

Spurenstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf

Neue Technologien und geänderte Lebensweisen bringen neue Herausforderungen für die Wasserwirtschaft mit sich: Nicht nur Spurenstoffe in Kläranlagenabläufen, auch Krankheitserreger führen zu steigenden Belastungen des Wasserkreislaufs. Dies gilt besonders für Antibiotikaresistenzen. Welchen Einfluss auf die Wasserressourcen haben gesellschaftliche Veränderungen, der Klimawandel oder wirtschaftliche Entwicklungen? Welche neuen Aufgaben ergeben sich daraus für den Nachweis und die Bewertung von Belastungen, für Technologieentwicklung und Handlungsmaßnahmen sowie für die Kommunikation in der Wasser- und Abwasserwirtschaft? Und wie können neue Erkenntnisse, zum Beispiel aus der BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“ oder Maßnahmen in der Praxis, hierbei von Nutzen sein? Diese Fragen standen im Mittelpunkt der Tagung „Spurenstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf – SUK“ am 23. und 24. September 2018 in Frankfurt a. M. Rund 120 Teilnehmer aus Forschung und Praxis verbrachten zwei Tage damit, sich über diese Fragen auszutauschen, ihren Kenntnisstand zu verbessern und zu diskutieren, wie neue Erkenntnisse sinnvoll in die Praxis umgesetzt werden können.

Spurenstoffstrategie des Bundes

Zwei Jahre nach RiSKWa bestätigt sich, dass die Spurenstoffproblematik nicht allein durch eine 4. Reinigungsstufe zur zielgerichteten Spurenstoffelimination in Kläranlagen gelöst werden kann. Es bedarf einer Gesamtstrategie, die ein Monitoring-Konzept mithilfe von geeigneten Schnelltests zur Spurenstoffmessung und -bewertung genauso einschließt wie Appelle an die Herstellerverantwortung, die Einflussnahme auf das Verbraucherverhalten, einen Orientierungsrahmen für

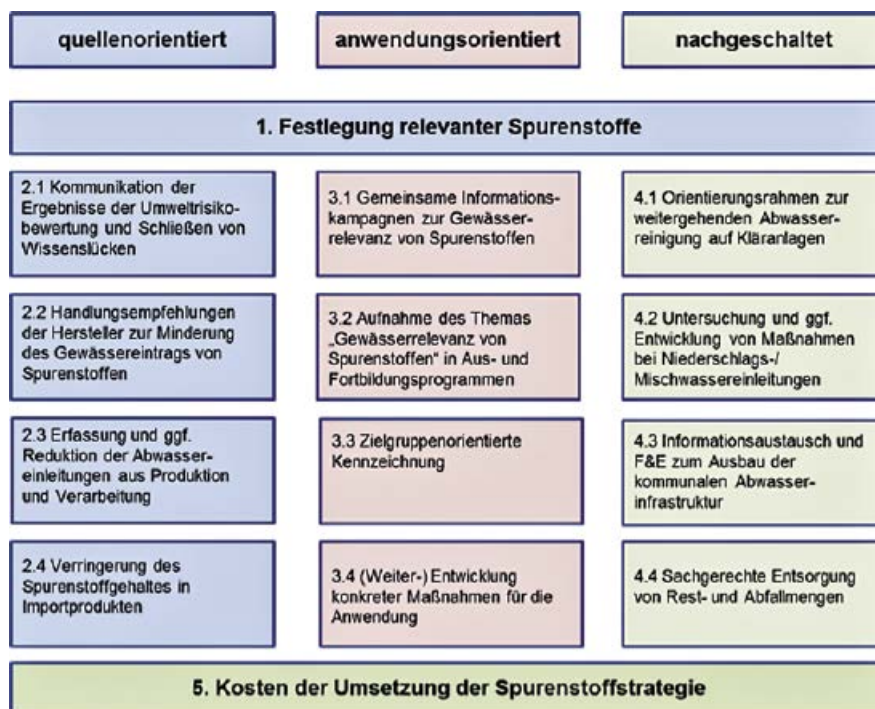


Abb. 1: Überblick über die Themen der Handlungsempfehlungen

die Umsetzung der 4. Reinigungsstufe sowie einfache Finanzierungsmodelle. Dr. Jörg Wagner vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) berichtet in seinem Beitrag über die Spurenstoffstrategie des Bundes und den aktuellen Stand zur Konkretisierung von Maßnahmen. In einem Stakeholder-Dialog wurden 14 Handlungsempfehlungen für die Politik erarbeitet, die in Abbildung 1 zusammenfassend dargestellt sind.

Die Empfehlungen zu Nummer eins und fünf haben übergeordneten Charakter. Die Empfehlungen zu den restlichen Punkten sind nach Minderungsstrategien an der Quelle, in der Anwendung und durch nachgeschaltete Maßnahmen unterteilt.

Das Politikpapier findet sich im Internet unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/spurenstoffstrategie_policy_paper_bf.pdf

Aus den Maßnahmenvorschlägen soll eine Gesamtstrategie zum Umgang mit

der Spurenstoffthematik entwickelt werden. Die Abschlussveranstaltung des Spurenstoffdialogs ist für März 2019 geplant. Neben einem Bündel von Maßnahmen ist auch ein Monitoring-Modell vorgesehen. Ein Wunschergebnis wäre es zudem, dass die beteiligten Stakeholder zustimmen, die ausgehandelten Maßnahmen in eigener Verantwortung umzusetzen. Außerdem soll auf der Abschlussveranstaltung festgelegt werden, wie eine Verstärkung von Monitoring und Maßnahmen erreicht werden kann. Ein Jahr nach der Veranstaltung ist ein Review vorgesehen, um gegebenenfalls nachzusteuern.

Maßnahmenprogramm zur Reduktion von Mikroschadstoffen in Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen gibt es bereits seit 2016 ein Maßnahmenprogramm zur Reduzierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Gewässer. Hierüber berichtete Dr. Demet Antakyalı vom Kompetenzen-

trum Spurenstoffe NRW. Für die meisten Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen ist ein hoher Abwasseranteil typisch. Auch hier betrifft das Maßnahmenprogramm die drei Ebenen Vermeidung und Verminderung an der Quelle bzw. bei der Produktion, Verbraucherverhalten und Entsorgungswege. Die Frage, ob ein Kläranlagenausbau erforderlich ist, wird durch schrittweises Vorgehen geklärt:

1. Belastungssituation klären
2. Machbarkeitsstudie für den Kläranlagenstandort
3. Ausbau der Kläranlage.

Derzeit sind in Nordrhein-Westfalen elf Kläranlagen zur zielgerichteten Spurenstoffelimination ertüchtigt, und für 19 weitere Anlagen sind Ausbaumaßnahmen geplant. Misch- und Niederschlagswassereinleitungen finden bislang noch keine Berücksichtigung als Belastungsquelle, sie sollen aber künftig einbezogen werden.

Anteil an gereinigtem Abwasser in Fließgewässern

Die Belastungssituation eines Gewässers hängt stark von dem Anteil an gereinigtem Abwasser (Klarwasseranteil) an der Gesamtabflussmenge ab. Der Klarwasseranteil steht in direktem Zusammenhang mit der Wasserführung eines Gewässers. Prof. Jörg Drewes von der TU München zeigte, dass das gereinigte Abwasser bei mittleren Abflussbedingungen in den Oberläufen deutschlandweit 0 bis 5 % des Abflusses eines Fließgewässers ausmacht. In größeren Teileinzugsgebieten dominieren Klarwasseranteile von 5 bis 10 %. Bei Niedrigwasserhältnissen dagegen steigt der Klarwasseranteil auf 10 bis 20 % des Abflusses, über weite Strecken sind aber auch 20 bis 30 % messbar (zum Beispiel Elbe/Saale, Weser, Mittelrhein). Einzelne Abschnitte des Mains, der Ems, der Weser und der Havel weisen sogar Anteile von 30 bis 50 % und darüber auf. Bei derartig hohen Klarwasseranteilen ist mit Überschreitungen des GOW (Gesundheitlicher Orientierungswert) zu rechnen. Im Jahr 2018 herrschte das Niedrigwasserregime für viele Gewässer in Deutschland durchgehend von April bis Oktober vor. Wenn durch den Klimawandel solche Trockenperioden häufiger werden, verschärft dies auch die Spurenstoffproblematik in Fließgewässern und wirkt sich gebe-

nenfalls auf die Trinkwassergewinnung durch Uferfiltration aus.

Neuartige Spurenstoffe im Wasserkreislauf

Der Beitrag von Prof. Thomas Ternes (Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz) zeigt, dass die Spurenstoffthematik nicht auf wenige relevante Einzelsubstanzen beschränkt werden kann. Es gelangen immer neue Stoffe und Stoffgruppen in den Wasserkreislauf. Dazu zählen zum Beispiel quartäre Phosphoniumverbindungen (QPV), die als Wittig-Reagenz und bei der Vitamin-A-Synthese eingesetzt werden. Diese organischen Phosphoniumsalze konnten mithilfe der Non-Target-Analytik als neue gewässerrelevante Substanzgruppe identifiziert werden. QPV wurden in erhöhten Konzentrationen in Flüssen gefunden, in die Kläranlagen der chemischen Industrie einleiten, darunter auch kleine Flüsse (Hessisches Ried). In kommunalen Kläranlagen kommen sie nur in Ausnahmefällen vor.

Das Beispiel der QPV unterstreicht die Bedeutung der Non-Target-Analytik als leistungsstarkes Instrument der Gewässerüberwachung, mit deren Hilfe nicht nur das Vorkommen, sondern auch die Eintragsorte bzw. Verursacher der Belastungen ermittelt werden können. Hierdurch ist es möglich, lokal geeignete Maßnahmen zu initiieren.

Bei der Vielzahl der Spurenstoffe und ihrer Transformationsprodukte versagt die Target-Analytik. Stattdessen sind summarische Ansätze und Priorisierungskonzepte erforderlich. Zudem sollten Intermediate chemischer Synthesen ebenfalls in der REACH-Verordnung reguliert werden, da sie gewässer- und auch trinkwasserrelevant sein können.

Non-Target-Screening zur Bewertung von Aufbereitungsprozessen

Das Non-Target-Screening hat nicht nur ein großes Potenzial für das Monitoring von Gewässern, sondern eignet sich auch für die vergleichende Bewertung von Trinkwasseraufbereitungsmethoden und Verfahren der zielgerichteten Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, wie Tobias Bader vom Zweckverband Landeswasserversorgung in Langenau deutlich machte. Wichtig ist es, robuste und harmonisierte Testsysteme zu entwickeln. Die Entwicklung schneller Erstbewertungs-

strategien sollte im Vordergrund stehen und damit auch die toxizitätsbasierte Priorisierung durch eine wirkungsbezogene Analytik. Zur der Identifikation von Einzelstoffen ist jedoch weitere Unterstützung durch In-silico-Methoden und cloud computing notwendig.

Toxikologische Stoffbewertung

In der Humantoxikologie gilt der Gesundheitliche Orientierungswert (GOW) als Leitwert für Stoffe, für die noch keine Erkenntnisse zur toxischen Wirkung aus Tierversuchen vorliegen. Solange fungiert laut Dr. Tamara Grummt vom Umweltbundesamt (UBA) der GOW quasi als Platzhalter im Vorsorgebereich. Für die toxikologischen Endpunkte „gentoxisch“, „neurotoxisch“ und „endokrine Wirkung“ sind rund 10000 Studien berücksichtigt worden. Ein GOW von 0,1 µg/L gilt generell als Vorsorgewert. Er kann aber bei besorgniserregenden Stoffen auch darunter liegen. Stoffe ohne vollständige toxikologische Bewertung werden auf Basis der vorhandenen Daten unter dem Gesichtspunkt der gesundheitlichen Vorsorge bewertet. Abhängig vom Wirkmechanismus wird der Wert in einem Bereich von 0,01 bis 3,0 µg/l festgelegt. Der GOW wird so niedrig angesetzt, dass auch bei lebenslanger Aufnahme der betreffenden Substanz kein Anlass zur gesundheitlichen Besorgnis besteht. Die stufenweise Ableitung des GOW orientiert sich an den Wirkmechanismen der Substanzen und den zur Verfügung stehenden toxikologischen Daten. Die UBA-Liste der nach GOW-Konzept bewerteten Stoffe findet sich unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/liste_der_nach_gow_bewerteten_stoffe_201802.pdf

Bewertung von Stoffmischungen in Kläranlagenabläufen

Die toxikologische Bewertung von Abwasser stellt eine besondere Herausforderung dar. Abwasser ist ein komplexes Stoffgemisch, in dem nicht nur diverse anthropogene Spurenstoffe, sondern auch deren Transformationsprodukte enthalten sind. Bisher gab es nur für Einzelsubstanzen toxikologische Bewertungen. Dr. Anja Coors von der ECT Ökotoxikologie GmbH in Flörsheim berichtet über ein Projekt im Auftrag des UBA, das eine Risikovorhersage für komplexe

Stoffcocktails ermöglicht. Basis für das Konzept zur Vorhersage der Toxizität eines Stoffgemisches bildet die Methode der *Concentration Addition* (CA), mit der der gewichtete Mittelwert der Toxizität einzelner Komponenten einer Mischung bestimmt wird. Voraussetzung hierbei ist der gleiche Wirkmechanismus aller Komponenten.

Dieses Konzept funktioniert natürlich nur für bekannte Stoffgemische und die Toxizitätsbewertung setzt Wissen über die toxikologische Relevanz der Einzelsubstanzen voraus. Die Bewertung ausgewählter Mischungen erfolgt anhand eigener Daten der ECT und auf Basis von Literaturdaten zur Toxizität. Es zeigt sich, dass selbst, wenn die Predicted no-effect concentration (PNEC) der Summe aller Einzelsubstanzen unter 1 liegt, die Measured environmental concentration (MEC) – also die gemessenen Werte der Mischung – darüber liegen können. Für die Bewertung unbekannter Stoffgemische, wie zum Beispiel Abwasser, muss ein Unsicherheitsfaktor definiert werden, der maximal so hoch wie die Summe aller bekannten Einzelsubstanzwerte ist. Mit einem Mixture Assessment Factor (MAF) von 5 deckt man in der Regel das zusätzliche Risiko des Stoffgemisches ab.

Molekularbiologischen Methoden zum Nachweis von Krankheitserregern bei Wasserversorgern

Neben Spurenstoffen spielen auch mikrobiologische Belastungen im Wasserkreislauf eine Rolle. Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation werden in Europa jährlich etwa 330 000 Fälle von Wassererkrankungen bedingt durch *E. coli* und das Norovirus gemeldet. Zwischen 2000 und 2007 kam es in 14 Ländern zu 354 Ausbrüchen von durch Wasser übertragenen Krankheiten. Zu den Symptomen gehören Durchfall, Erbrechen, Bauchschmerzen, Übelkeit, Kopfschmerzen und Fieber.

Dr. Beate Hamsch vom DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) berichtete in ihrem Beitrag über ein EU-finanziertes Forschungsprojekt, das bereits 2013 für eine Laufzeit von fünf Jahren mit der Absicht startete, die Sicherheit des europäischen Trinkwassers zu verbessern. Inhalt des Verbundvorhabens Aquavalens ist es, schnellere Methoden zur Erkennung von Viren, Bakterien und Parasiten im Wasser zu entwickeln und anzuwenden. Das Ziel besteht darin, die

KW Korrespondenz Wasserwirtschaft

Organ der DWA –

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

Herausgeber und Verlag:

GFA

Theodor-Heuss-Allee 17, D-53773 Hennef

Postfach 11 65, D-53758 Hennef

Telefon +49 2242 872-0, Telefax +49 2242 872-151

Internet: www.gfa-kw.de

Redaktionsbeirat:

1. Prof. Dr. Uli Paetzel, DWA-Präsident
2. Prof. Dr.-Ing. Norbert Dichtl, DWA-HA „Kreislaufwirtschaft, Energie und Klärschlamm“
3. Prof. Dr.-Ing. Markus Disse, Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften in der DWA
4. Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich, DWA-HA „Wasserbau und Wasserkraft“
5. Rechtsanwalt Stefan Kopp-Assenmacher, DWA-HA „Recht“
6. Bauass. Dipl.-Ing. Werner Kristeller, DWA-HA „Kommunale Abwasserbehandlung“
7. Bauass. Dipl.-Ing. Johannes Lohaus, Sprecher der DWA-Bundesgeschäftsführung
8. Prof. Dr.-Ing. Hubertus Milke, DWA-Vorstand
9. Dr.-Ing. habil. Uwe Müller, DWA-HA „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“
10. Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Patt, DWA-HA „Gewässer und Boden“
11. Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp, DWA-HA „Entwässerungssysteme“
12. Dr. Andrea Poppe, DWA-HA „Industrieabwasser und anlagenbezogener Gewässerschutz“
13. StadtDir Dipl.-Ing. Robert Schmidt, DWA-HA „Bildung und Internationale Zusammenarbeit“
14. Rolf Usadel, GFA-Geschäftsführer
15. Georg Wulf, DWA-HA „Wirtschaft“

Redaktion:

Dipl.-Volksw. Stefan Bröker (v. i. S. d. P.), Tel. +49 2242 872-105,

E-Mail: broeker@dwa.de

Dr. Frank Bringewski (ChR), Tel. +49 2242 872-190,

E-Mail: bringewski@dwa.de

Anzeigen:

Christian Lange, Tel. +49 2242 872-129, E-Mail: anzeigen@dwa.de

Monika Kramer, Tel. +49 2242 872-130

Sekretariat:

Annette Wollny, Tel. +49 2242 872-138

E-Mail: wollny@dwa.de

Erscheinungsweise: monatlich

Anzeigenpreise: Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 6 vom 01. Januar 2019

Satz, Druck, Bindung: Bonner Universitäts-Buchdruckerei, Justus-von-Liebig-Straße 6, D-53121 Bonn

Bezugspreis: Der Verkaufspreis ist durch den DWA-Mitgliedsbeitrag abgegolten. DWA-Mitglieder, die Mehrexemplare der KW erwerben möchten oder die sich für die Zeitschrift *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* als kostenlose Mitgliederzeitschrift entschieden haben, können die KW zusätzlich für 68,00 Euro zzgl. Versandkosten bestellen.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen dürfen nur einzelne Vervielfältigungsstücke für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch hergestellt werden. Die Weitergabe von Vervielfältigungen, gleichgültig zu welchem Zweck sie hergestellt werden, ist eine Urheberrechtsverletzung. – Der Inhalt dieses Heftes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung. Insbesondere unterliegen die Angaben in Industrie- und Produktberichten nicht der Verantwortung der Redaktion.

Richtlinien zur Abfassung von Manuskripten können beim Redaktionssekretariat angefordert werden.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit Recyclingfasern.

© GFA

D-53773 Hennef

ISSN 1865-9926



Erreger zu detektieren, bevor sie Erkrankungen auslösen können. Wissenschaftler, Ingenieure, politische Entscheidungsträger und Praktiker des öffentlichen Gesundheitswesens aus 39 Organisationen in 13 Ländern sind an dem Verbundprojekt beteiligt (www.aquavalens.org).

In vier großen Wasserversorgungssystemen, die Trinkwasser aus Grundwasser gewinnen, wurden PCR-Methoden und Kulturverfahren angewendet sowie das Online-Nachweissystem BactControl getestet. Sowohl im Rohwasser, im ersten Aufbereitungsschritt als auch punktuell im Leitungsnetz konnten niedrige Bakterien- und Viren-Konzentrationen nachgewiesen werden. Im Vergleich zu konventionellen Kulturverfahren lieferte BactControl glaubwürdige Ergebnisse in wesentlich kürzerer Zeit.

Schnellmesstechnik für antibiotikaresistente Keime

Um die Gefährdung durch antibiotikaresistente Bakterien im Wasserkreislauf einschätzen zu können, ist es entscheidend zu wissen, ob das Resistenzgen-tragende Bakterium pathogene Eigenschaften hat oder nicht. Dr. *Michael Seidel* von der TU München stellte in seinem Vortrag Forschungsarbeiten zu antikörperbasierten und molekularbiologischen Testprinzipien vor, mit denen pathogene und nicht-pathogene Erreger unterschieden werden können. Weitere Herausforderungen bestehen darin, lebende und tote Pathogene zu unterscheiden sowie die geringen Bakterienzahlen in großen Flüssigkeitsvolumina mit einem Schnelltest zu detektieren. Durch die Kombination von Aufkonzentrierungsmethoden und quantitativer Multiplexanalyse ist es gelungen, kostengünstige, feldtaugliche Schnellmesssysteme, die sich für das Wassermonitoring eignen, zu entwickeln. Durch die Vernetzung der Daten und mithilfe einer intelligenten Datenbewertung sind schnelle Gefährdungsanalysen möglich.

Antibiotikaresistenzen im Wasserkreislauf

Von der Erkennung eines mikrobiologischen Risikos bis zur Risikoregulierung vergehen in der Regel 20–30 Jahre, erläuterte Prof. *Martin Exner* vom Universitätsklinikum in Bonn. Im RiSKWa-Statuspapier „Bewertungskonzepte zur Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue

Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen“ werden Konzepte zur Bewertung des mikrobiologischen Risikos im Wasserkreislauf aufgezeigt (http://riskwa.de/RiSKWa+Praxishandbuch/_/RISKWA_Praxishandbuch.pdf).

Es gibt Hinweise darauf, dass einige klinisch relevante Antibiotikaresistenzgene von Bakterienspezies aus der Umwelt stammen. Aus diesem Grund sind Maßnahmen erforderlich, um die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen zu minimieren.

Zu den priorisierten klinisch relevanten antibiotikaresistenten Bakterienspezies gehören ESBL (= Extended-Spectrum Beta-Lactamasen)-bildende Enterobacteriaceae, Vertreter der Nonfermenter (nicht fermentierende aerobe Bakterien, nicht zur Gärung befähigt) und Vertreter Gram-positiver abwasserrelevanter Erreger.

Klinikabwasser ist deutlich höher mit multiresistenten Bakterien belastet als Kommunalabwasser und stellt eine potenzielle Eintragsquelle hochresistenter Bakterien in die aquatische Umwelt dar. Es besteht daher dringender Handlungsbedarf in Krankenhäusern, um die Verbreitung antibiotikaresistenter Bakterien zu verhindern. Bauliche Maßnahmen und funktionelle Änderungen sind laut Prof. Exner in den meisten Krankenhäusern unumgänglich. Neben eigenen Abwasseranlagen zählen dazu bei bestimmten Kliniken auch Trockentoiletten.

Ein konsequentes Gewässermonitoring soll helfen, systematische Belastungsquellen zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Keimzahlen und Resistenzen nach konventioneller Behandlung und Ozonung

Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes der RWTH Aachen und des Wasserverbandes Eifel-Rur erfolgten Untersuchungen zur Keimreduzierung in der Demonstrationsanlage zur Ozonung der Kläranlage Aachen-Soers. Das Demonstrationsvorhaben wird vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Naturschutz und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert.

Kristina Kirchner von der RWTH Aachen berichtete, dass bereits die konventionelle Abwasserreinigung in der Kläranlage Aachen-Soers zu einer signifikanten Reduktion von *E. coli* und von Ente-

rokokken zwischen dem Zu- und Ablauf der Anlage von bis zu 99,9 % führte. Die untersuchten *E. coli* wiesen Antibiotikaresistenzen gegen Ampicillin und Sulfamethoxazol und Trimethoprim auf. Bei den Enterokokken war eine Resistenz gegen Gentamycin detektierbar.

Durch den nachfolgenden Ozonungsschritt konnte eine weitere Reduktion von *E. coli* um 2 log-Stufen und der Enterokokken um 3,5 log-Stufen erreicht werden. Die Enterokokken zeigten dabei eine höhere Sensitivität gegenüber Ozon als *E. coli*. Der Reduktionseffekt hängt von der eingesetzten Ozondosis ab. Weitere Untersuchungen werden derzeit in einer großtechnischen Ozonungsanlage durchgeführt.

Vierte Reinigungsstufe auf Kläranlagen

Zwei Jahre nach RiSKWa liegen aus dem RiSKWa-Projekt *SchussenAktivPlus* neue Erkenntnisse vor. Das Verbundprojekt ist unter der Leitung von Prof. *Rita Triebkorn* von der Universität Tübingen mit dem Ziel weitergeführt worden, die Effizienz von Reinigungstechniken auf Kläranlagen zur Reduktion von Spurenstoffen, Bakterien und Resistenzen zu bewerten. Die beste Entnahme von Spurenstoffen wurde mit der Ozonbehandlung und anschließender GAK-Filtration erreicht. Das biologische Wirkpotenzial konnte um mehr als 80 % gesenkt werden. Bei den Indikatorkeimen erwies sich eine Kombination von Ozonungsanlage und Langsandsfilter als effektivste Lösung. Es konnte eine Keimreduktion um mehr als 3 log-Stufen erreicht werden.

Im Hinblick auf die antibiotikaresistenten Bakterien (ARB) war zwar durch die zusätzlichen Reinigungsstufen eine Reduktion der absoluten Zahl um eine log-Stufe zu beobachten, der prozentuale Anteil an den „Überlebenden“ stieg jedoch im Vergleich zur konventionellen Reinigung an.

Die Frage nach der richtigen Verfahrenskombination für die 4. Reinigungsstufe von Kläranlagen muss für jeden Einzelfall beantwortet werden. Im Fall von Badegewässern liegt der Fokus eher auf der Keimreduktion, während in Naturschutzgebieten der Schwerpunkt vielleicht mehr auf der aquatischen Gesundheit und damit auf der Spurenstoffelimination liegt.

Auch der Beitrag von *Sven Lyko* (Emshergenossenschaft/Lippeverband, Es-

sen) widmete sich der Frage, wie weitergehende Abwasserreinigungsverfahren zur Reduktion von Infektionserregern und Antibiotikaresistenzen im Kläranlagenablauf beitragen können. Kläranlagen bilden ein wichtiges Element bei der Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Umwelt. Sofern es eine 4. Reinigungsstufe gibt, ist diese in aller Regel auf die Spurenstoffelimination ausgelegt, nicht jedoch auf die Entfernung von Bakterien und Antibiotikaresistenzen, deren Reduktion meist nur einen Nebeneffekt bildet. Angesichts der drängenden Problematik der Antibiotikaresistenzen stellt sich die Frage, ob es nicht umgekehrt sein müsste. In jedem Fall sind noch zusätzliche Daten zu Eintragungspfaden und Verbreitungswegen mikrobiologischer Belastungen erforderlich sowie ein standardisiertes Bewertungsverfahren.

Technologien und Verfahren

Verglichen mit oxidativen und adsorptiven Verfahren stellen Hybridverfahren mit Membrantechnik eine nachhaltige Lösung bei der Mikroschadstoffelimination aus Abwasser dar, da auch ein effizienter Rückhalt antibiotikaresistenter Bakterien möglich ist. Dies stellte *Werner Rupprich* von der Deutschen Gesellschaft für Membrantechnik e. V. (DGMT) in Essen vor. In Kombination mit Aktivkohle gewährleistet die Membrantechnik zudem eine sichere Abtrennung von Aktivkohle und bildet somit eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Alternative zu den etablierten Verfahren. Membrantechnik kann je nach den Gegebenheiten vor Ort flexibel eingesetzt werden und ist auch zur Nachrüstung bestehender Anlagen geeignet.

Eine Studie im Klärwerk Mannheim zum Einfluss von Regenwetterbedingungen auf die Leistungsfähigkeit von GAK-Filtern wurde im Beitrag von *Johanna Neef*, Universität Stuttgart, vorgestellt. Es zeigte sich, dass die Verdünnung des zu reinigenden Abwassers durch Niederschlag keinen Einfluss auf die Spurenstoffentnahme mit Aktivkohlefiltration hat. Die Eliminationsleistung war mit der unter Trockenwetterbedingungen vergleichbar. Außerdem wurde aus Untersuchungen zur optimierten Betriebsweise von GAK-Filtern deutlich, dass nach Erreichen eines konstanten SAK_{254} -Rückgangs die Filtergeschwindigkeit Einfluss

auf die Spurenstoffentnahme nimmt. Durch Verringerung der Filtergeschwindigkeit verbessert sich die Spurenstoffelimination, während sie sich bei Erhöhung der Filtergeschwindigkeit verschlechtert. Zwischen dem SAK_{254} -Rückgang und der mittleren Spurenstoffentnahme lässt sich ein Zusammenhang erkennen, anhand dessen die Spurenstoffentnahme abgeschätzt werden kann.

Michael Stapf vom Kompetenzzentrum Wasser Berlin stellte seine Ergebnisse zu den Einflussparametern auf das Verfahren der Ozonung vor. Hohe Werte an partikulären Feststoffen (AFS) im zu behandelnden Abwasser beeinflussen den Ozonungsprozess nachteilig. Die Ozonzehrung bzw. -exposition, also die Dauer, in der das Abwasser dem Ozon ausgesetzt ist, verkürzt sich mit niedriger werdenden pH-Werten und geringeren Temperaturen. Die Laborversuche zur Ozonung wurden mit Proben von 18 verschiedenen Kläranlagen durchgeführt. Die Ergebnisse können mithilfe eines Online-Tools zur Einordnung eigener Daten genutzt werden.

Ein Verfahren zur Entfernung von Spurenstoffen und schwer abbaubaren Substanzen aus Industrieabwasser ist der Advanced Oxidation Process (AOP). Dabei werden hochreaktive Verbindungen gebildet, wie zum Beispiel Hydroxyl-Radikale. Sie bewirken die Eliminierung von Spurenstoffen und sorgen gleichzeitig für eine Entkeimung.

Man unterscheidet verschiedene Oxidationsprozesse und -reagenzien mit ihren nachfolgend genannten Vor- und Nachteilen, die von *Oliver Brandenburg* von der *EnviroChemie* GmbH vorgestellt wurden.

1. *Fenton's* Reagenz (Eisen-II + H_2O_2): Vorteile sind die einfache Behandlungstechnologie (Durchlaufbehandlung bevorzugt, Durchsatz bis $20\text{ m}^3/\text{h}$) und mittleren Investitionskosten. Nachteilig sind der hohe Schlammfall, der Chemikalienverbrauch, die Neigung zur Schaumbildung und die hohen Betriebskosten.
2. UV + H_2O_2 : Die bevorzugte Verfahrenstechnik ist die Chargenbehandlung. Durch Nachrüstung von UV-Strahlern ist eine modulare, einfache Erweiterung der Behandlungskapazität, angepasst an eine sich ändernde Abwassermatrix,

möglich. Es sind geringe Ablaufwerte erreichbar, und es fällt kein Schlamm an. Von Nachteil sind jedoch die hohen Investitionskosten.

3. Ozon:

Die Ozonung ist sowohl im Chargen- als auch im Durchlaufbetrieb machbar. Es ist kein Chemikalieneinsatz nötig, und es fällt kein Schlamm an. Auch hier sind geringe Ablaufwerte möglich, aber die Bildung unerwünschter Nebenprodukte muss beachtet werden. Nachteilig sind außerdem die hohen Investitionskosten.

Vermeidung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln

Ein positives Beispiel zur Vermeidung an der Quelle an Stelle einer End-of-pipe-Lösung wurde von *Verena Thöne* vom IWW Zentrum Wasser in Mülheim an der Ruhr vorgestellt. Bei Röntgenkontrastmitteln versagt häufig die 4. Reinigungsstufe auf Kläranlagen. Beispielsweise werden mit einer Kombination aus Aktivkohlefiltration und Ozonung nur 30 bis 40%ige Eliminationsraten erreicht. In einem erfolgreichen Pilotvorhaben in Mülheim konnte der Eintrag der Röntgenkontrastmittel dadurch vermieden werden, dass nach einer Röntgenuntersuchung Urinbags an die Patienten verteilt wurden, um die ersten vier Toilettengänge aufzufangen und unschädlich zu entsorgen. Bis zu 87 % der teilnehmenden Patienten haben die Urinbeutel genutzt. Dank guter Anleitung, Unterstützung der Praxen bei der Organisation und erfolgreicher Kommunikationsmaßnahmen ist das Sammelungskonzept mit vertretbarem Aufwand für die medizinischen Partner umsetzbar. Die Konzentration einzelner Röntgenkontrastmittel im Abwasser konnte deutlich reduziert werden.

Für den Einsatz von Urinbeuteln fallen pro Röntgenuntersuchung Zusatzkosten in Höhe von 5 € an. Bezogen auf die Gesamtkosten der Untersuchung sind dies durchschnittlich weniger als 10 % zusätzliche Kosten. Das ist volkswirtschaftlich vertretbar und deutlich günstiger, als ergänzende Reinigungs- und Aufbereitungstechniken für Abwasser bzw. Trinkwasser vorzusehen.

Sabine Thaler,
E-Mail: thaler@dwa.de 