bleibt. Der Schutz des Grundwassers ist ernst zu nehmen, wir sollten die Qualität aufrechterhalten und wo nötig verbessern. Sonst werden wir in Zukunft auch das Grundwasser aufbereiten müssen – was aufwendig und teurer ist.

Sind Mikroverunreinigungen im Trinkwasser eine Gefahr für uns Menschen?

Wir sollten beachten, dass wir nicht nur mit dem Trinkwasser, sondern auch über die Nahrung und aus der Luft Mikro- verunreinigungen aufnehmen. Ob diese Mikroverunrei- nigungen für uns gefährlich sind oder nicht, hängt von



zVg

der Wirkung der Mikroverunreinigungen, von ihrer Konzentration und der Dauer der Aussetzung an Mikroverunreinigungen ab.

Grundsätzlich ist es so, dass etwa Pestizide, welche bei unerwünschten Tierarten zum Beispiel das Nervensystem angreifen sollen, dies auch bei erwünschten Tierarten tun. Wenn wir als Menschen also viel von diesen Pestiziden aufnehmen und einatmen, kann dies auch Folgen für unser Nervensystem haben. Verschiedene Pestizide werden in Oberflächengewässern gefunden. Eine Einnahme über unser Trinkwasser ist aber unwahrscheinlich.

Wie reagiert die Umwelt, wie die Tiere in den Gewässern auf die Verunreinigungen?

Die Reaktionen sind sehr unterschiedlich. Die Änderungen werden von uns oft nicht wahrgenommen, da sie meistens auf physiologischer Ebene ablaufen. Zellen und Organismen versuchen immer, das System im Gleichgewicht zu halten. Auf Abweichungen reagieren sie sofort und stellen die Balance wieder her. Verschiebt sich nun das Gleichgewicht stark und kann der Organismus den Normzustand nicht selbst wieder herstellen, zeigt er Stress-Symptome. Bei Fischen wurden auf Mikroverunreinigungen zurückzuführende Veränderungen bei Organen festgestellt. Unterhalb von Kläranlagen wurden Veränderungen in den Makroinvertebraten-Populationen festgestellt. Resistenter Tiere überlebten.

Die Reaktion der Organismen reicht also von der biochemischen Ebene bis hin zur Zusammensetzung einer Population. Was genau dies für die Funktion eines Ökosystems bedeutet, ist noch unklar und wird momentan von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an der Eawag erforscht.

Welche Art von Mikroverunreinigungen stellt das grösste Problem dar?

Die Chemikalien, die hergestellt wurden, um in tiefen Konzentrationen eine ganz bestimmte Wirkung zu erzielen, wie zum Beispiel Pestizide und Pharmazeutika. Gelangen diese Stoffe in die Umwelt, werden sie diese Wirkung, ausser sie werden abgebaut, nicht verlieren! Somit hat jede Art von Mikroverunreinigung eine Wirkung auf die Umwelt. Herbizide wirken auf Wasserpflanzen und Insektizide auf Wasserinsekten. Bei gleicher Biochemie entfaltet sich die gleiche Wirkung. Das Insektizid kann nicht zwischen in unseren Augen nützlichen und schädlichen Insekten unterscheiden.

Wo sehen Sie Möglichkeiten, die Konzentration der Mikroverunreinigungen in unseren Gewässern in Zukunft zu verringern?

Mikroverunreinigungen, die sich im Wasser lösen, sind schwer zu finden und schwer wieder aus dem Wasser herauszuholen. Stellen Sie sich vor, Sie giessen einen Topf voller Goldstückchen in den See. Der Stoff und sein Aussehen sind bekannt, trotzdem ist es schwierig, alles Gold wieder herauszufischen. Wie viel schwieriger ist dies erst bei Mikroverunreinigungen, die man nicht mit blossen Auge sieht! Es ist also ratsam, darauf zu achten, dass die Mikroverunreinigungen gar nicht erst in unsere Gewässer gelangen.

Da sind die Möglichkeiten vielfältig. Es beginnt bei jeder einzelnen Person. Wir können in unserem Alltag überlegen: was brauche ich wirklich, wie entsorge ich differenziert. Ganz wichtig ist die Regulation: wie werden die Stoffe in Industrie und Landwirtschaft gehandhabt, wie lassen sich die technischen Massnahmen an den Quellen selbst verbessern. Mögliche Lösungen sind auch die Aufstockung der Kläranlagen und die lokale Behandlung von Spital und anderen Abwasser. Wichtig ist dabei die enge Zusammenarbeit der Forschung mit den Verursachern und den Gesetzgebern. So kann sichergestellt werden, dass Massnahmen sinnvoll und gezielt eingesetzt werden.

Mikroverunreinigungen sind nicht nur in der Schweiz ein Thema. Wie ist die Situation in anderen Ländern?

Die Situation in Entwicklungs- und Schwellenländern sieht anders aus als bei uns in der Schweiz, da das Problem der chemischen Verunreinigungen lange nicht Priorität hatte auf der politischen Agenda. Im Zusammenhang mit dem Wasser ging es vor allem um Pathogene, zum Beispiel Amöben, Viren und Bakterien, welche über das Wasser auf die Menschen übertragen werden und Krankheiten verursachen. Wegen der globalen Entwicklung ändert sich dies nun zunehmend. Die Produktion von chemischen Verbindungen nimmt weltweit zu: die Bevölkerung wächst und damit auch der Konsum von Medikamenten, die Herstellung von Nahrung und – mit zunehmendem Wohlstand – der Kauf von Kosmetikprodukten und Medikamenten. Die Zunahme der Produktion findet vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern wie China, Brasilien und Indien statt, mit anderen gesetzlichen Bestimmungen und Kenntnissen bei der Anwendung.

Es stellen sich nun die Fragen: Wie werden Chemikalien in Entwicklungs- und Schwellenländern reguliert? Wie ist das Bewusstsein der Bevölkerung? Es zeigt sich, dass Mikroverunreinigungen in diesen Ländern bereits ein Problem für Mensch und Umwelt darstellen. Umweltverschmutzung ist heute ein wichtiger durch die Umwelt bedingter Grund für Krankheiten und frühzeitigen Tod weltweit. Eine globale Übersicht haben wir uns erarbeitet und im Bericht «Chemical

Pollution in Low- and Middle-Income Countries», welcher 2016 erschien, publiziert. Forschungs- und Sensibilisierungsarbeit wie auch Wissenstransfer in Schwellen- und Entwicklungsländern wird geleistet. Die Eawag arbeitet dazu mit anderen Schweizer Organisationen und – wichtig – mit lokalen Partnern. Zusammen wird die Problematik angegangen.

Herr Eggen, lassen Sie die Forschungsergebnisse mit Sorge in die Zukunft blicken?

Würden wir die Augen vor dem Thema Mikroverunreinigungen verschliessen, ja, dann würde ich mit Sorgen in die Zukunft blicken. Das ist zum Glück nicht der Fall. In der Schweiz wird das Problem dank dem politischen Umfeld, dank der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis angepackt. Der Wille ist da, es wird viel gemacht, auch in finanzieller Hinsicht. In der Bevölkerung ist spürbar, dass wir uns Gedanken machen über unsere Gewässer, dass wir sie schätzen und die hohe Qualität des Wassers erhalten wollen.

Wir dürfen aber nicht vergessen: Vom Moment an, in dem wir ein Problem erkennen, bis Massnahmen sichtbare Wirkung

zeigen, braucht es Zeit. Das kann schon mal 15 bis 20 Jahre dauern. Seit ich an der Eawag arbeite, haben wir bei Kläranlagen die Konzentrationen der Mikroverunreinigungen gemessen und die Auswirkungen davon untersucht. In den nächsten 15 bis 20 Jahren werden ausgewählte Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe aufgestockt. Von der Erkennung des Problems über dessen Untersuchung bis zur Massnahme sind also etwa 20 Jahre vergangen. Das gleiche zeigt sich bei der Aufstockung der Kläranlagen in den 50/60er-Jahre. Damals wurde damit begonnen, Stickstoffe und Phosphate aus den Abwässern zu eliminieren. Heute erst ist der Erfolg da, sind die Konzentrationen in den Seen wieder auf dem Niveau von vor den Jahren der Eutrophierung.

International ist aber noch sehr viel zu tun. In unserer globalisierten Welt ist es wichtig, Verantwortung zu übernehmen: wie verhalten wir uns, was importieren wir. Wir alle tragen eine weltweite Verantwortung.

Herr Eggen, ich danke Ihnen herzlich für das offene, interessante Gespräch. ♦

Den Effekten von Mikroverunreinigungen auf der Spur: Das Projekt Ecolmpact

von Christian Stamm

Um die Belastung der Gewässer mit Mikroverunreinigungen zu vermindern, werden zahlreiche Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) mit einer weiteren Reinigungsstufe versehen. Obwohl die positiven Auswirkungen der Massnahme unbestritten sind, versteht man die ökologischen Effekte von Mikroverunreinigungen nur unzureichend. Die Aufrüstung der ARAs bietet die Möglichkeit, die Kenntnisse in diesem Bereich zu verbessern, indem untersucht wird, wie sich die Lebensgemeinschaften in den Gewässern nach der Aufrüstung entwickeln.

Deshalb hat die Eawag das interdisziplinäre Projekt Ecolm-

pact gestartet. Es untersuchte während der ersten Phase bis 2016, welche ökologischen Auswirkungen Mikroverunreinigungen aus Abwasser auf die Zusammensetzung und das Funktionieren von Fluss-Ökosystemen haben. An 24 ARA-Standorten wurde die Wasserchemie und -biologie ober- und unterhalb der Abwassereinleitung untersucht. Zudem wurden in einem System von 16 Durchflusssrinnen die ökologischen Wirkungen von Mikroverunreinigungen und Nährstoffen studiert. Es zeigte sich beispielsweise, dass der Biofilm der Flusssohle unterhalb der ARAs toleranter gegenüber Mikroverunreinigungen war als oberhalb und der Laubabbau unterhalb der Kläranlagen reduziert war. Zahlreiche der beobachteten Effekte deuten auf Mikroverunreinigungen als Ursachen hin. ♦



Christian Stamm

Dr., ist Stellvertretender Abteilungsleiter der Abteilung Umweltchemie an der Eawag. Sein Fachgebiet ist die Gewässerbelastung aus landwirtschaftlichen und urbanen Quellen.

Christian Stamm

Soil Hydrologist, Environmental Chemistry, Eawag
Ueberlandstrasse 133, 8600 Dübendorf
058 765 55 65, christian.stamm@eawag.ch

Begünstigen Mikroverunreinigungen Antibiotikaresistenzen im Wasser?

Laborstudien zeigen, dass Antibiotikakonzentrationen wie sie in Abwasser und Gewässern vorkommen, die Bildung von Resistenzen begünstigen. Durch den ARA-Ausbau in der Schweiz werden Mikroverunreinigungen inklusive Antibiotikarückstände im Abwasser in Zukunft stark reduziert. Kein Grund zur Sorge also?

von Nadine Czekalski

Antibiotikaresistenzen – eine neuartige Gewässerverschmutzung

Jedes Lebewesen, dem Antibiotika verabreicht werden, scheidet diese grösstenteils unverändert wieder aus, begleitet von resistenten Krankheitserregern und Darmbakterien, die sich während der Antibiotikatherapie bilden oder anreichern. Letztere werden jedoch auch über den Behandlungszeitraum hinaus ausgeschieden, so dass täglich grosse Mengen an resistenten Keimen entweder direkt auf Böden und aus diesen in die Gewässer eingetragen werden (zum Beispiel im Veterinärbereich) oder zunächst ins Abwasser (Humanmedizin) gelangen (Abb. 1). In anderen Teilen

der Welt und zunehmend auch in der Schweiz spielen ausserdem Aquakulturanlagen als Eintragsquellen eine Rolle.

Im Abwasser treffen sehr hohe Bakterienzahlen mit niedrigen Konzentrationen verschiedenster Antibiotika und anderer biozider Stoffe (zum Beispiel Desinfektionsmittel, Schwermetalle) aufeinander. In diesen niedrigen Konzentrationen stellen Antibiotika für Bakterien keine Gefahr mehr dar. Man nahm lange an, dass Bakterien, sobald sie das klinische Umfeld verlassen, ihre Resistenzen nicht mehr benötigen und diese aus «Energiespargründen» gar wieder verlieren. Das Gegenteil scheint aber der Fall zu sein:

- In ARAs gereinigtes Abwasser enthält zwar insgesamt weniger (resistente) Bakterien als unbehandeltes, jedoch wurde zum Teil ein erhöhter Anteil von Bakterien mit Mehrfachresistenzen im ARA-Ablauf gegenüber dem Zulauf festgestellt (Czekalski et al. 2016, Abb. 2).
- Oberflächengewässer, in welche kontinuierlich gereinigtes Abwasser eingeleitet wird, enthalten lokal erhöhte Konzentrationen von Antibiotikaresistenzgenen gegenüber Gewässerabschnitten, welche von der Einleitungsstelle weiter entfernt liegen (Czekalski et al. 2014; Abb. 3).

Begünstigen niedrige Antibiotika-konzentrationen und andere Mikroverunreinigungen die Anreicherung von resistenten Bakterien in Abwasser und Gewässern?

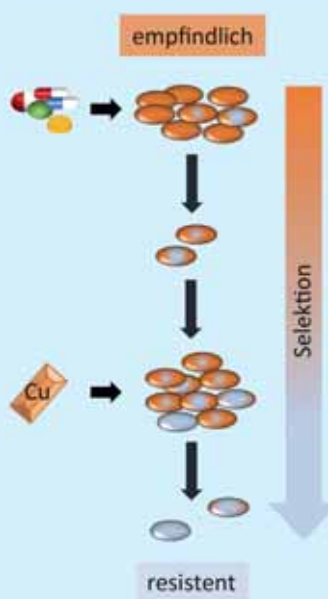
In Laborstudien wurde gezeigt, dass die Antibiotika-Empfindlichkeit von Bakterien, welche nicht-letal, also sehr geringen Antibiotikakonzentrationen ausgesetzt sind, herabgesetzt werden kann. Oder anders gesagt: auch niedrige Antibiotikakonzentrationen, wie sie teilweise in der Umwelt vorkommen, können resistente Bakterien selektieren (Sandegren 2014). Inwiefern solche Prozesse aber im Abwasser und erst recht in natürlichen Gewässern tatsächlich eine Rolle bei der Entwicklung und Verbreitung von Resistenzen spielen, ist bislang nur schwer abschätzbar. Hier gibt es noch Forschungsbedarf. Beispielsweise wäre ein Vergleich des Anteils resistenter Bakterien in Gewässern und in gereinigtem Abwasser vor und nach dem ARA-Ausbau hilfreich. Auch sollten Antibiotika nicht nur im Hin-

blick auf ihre bakterizide Wirkung, sondern auch im Hinblick auf ihre selektive, das heisst die Resistenzbildung begünstigende Wirkung unter Umweltbedingungen, untersucht werden. Im nächsten Schritt könnten, ähnlich wie in der Toxikologie üblich, no-Effect-Konzentrationen bezüglich der selektiven Wirkung bestimmt und damit gegebenenfalls Grenzwerte für Antibiotika in Gewässern festgelegt werden. Deren Einhaltung würde die weitere Verbreitung von Resistenzen abbremsen (Bengtsson-Palme & Larsson 2016). Auch in diesem Zusammenhang ist der Ausbau von ARAs und damit die Verringerung des Eintrags von Mikroverunreinigungen ein erster wichtiger Schritt. Aber ist das Antibiotikaresistenzproblem damit zumindest in den Gewässern vom Tisch?

Inzwischen ist bekannt, dass Bakterien nicht nur gegenüber Antibiotikarückständen sondern auch in Gegenwart von anderen Verschmutzungen, die als Stressfaktoren wirken (etwa Schwermetalle, Desinfektionsmittel) dazu angeregt werden, sich gewissermassen genetisch zu wappnen: kleine Gensequenzen, sogenannte Integrons, werden in Gegenwart von Stressoren aktiv und befähigen Bakterien neue (Resistenz-) Gene untereinander auszutauschen oder aus der Umwelt aufzunehmen (Graham et al. 2014; vgl. blauer Kasten unten). Diese Erkenntnisse zeigen auf, dass Mikroverunreinigungen in Abwasser und Gewässern nur ein Teil des Problems sind und dass zum Beispiel auch Altlasten, wie mit Schwermetallen verseuchte Sedimente, Resistenzen fördern.

Nach dem heutigen Wissensstand verdichten sich ausserdem die Hinweise, dass die Einleitung resistenter Bakterien selbst eine grosse Bedeutung für deren erhöhtes Vorkommen in belasteten Gewässern hat (Czekalski et al. 2014). Es wäre vorteilhaft, wenn nicht nur Mikroverunreinigungen, sondern auch resistente Bakterien durch die zusätzliche Reinigungsstufe auf ARAs

Wie werden Bakterien resistent und warum bleiben sie es auch in der Umwelt?



1. Selektion:

Die meisten Bakterien einer Population sind völlig identisch, aber es gibt auch hier «Aussenseiter», zum Beispiel mit geringerer Empfindlichkeit gegenüber Antibiotika. Sie überleben als einzige einen Antibiotikeinsatz und bauen danach eine neue Population aus resistenten Bakterien auf.

2. Co-/Kreuzselektion:

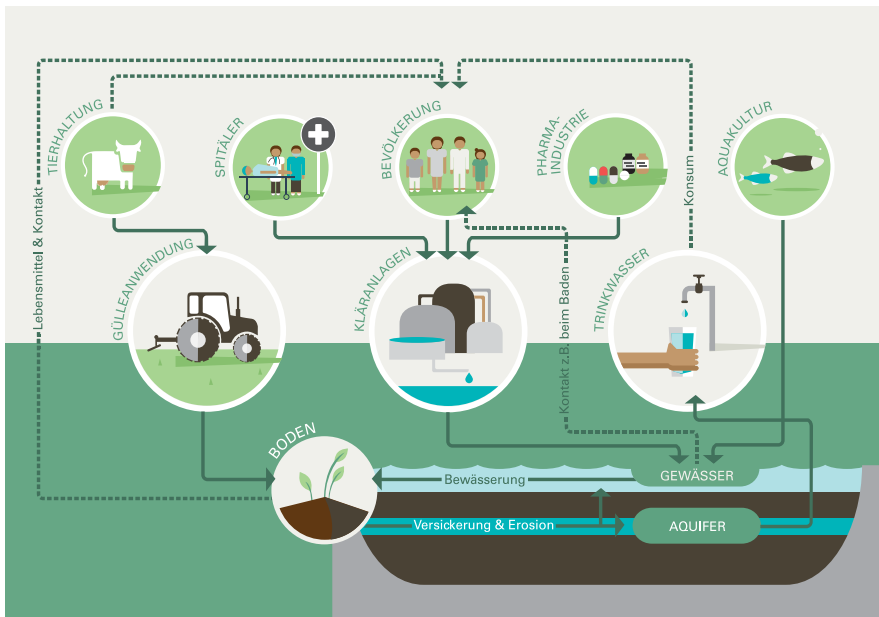
Auch Schwermetalle und andere Biozide können für Antibiotikaresistenzen selektieren, beispielsweise wenn beide Resistenzen genetisch gekoppelt sind, also entweder durch das gleiche Gen codiert werden oder beide Gene nahe beieinanderliegen, zum Beispiel innerhalb eines Integrons.

3. Genaustauschprozesse:

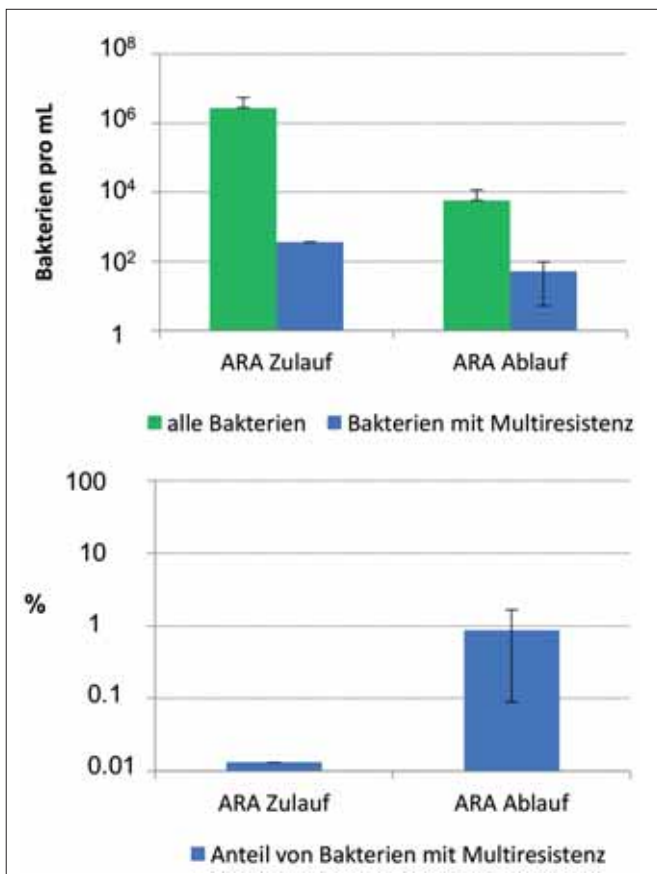
Bakterien aus verschiedenen Kompartimenten (zum Beispiel Abwasser und Gewässer) können Resistenzgene untereinander austauschen oder als freie DNA aus der Umwelt aufnehmen.



Unterstützt und ermöglicht werden alle dargestellten Prozesse durch verschiedene (mobile) genetische Elemente, vor allem Integrons , welche durch verschiedenste Stressoren (Antibiotika- , Biozidrückstände  oder Schwermetalle ) in Bakterien aktiviert werden.  = Resistenzgene



▲ Abbildung 1: Antibiotikarückstände und resistente Bakterien, die sich beim Einsatz der Antibiotika entwickeln, gelangen auf verschiedenen Wegen in die Umwelt. Dort können existierende Resistenzen weiterverbreitet werden oder sich evolutionär verändern. Resistente Bakterien oder ihre mobilen Resistenzgene gelangen auf verschiedenen Wegen wieder zum Menschen (Bürgmann & Imming 2017, Aqua & Gas 10, 2017; © der Abbildung: Natalie Schöbitz, Eawag).

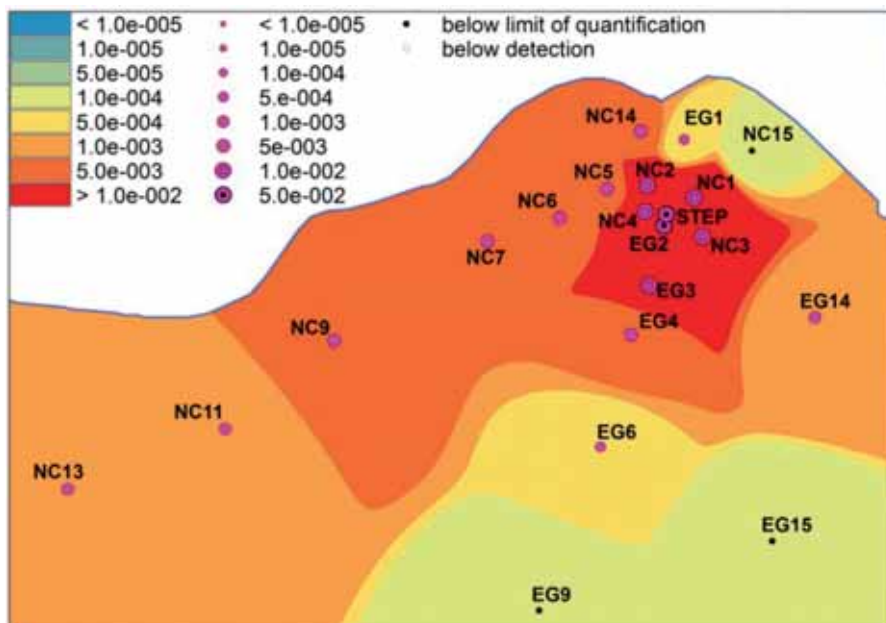


◀ Abbildung 2: ARA's leisten einen guten Beitrag zur Verringerung der bakteriellen Fracht (auch von Bakterien mit Multiresistenzen) aus dem Abwasser (oben). Manchmal überleben resistente Bakterien das Procedere aber besser. Das gereinigte Abwasser ist dann im Vergleich zum Zulauf mit solchen resistenten Keimen angereichert (unten).

aus dem Abwasser entfernt werden. In der Tat wird im konventionell gereinigten Abwasser durch eine anschließende Behandlung mit Ozon die Zahl resistenter Bakterien noch einmal deutlich reduziert. Allerdings zeigten Untersuchungen auf der ersten Schweizer ARA mit Ozonung auch, dass resistente Bakterien während der biologischen Nachbehandlung des ozonierten Abwassers wieder aufwachsen und somit den positiven Effekt der Ozonung deutlich reduzieren. Zusätzliche Massnahmen, welche zum einen die Wirkungskraft des Ozons erhöhen – beispielsweise ein der Ozonung vorgeschalteter Filtrationsschritt, um Kleinstpartikel zu eliminieren, welche die darin lebenden Bakterien vor dem Ozon abschirmen – oder die bakterielle Fracht gänzlich zurückhalten (zum Beispiel Ultrafiltration), wäre daher nötig, um die Einleitung multiresistenter Bakterien, welche während der Abwasserreinigung selektiert werden, am wirksamsten einzudämmen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden solche Massnahmen momentan aber nicht erwogen. Welches Vorgehen am effektivsten und am wirtschaftlichsten wäre, muss daher noch weiter erforscht werden.

Resistenzen in Gewässern – was bedeutet dies für uns?

Die aquatische Umwelt wird zum einen durch menschliche Aktivitäten mit Mikroverunreinigungen und resistenten Bakterien belastet. Zum anderen fungiert sie selbst aber auch als (natürlicher) Speicher und schier unerschöpfliches Reservoir von Resistenzgenen. Diese können mittels der im blauen Kasten auf Seite 29 beschriebenen Prozesse zwischen harmlosen Umwelt, Mensch und Tier besiedelnden Bakterien, sowie bakteriellen Krankheitserregern ausgetauscht werden (unter anderem begünstigt durch die Anwesenheit von niedrigen Antibiotikakonzentrationen). Dies bedeutet, dass prinzipiell menschlich selektierte Resistenzgene, ähnlich wie die Mikroverunreinigungen, über den Wasserkreislauf wieder zu uns zurück gelangen



▲ Abbildung 3: In Seesedimenten in der Bucht von Vidy (Lausanne, Lac Léman) ist der Anteil von Resistenzgenen nahe der ARA-Einleitungsstelle (STEP) bis zu 200-fach gegenüber ein Kilometer entfernten Seesedimenten (SHL2) erhöht.

können (vgl. Abb. 1), sei es über das Trinkwasser (Bürgman & Imminger 2017), den Verzehr von frischen Nahrungsmitteln (Thanner et al. 2016), welche mit kontaminiertem Wasser bewässert wurden, oder durch Freizeitaktivitäten (Schwimmen, Baden, Wassersport). Aufgrund sehr hoher Qualitätsstandards und modernster Auf-

bereitungsmethoden ist aber dem Wasserkreislauf in der Schweiz im Vergleich zu anderen Ländern mit mangelnden Hygienebedingungen und unzureichendem Abfallmanagement eine eher geringe Rolle bei der Verbreitung von Antibiotikaresistenzen beizumessen. Dennoch sollte auch hier nach dem Vorsorgeprinzip gehandelt und Einträge in Gewässer, sei es über ARAs oder die Landwirtschaft, so gering wie möglich gehalten werden. Damit (zusätzliche) lokale oder über die Zeit flächig zunehmende Erhöhungen des natürlichen Resistenzhintergrundes in Gewässern weitestgehend minimiert werden, braucht es allerdings Massnahmen auf allen Ebenen und nicht nur bei der Ab- und Trinkwasseraufbereitung.

Besonders der verantwortungsvolle Umgang mit Antibiotika, aber auch mit anderen Bioziden, einschliesslich deren Produktion und Abfallbeseitigung, sind Voraussetzung um die Zunahme von Resistenzen in Krankheitserregern zu verlangsamen. ♦

▼ Abbildung 4: Die Antibiotika hindern Bakterien am Wachsen. Aber nicht jedes Antibiotikum wirkt gleich. Hier sichtbar gemacht mit Hilfe des Bakteriums *E. Coli* und Antibiotika-Plättchen - die Hemmhöfe um die Plättchen zeigen wo das Bakterium nicht wachsen konnte.



Foto: Nathan Reading



Nadine Czekalski

Dr. rer. nat., ist Projektleiterin Gewässerschutz beim VSA. Zuvor befasste Sie sich während ihrer Promotion und anschliessendem Postdoc an der Eawag intensiv mit dem Thema Antibiotikaresistenzen in Abwasser & Gewässern.

Literatur

- Bengtsson-Palme & Larsson (2016): Concentrations of antibiotics predicted to select for resistant bacteria: proposed limits for environmental regulation. *Environment International*, Vol. 86, p. 140–149.
- Bürgman & Imminger (2017): Antibiotikaresistenzen im Trinkwasser. *Aqua & Gas*, Vol. 10, p. 60–66.
- Czekalski et al. (2016): Antibiotikaresistenzen im Wasserkreislauf. *Aqua & Gas*, Vol. 9, p. 72–80.
- Czekalski et al. (2014): Wastewater as a point source of antibiotic resistance genes in the sediment of a freshwater lake. *The ISME Journal*, Vol. 8, p. 1381–1390.
- Graham et al. (2014): Underappreciated role of regionally poor water quality on globally increasing antibiotic resistance. *Environmental Science & Technology*, Vol. 48, p. 11746–11747.
- Sandegren (2014): Selection of antibiotic resistance at very low antibiotic concentrations. *Upsala Journal of Medical Sciences*, Vol. 119, p. 103–107.
- Thanner et al. (2016): Antimicrobial Resistance in Agriculture. *mBio*, Vol. 7, p. 1–7.

Nadine Czekalski

VSA Geschäftsstelle
Europastrasse 3, Postfach
8152 Glattbrugg
nadine.czekalski@vsa.ch

Zur Trinkwassergewinnung – die Natur macht es vor:

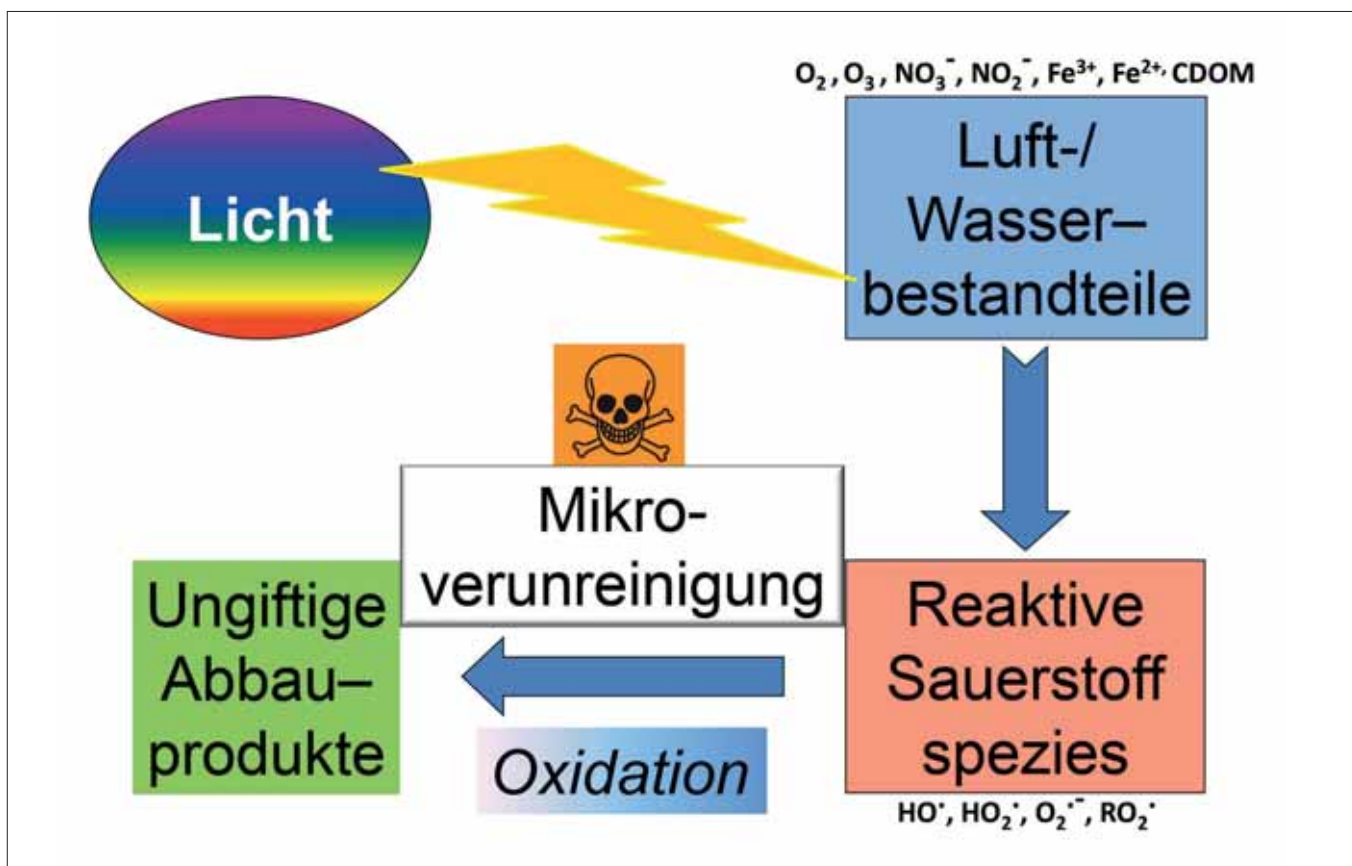
Nachhaltige Reinigung und Entgiftung von Wasser mit Licht

Nur etwa ein Prozent der gesamten Wassermenge auf der Erde steht uns als Trinkwasser zur Verfügung. Durch die rasante Entwicklung hochempfindlicher Methoden der Wasseranalytik in den letzten Jahrzehnten konnte der Eintrag von organisch-chemischen Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässer und Grundwasser nachgewiesen werden. Für die Trinkwassergewinnung können durch nachhaltige photochemische Verfahren die meisten dieser im Wasser gelösten Giftstoffe unschädlich gemacht werden. von Thomas Oppenländer

Mikroverunreinigungen stammen aus Pharmazeutika aus der Human- oder Veterinärmedizin, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbe-

kämpfungsmittel, Industriechemikalien und von Körperpflege- und Beautyprodukten. Diese organisch-chemischen Substanzen gelangen in geringsten Mengen in die

Umwelt über herkömmliche Kläranlagen, durch landwirtschaftlichen Eintrag, Niederschlag oder auch bei Überschwemmungen. Viele dieser Stoffe besitzen bio-



▲ Abbildung 1: Durch Sonnenlicht ausgelöster natürlicher Vorgang der Schadstoffoxi-
dation in der Hydro- und Atmosphäre der Erde; CDOM: Colored Dissolved Organic Matter, natürlicher Gelbstoff im Wasser mitverantwortlich für die Lichtabsorption.

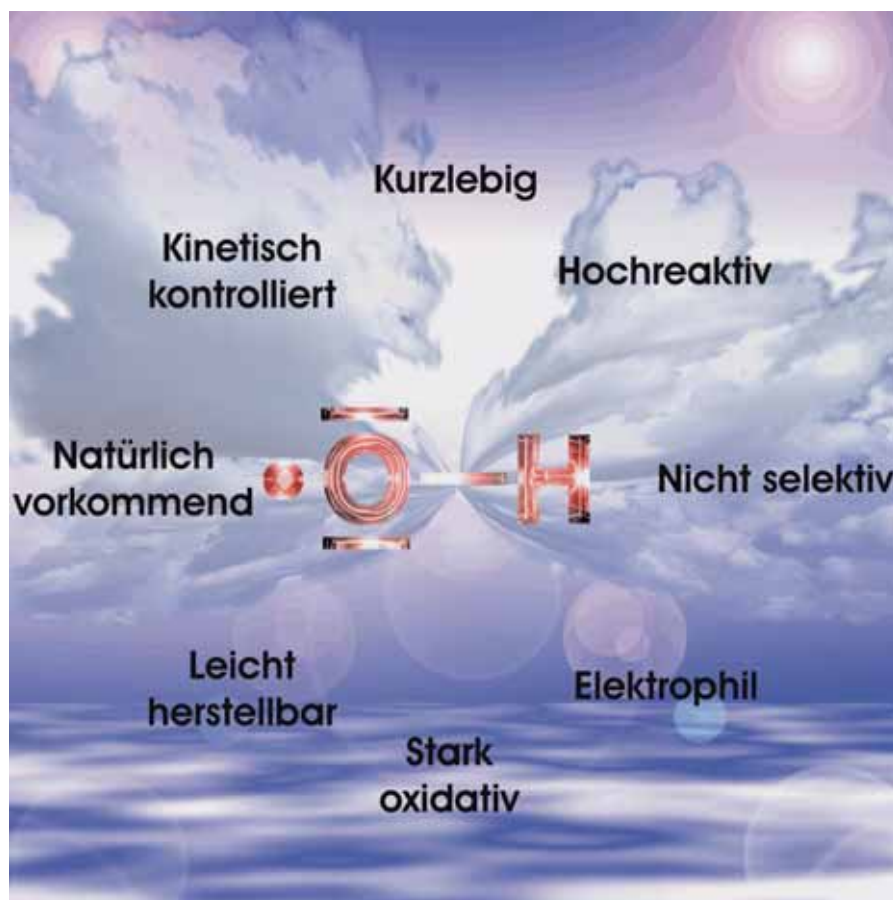
logische Aktivität, sie sind toxisch, sie reichern sich in der Natur an und verbreiten sich weltweit. Auch kann es zu ihrer Bioakkumulation und daher zum Eindringen dieser Stoffe in die Nahrungskette kommen. Diese sogenannten persistenten organischen Schadstoffe (POPs, persistent organic pollutants) werden in der Stockholm Konvention seit 2001 aufgelistet mit dem Ziel, die Produktion dieser Chemikalien einzuschränken beziehungsweise zu beenden.

Multi-Barrieren Wasserbehandlung in Anlehnung an natürliche Prozesse

Es ist daher notwendig, Strategien zur Entgiftung, Reinigung und Verbesserung unserer Wasserqualität zu entwickeln und auch einzusetzen. Erfahrungsgemäss kann jedoch eine einzige alleinstehende Verfahrenstechnik dies nicht leisten, da die angesprochenen Wasserverunreinigungen in ihren Molekülstrukturen und physikalisch-chemischen Eigenschaften zu unterschiedlich sind. Multi-Barrieren Wasserbehandlungssysteme sind in Entwicklung und teilweise schon im Einsatz, um den Eintrag der Mikroverunreinigungen in aquatische Kompartimente zu verhindern oder um eine moderne Trinkwasseraufbereitung zu ermöglichen. Hierbei dient die Natur, wie so oft, als Vorbild: Oberflächengewässer werden durch die Kopplung biologischer, photochemischer und mechanischer Prozesse gereinigt. Dies ist ein natürlich vorkommendes Multi-BarrierenSystem. Die Verstoffwechselung der Chemikalien durch aquatische Mikroorganismen, die oxidative Zersetzung der organischen Wasserverunreinigungen unter Sonneneinstrahlung, sowie Sedimentation und Sandfiltration, liefern letztendlich reines Wasser.

Reaktive Sauerstoffteilchen als Oxidationsmittel

In einem Schlüsselprozess werden durch die Energie des Sonnenlichtes bestimmte



▲ Abbildung 2: Die Eigenschaften des reaktiven Teilchens «Hydroxylradikal».

Wasser- oder Luftbestandteile (zum Beispiel Nitrationen NO_3^- , Nitriten NO_2^- , Ozon O_3) in sogenannte reaktive Sauerstoffteilchen überführt (vgl. Abb. 1). In der Folge oxidieren diese dann die organisch-chemischen Schadstoffe unter Bildung von ungiftigen Abbauprodukten. POPs entziehen sich jedoch diesem natürlichen Reinigungsprozess, da sie in der Natur nur sehr langsam oxidativ abgebaut werden und indem sie sich zum Beispiel als lipophile Chemikalien in Lebewesen anreichern.

Das wohl bedeutendste Molekül unter den reaktiven Sauerstoffspezies ist das Hydroxylradikal ($\bullet\text{OH}$). Es kommt in sehr geringen stationären Konzentrationen in

der Atmosphäre und in Oberflächengewässern vor. Die Eigenschaften des $\bullet\text{OH}$ -Radikals sind in Abbildung 2 zusammenfassend dargestellt. Es handelt sich um eine kurzlebige, nicht selektive und elektronenanziehende (elektrophile) reaktive Sauerstoffspezies. Es wirkt stark oxidativ (jedoch nur selten in Redoxreaktionen!), es ist leicht herstellbar und es unterliegt reaktionskinetischer Kontrolle. Das heisst, dass die Geschwindigkeit der Reaktion des $\bullet\text{OH}$ -Radikals mit dem Wasserinhaltsstoff entscheidend für die Effizienz der Oxidation ist.

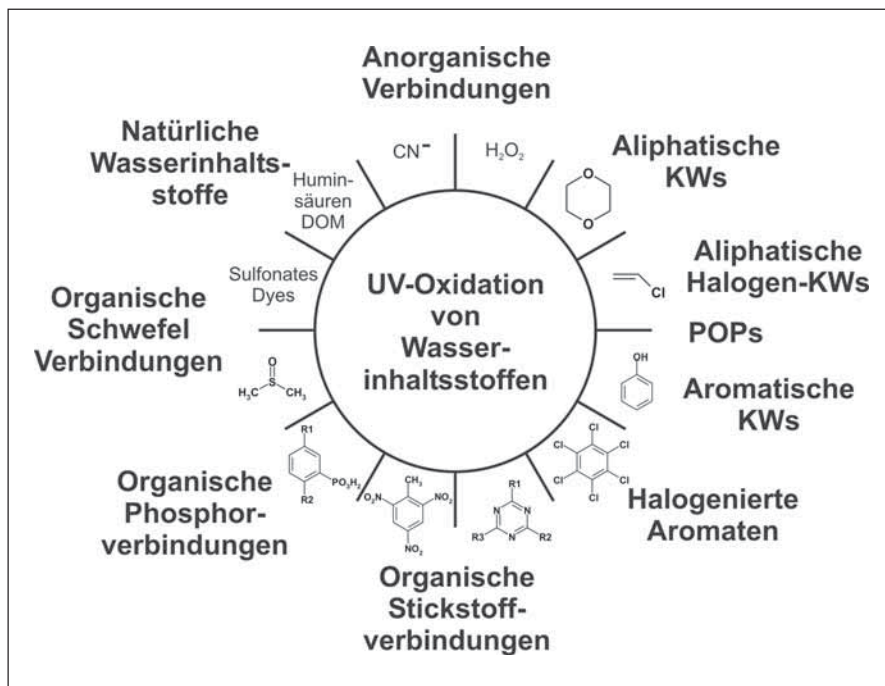
Technische Erzeugung reaktiver Sauerstoffspezies

Für die Herstellung der $\bullet\text{OH}$ -Radikale



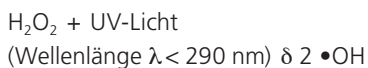
Thomas Oppenländer

Prof. Dr. rer. nat., war von 1985 bis 1991 bei der F. Hoffmann-La Roche AG in Basel in der zentralen Forschung (Bereich Photochemie) tätig. Seither lehrt er an der Hochschule Furtwangen Chemie und Chemische Reaktionstechnik. Er forscht auf dem Gebiet der photochemischen Wasser- und Luftbehandlung und der Anwendung neuer Strahlertechnologien.



▲ Abbildung 3: Beispiele organischer Mikroverunreinigungen im Wasser, die durch UV-Oxidation unschädlich gemacht werden können (KW: Kohlenwasserstoffe, DOM: Dissolved Organic Matter, gelöste organische Substanz aus natürlichen Quellen).

wurden im 20. Jahrhundert verschiedene Verfahren entwickelt, sogenannte Advanced Oxidation Processes (AOPs), also weiterführende Oxidationsprozesse. Eines der bedeutendsten industriellen Verfahren nutzt nach der unten stehenden Gleichung die photochemische Spaltung von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) durch Bestrahlung mit ultraviolett Licht (in der Technik verwendetes Kürzel: UV/ H_2O_2). H_2O_2 muss dem verunreinigten Wasser zugesetzt werden.



Die photochemische Reinigung von Wasser oder Luft nutzt also die Energie des Lichtes zur Erzeugung von Hydroxylradikalen und anderen reaktiven Spezies. Eine grosse Palette organisch-chemischer Wasserverunreinigungen (vgl. Abb. 3) kann mit AOPs unschädlich gemacht werden.

Die Nachhaltigkeit dieser Verfahrenstechnik für die Wasserbehandlung beruht auf

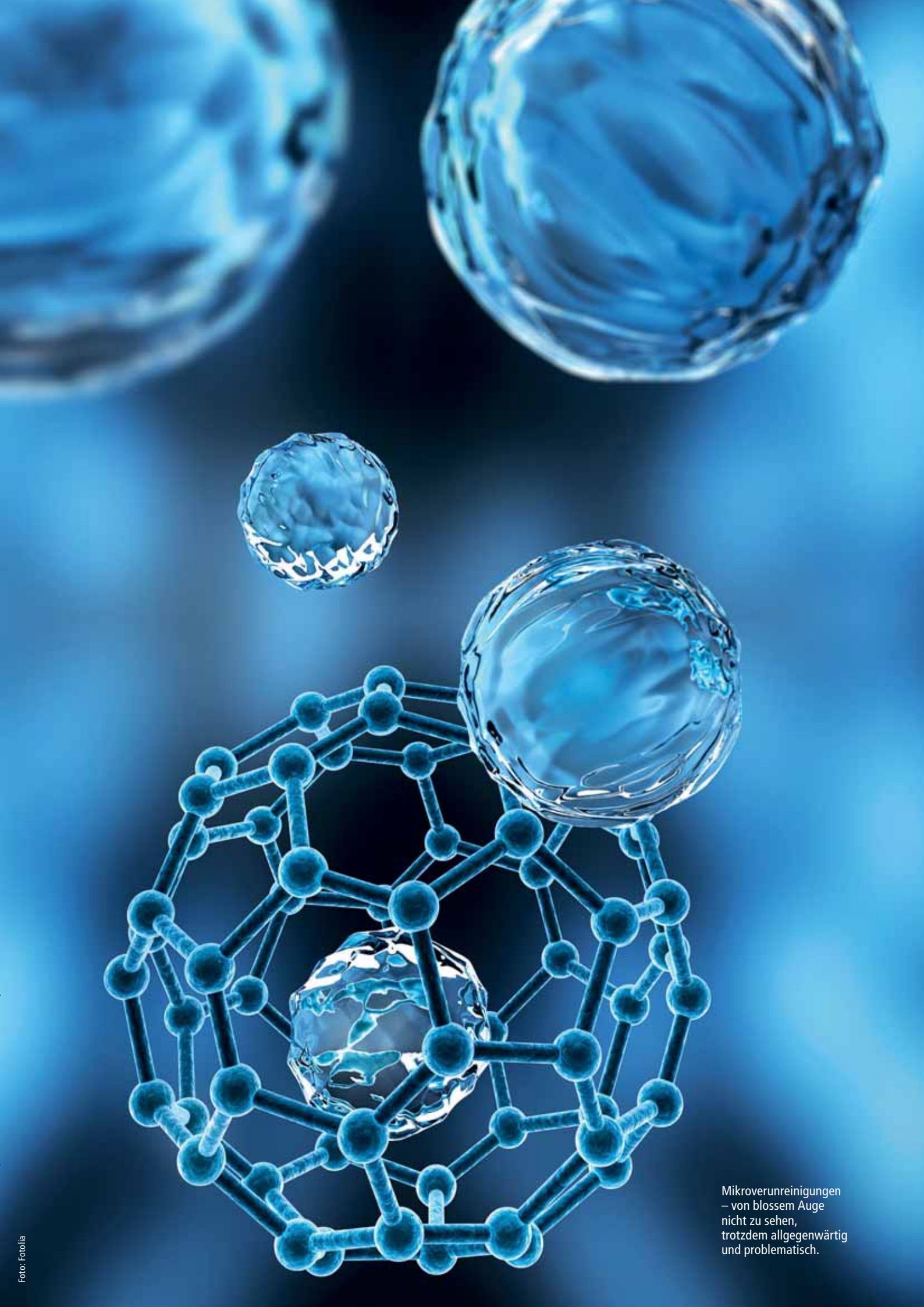
der Verwendung von Licht als umweltfreundliches Reagenz und auf der Tatsache, dass die Mikroverunreinigungen oxidativ zerstört und damit definitiv unschädlich gemacht werden. Wichtige Ziele gegenwärtiger Forschung und Entwicklung sind die Senkung der Betriebskosten der AOPs durch Verfahrensoptimierung und die Verwendung regenerativer Energie zur Erzeugung der Hydroxylradikale. Wenn wir diese Ziele erreichen, dann steht der photochemischen Reinigung und Entgiftung von Wasser als wesentlicher Komponente eines Multi-Barrierensystems eine Renaissance bevor. Mikroverunreinigungen im Trinkwasser gehören dann der Vergangenheit an! ♦

Literatur

- Oppenländer, T., (2003): Photochemical Purification of Water and Air. Advanced Oxidation Processes (AOPs): Principles, Reaction Mechanism, Reactor Concepts. Wiley-VCH, Weinheim.
- Stockholm Convention Clearing House, C., Switzerland, <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/tabid/673/Default.aspx> (letzter Zugriff am 04.08.2017)

Thomas Oppenländer

Hochschule Furtwangen
Campus Villingen-Schwenningen
Fakultät Medical and Life Sciences
Jakob-Kienzle-Strasse 17
78054 Villingen-Schwenningen
0049 (0)7720 307 4223
op@hs-furtwangen.de



Mikroverunreinigungen
– von bloßem Auge
nicht zu sehen,
trotzdem allgegenwärtig
und problematisch.

Was kann jeder einzelne von uns gegen Mikroverunreinigungen tun?

Jeder einzelne von uns verursacht Mikroverunreinigungen, auch wenn wir uns dessen nicht immer bewusst sind. Und jeder einzelne von uns kann mithelfen, die grosse Menge an Mikroverunreinigungen in unseren Gewässern zu verringern:

- Beim bewussten Einkaufen umweltschonender Produkte, welche biologisch produziert (möglichst ohne Pflanzenschutzmittel) und vollständig biologisch abbaubar sind, wählen.
- Im eigenen Garten und beim Reinigen von Vorplätzen, Mauern und Hauswänden möglichst auf Pestizide verzichten.

- Sich vor dem Kauf von Kosmetika, Reinigungs- und Arzneimitteln über deren Produktion und Zusammensetzung informieren. Es gibt meist Alternativprodukte, welche die Gewässer nicht belasten.
- Putzmittel, Waschmittel, Shampoo und ähnliche Produkte generell sparsam verwenden.
- Abgelaufene Medikamente und Reste von Reinigungsmitteln bei der Sammelstelle oder dem Verkäufer fachgerecht entsorgen.

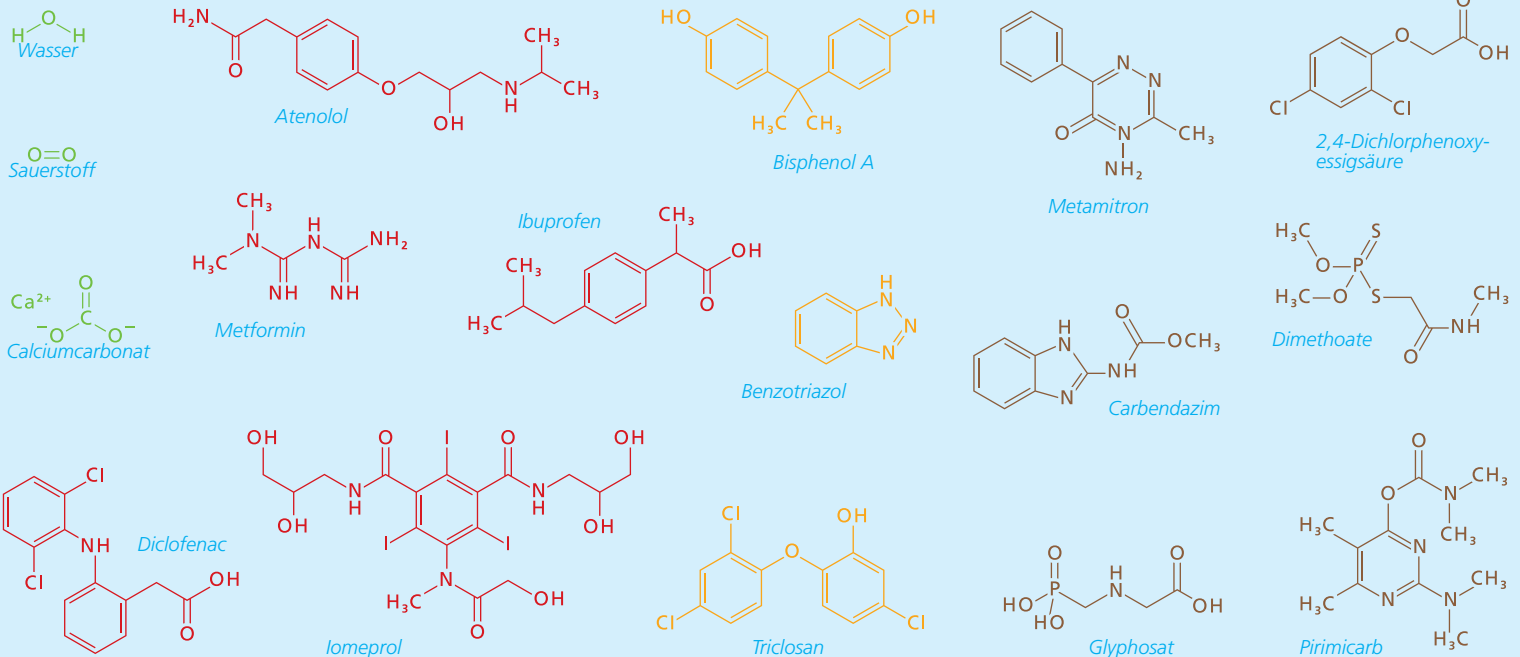
Weitere Informationen zu Giftstoffen in Produkten

↳ www.giftzwerg.ch von Puschi;

Hintergrundinformationen, Merkblätter, Poster und vieles mehr zum Thema Mikroverunreinigung

↳ www.energie-umwelt.ch

Immer mehr Leute informieren sich vor dem Kauf eines Produkts die Umweltfreundlichkeit der Inhaltsstoffe. Die Apps Codecheck und ToxFox geben das Gefahrenpotenzial der einzelnen Stoffe an und schlagen Alternativen vor.



■ Moleküle aus natürlichen Quellen

Mikroverunreinigungen aus: ■ Medikamenten ■ Haushalt/Industrie ■ Landwirtschaft

«Für sauberes Trinkwasser und gesunde Nahrung – Keine Subventionen für den Pestizid- und den prophylaktischen Antibiotika-Einsatz»

Mikroverunreinigungen vom Wasserkreislauf ausschliessen

Mikroverunreinigungen in den Gewässern und im Trinkwasser stammen aus unzähligen Produkten des täglichen Gebrauchs: Medikamente, Pestizide, Reinigungsmittel, Kosmetika und Plastik. Sie gelangen aus den ARAs und via diffuse Einträge aus Quellen wie der Landwirtschaft in die Gewässer. Mikroverunreinigungen, die weder abbaubar noch filterbar sind, müssen abgefangen werden, bevor sie in den Wasserkreislauf gelangen. Gleichzeitig muss die Forschung nach abbaubaren Ersatzstoffen vorangetrieben werden.

Die Initiative verlangt, dass nur noch diejenigen Landwirtschaftsbetriebe mit Direktzahlungen oder Subventionen unterstützt werden, die keine Pestizide einsetzen, die in ihrer Tierhaltung ohne prophylaktischen Antibiotikaeinsatz auskommen und die nur so viele Tiere halten, wie sie ohne Futtermittelimporte ernähren



können. Dadurch werden Wasser und Nahrungsmittel, die frei von Arzneimitteln, antibiotikaresistenten Bakterien, Pestiziden, Nitrat und anderen Giftstoffen sind, wieder zum Standard und für die ganze Bevölkerung erschwinglich. ♦

➡ www.initiative-sauberes-trinkwasser.ch/schadstoffe/ecoimpact/

Die Initiative fordert, dass nur noch Betriebe subventioniert werden, die die Biodiversität erhalten.

Verein Sauberes Wasser für alle

c/o Franziska Herren
Oeleweg 8
4537 Wiedlisbach
032 636 14 16
info@sauberes-wasser-fuer-alle.ch

Der Verein «Sauberes Wasser für alle» hat genügend Unterschriften gesammelt, so dass die Initiative voraussichtlich zur Abstimmung kommen wird. Der VSA und Aqua Viva stimmen dem Ansatz der Initiative grundsätzlich zu. Beide Verbände fordern ebenfalls, Direktzahlungen mit viel strengeren Auflagen zu verknüpfen als dies heute der Fall ist.

Weil der Initiativtext jedoch Schwachstellen aufweist, unterstützt der VSA die Initiative nicht aktiv. Sollte ein Gegenvorschlag ausgearbeitet werden, welcher die Stossrichtung beibehält und die Schwachstellen ausmerzt, sind der VSA und Aqua Viva gerne bereit bei der entsprechenden Formulierung mitzuarbeiten.

Impressum

Herausgeber: Aqua Viva **Redaktion:** Günther Frauenlob, Dipl. Geogr., redaktion@aquaviva.ch, Salome Steiner, Dipl. Biol., salome.steiner@aquaviva.ch **Lektorat:** A. Merkt, H.R. Steiner **Geschäftsstelle von Aqua Viva und Redaktion:** Weinsteig 192, Postfach 1157, CH-8201 Schaffhausen, Tel.: 052 625 26 58, www.aquaviva.ch, Postcheck 82-3003-8 Schaffhausen, Postbank Karlsruhe BLZ 660 100 75, Konto 300 550 758 **Satz:** Diener-Grafics GmbH **Layout:** Diener-Grafics GmbH, Martin Diener, Winterthurerstrasse 58, 8006 Zürich, www.diener-grafics.ch; Konzentrat, Thomas Zulauf, www.konzentrat.ch **Druck und Spedition:** Ropress Genossenschaft, Baslerstrasse 106, 8048 Zürich **Abonnementspreise 2017:** Inland Fr. 50.–, Ausland € 45.–, Einzelheft Fr. 15.– / € 10.–, ISSN 2296-2506, Erscheinungsweise 4–5 x jährlich.

Nachdruck von Beiträgen aus *aqua viva* werden gestattet unter Quellenangabe und Zusand von 2 Belegen. Die veröffentlichten Beiträge geben die Meinung der Autorinnen und Autoren wieder und müssen nicht immer der Auffassung von Aqua Viva entsprechen.

Autoren dieser Ausgabe:

Christian Abegglen
Nadine Czekalski
Rik Eggen
Antonia Eisenhut
Jürg Frommlet
Christian Götz

Heinz Habegger
Stefan Hasler
Thomas Oppenländer
Salome Steiner
Thomas Weibel



www.aquaviva.ch

*«Wir schaffen Lösungen,
die allen dienen.
Es macht Freude,
aus Schmutzwasser
glasklares, von Arzneimitteln
befreites Wasser ins Gewässer
fliessen zu lassen.»*

*Max Schachtler, Geschäftsführer
ARA Neugut, Dübendorf*

