

BMBF-Fördermaßnahme

NaWaM



RiSKWa

Risikomanagement von neuen
Schadstoffen und
Krankheitserregern im
Wasserkreislauf

Praxishandbuch



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 4 |
| 2 | Vorkommen von Spurenstoffen, Krankheitserregern und Antibiotikaresistenzen im Wasserkreislauf | 8 |
| | Kernbotschaften | 8 |
| | 2.1 Chemische Belastungen | 8 |
| | 2.2 Mikrobiologische Belastungen | 19 |
| | 2.3 Literatur | 23 |
| 3 | Risikocharakterisierung und Risikobewertung: Trinkwasser, Abwasser, Grund- und Oberflächenwasser | 24 |
| | Kernbotschaften | 24 |
| | 3.1 Toxikologische und ökotoxikologische Bewertung | 26 |
| | 3.2 Mikrobiologische Bewertung | 33 |
| | 3.3 Mobilität und Persistenz | 36 |
| | 3.4 Literatur | 38 |
| 4 | Technologien zur Minderung von organischen Spurenstoffen und Krankheitserregern in der aquatischen Umwelt | 39 |
| | Kernbotschaften | 39 |
| | 4.1 Einleitung | 40 |
| | 4.2 Technologien zur Elimination von organischen Spurenstoffen und Krankheitserregern | 41 |
| | 4.3 Technologien zur Gewinnung und Aufbereitung von Trinkwasser | 46 |
| | 4.4 Anwendung der Technologien zur Emissionsminderung bei der Abwasserreinigung | 49 |
| | 4.5 Fazit | 52 |
| | 4.6 Literatur | 53 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | Managementkonzepte zum Umgang mit Spurenstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf | 54 |
| | Kernbotschaften | 54 |
| | 5.1 Einleitung | 55 |
| | 5.2 Entwicklung von Managementkonzepten im Rahmen von RiSKWa und deren Umsetzung | 58 |
| | 5.3 Entwicklung von Maßnahmen zur Vermeidung/Minderung von Risiken | 62 |
| | 5.4 Literatur | 66 |
| 6 | Kommunikation und Bildungsmaßnahmen | 67 |
| | Kernbotschaften | 67 |
| | 6.1 Einleitung | 67 |
| | 6.2 Öffentlichkeitsarbeit | 69 |
| | 6.3 Risikokommunikation/Risikowahrnehmung | 73 |
| | 6.4 Krisenkommunikation | 76 |
| | 6.5 Konsultationen | 79 |
| | 6.6 Bildungsmaßnahmen | 80 |
| | 6.7 Literatur | 83 |
| | Anhang | 84 |
| | Kapitelautoren | 84 |
| | Impressum | 87 |

1 Einleitung



Trinkwasser muss sauber sein – genauso wie die Flüsse, die Seen und das Grundwasser, aus denen es stammt. Damit das auch in Zukunft so bleibt, gehen Wasserversorger und Abwasserentsorger mit all diesen Quellen vorausschauend um. Sie nutzen neueste technische Entwicklungen, um Gefahren möglichst frühzeitig zu erkennen, zu bewerten, zu eliminieren und ihren Folgen zu begegnen. Die größte Herausforderung ist dabei die Vielfalt der Schadstoffe und Krankheitserreger, sowohl im Hinblick auf die Bewertung als auch die Elimination. Aber auch jeder einzelne Bürger kann und muss etwas tun. Denn durch unsere moderne, sich rasch wandelnde Welt kommen immer wieder neue Störfaktoren auch aus den Haushalten hinzu: Rückstände neuer Arzneimittel, winzige Spuren von Schadstoffen oder sich neu ausbreitende Krankheitserreger.

Bei den chemischen Substanzen stellen mittlerweile die Dinge des täglichen Lebens ein Problem dar: z. B. Shampoos und Duftstoffe, Medikamente, Hormone, Sonnenschutzmittel, Waschmittel, aber auch Biozide und Flammschutzmittel aus damit ausgerüsteten Textilien. All diese, in der Natur nicht natürlicherweise vorkommenden, sondern von Menschen entwickelten und in der Umwelt in kleinen Mengen wiedergefundenen Stoffe werden als „Anthropogene Spurenstoffe“ bezeichnet. Sie werden heutzutage im Wasser in geringsten Konzentrationen nachgewiesen. Manche werden in der Natur nicht abgebaut und reichern sich in der Nahrungskette an. Ihre Wirkungen auf Gesundheit und Umwelt zu beurteilen, ist eine wichtige Aufgabe für die Zukunft. Durch Klimawandel und demografische Entwicklung verändert sich außerdem bei den Krankheitserregern das Risikopotential, denn einige werden in der Kläranlage nicht abgetötet. Auch die Bedeutung von Antibiotika-Resistenzen steigt.

Diese Fragestellungen wurden in der BMBF-Fördermaßnahme „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf (RiSKWa)“ untersucht: Fünf Jahre lang arbeiteten Forscher aus Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und Praxis eng zusammen und erarbeiteten im Dialog mit allen relevanten Akteuren aus Wasserwirtschaft, Gesundheitswesen und Öffentlichkeit die hier vorgestellten Ergebnisse. Sie entwickelten neue Ansätze für Bewertung, Technologie und Management und erprobten diese unter realen Bedingungen. Interessante Neuerungen liefert RiSKWa beispielsweise im Themenbereich „Spurenstoffe“: Hier erweiterten Projekte den bislang sehr schwierigen Nachweis unbekannter Stoffe. Andere erhoben Daten zur Wirkung der vierten Reinigungsstufe von Kläranlagen und erleichtern damit die

Diskussion, ob und wo diese zukünftig eingeführt werden soll. Zum Schutz vor Krankheitserregern wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem diese besonders einfach nachgewiesen und bewertet werden können. Auch Kommunikation und Bildungsmaßnahmen waren zentrale Elemente von RiSKWa.

Im Gesamtergebnis liefert die Fördermaßnahme neue Erkenntnisse und Fortschritte in den Bereichen „Risikoerkennung“, „Risikomanagement“ und „Risikokommunikation“. Die Quintessenz für die wasserwirtschaftliche Praxis bietet nun das vorliegende Handbuch. Für einen zukunftssicheren Umgang mit unserer wertvollen Ressource „Wasser“ empfiehlt es optional verschiedene Maßnahmen, mit denen der Eintrag von Schadstoffen und Krankheitserregern in Gewässer vermieden und vermindert werden kann. Anschauliche Fallbeispiele illustrieren einen vorsorgenden Gewässerschutz.

Das Praxishandbuch richtet sich an alle Akteure in der Wasser- und Abwasserwirtschaft, an Kommunen und Behörden. Im Aufbau folgt es den verschiedenen Phasen des Risikomanagements. Jedem Kapitel sind die entscheidenden RiSKWa-Kernbotschaften an die Praxis vorangestellt. Ihnen folgen die zentralen Ergebnisse der zwölf Verbundprojekte. Dem Nutzer des Praxishandbuchs ermöglicht dieser Aufbau eine schnelle Übersicht über die Lösungen, die RiSKWa für die Praxis bietet.

Interessierte Anwender dürfen gerne auch die RiSKWa-Fachleute kontaktieren: Eine Liste der Koordinatoren der Verbundprojekte bietet Tabelle 1.1. Im Dialog ergeben sich mit Sicherheit noch weitere neue Erkenntnisse – schließlich haben alle Verbundprojekte umfangreiche Erkenntnisse und Erfahrungen, die weit über den Rahmen dieses Praxishandbuchs hinausgehen.

Tab. 1.1: Übersicht der Verbundprojekte nach Themenschwerpunkten

| Name des Verbundprojektes | Projektkoordinator |
|---|--|
| Urbaner Raum | |
| ASKURIS: Anthropogene Spurenstoffe und Krankheitserreger im urbanen Wasserkreislauf; Bewertung, Barrieren und Risikokommunikation | Prof. Dr. Martin Jekel TU Berlin E-Mail: martin.jekel@tu-berlin.de |
| SAUBER+: Innovative Konzepte und Technologien für die separate Behandlung von Abwasser aus Einrichtungen des Gesundheitswesens | Prof. Dr. Johannes Pinnekamp RWTH Aachen E-Mail: sekretariat@isa.rwth-aachen.de |
| ANTI-Resist: Untersuchung zu Einträgen von Antibiotika und der Bildung von Antibiotikaresistenz im urbanen Abwasser sowie Entwicklung geeigneter Strategien, Monitoring- und Frühwarnsysteme am Beispiel Dresden | Prof. Dr. Joachim Fauler TU Dresden E-Mail: joachim.fauler@tu-dresden.de |
| Ländlicher Raum | |
| AGRO: Risikomanagement von Spurenstoffen und Krankheitserregern in ländlichen Karst-einzugsgebieten | PD. Dr. Tobias Licha Georg-August-Universität, Göttingen E-Mail: tlich@gwdg.de |
| Risk AGuA: Risiken durch Abwässer aus der intensiven Tierhaltung für Grund- und Oberflächenwasser in Agrarräumen | Prof. Dr. Wolfgang Dott RWTH Aachen E-Mail: wolfgang.dott@post.rwth-aachen.de |
| Einzugsgebiete | |
| TransRisk: Charakterisierung, Kommunikation und Minimierung von Risiken durch neue Schadstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf | Prof. Dr. Thomas Ternes Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz E-Mail: ternes@bafg.de |
| RISK-IDENT: Bewertung bislang nicht identifizierter anthropogener Spurenstoffe sowie Entwicklung von Handlungsstrategien zum Risikomanagement im aquatischen System | Dr. Marion Letzel Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Wielenbach E-Mail: marion.letzel@lfu.bayern.de |

| Name des Verbundprojektes | Projektkoordinator |
|--|--|
| Einzugsgebiete | |
| Sichere Ruhr: Badegewässer und Trinkwasser für das Ruhrgebiet | Dr.-Ing. Wolf Merkel IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung GmbH, Mülheim an der Ruhr E-Mail: w.merkel@iww-online.de |
| SchussenAktivplus: Reduktion von Mikroverunreinigungen und Keimen durch weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen und Mischwasser aus Regenüberlaufbecken verschiedener Größe zur weiteren Verbesserung der Gewässerqualität des Bodensee-Zuflusses Schussen | Prof. Dr. Rita Triebskorn Eberhard-Karls-Universität, Tübingen E-Mail: rita.triebaskorn@uni-tuebingen.de |
| Trinkwasserversorgung | |
| PRiMaT: Präventives Risikomanagement in der Trinkwasserversorgung | Dr. Frank Sacher TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe E-Mail: frank.sacher@tzw.de |
| RiMaTH: Risikomanagement in der Trinkwasser-Hausinstallation – Schnelldiagnostikmethoden für bakterielle Kontaminationen und Begleitung von Sanierung | Dr. Wolfgang Fritzsche Institut für Photonische Technologien e.V., Jena E-Mail: fritzsche@ipht-jena.de |
| TOX-BOX: Gefährdungsbasiertes Risikomanagement für anthropogene Spurenstoffe zur Sicherung der Trinkwasserversorgung | Dr. Tamara Grummt Umweltbundesamt, Bad Elster E-Mail: tamara.grummt@uba.de |

2 Vorkommen von Spurenstoffen, Krankheitserregern und Antibiotikaresistenzen im Wasserkreislauf

Autoren: Prof. Dr. Thomas Ternes, Dr. Frank Sacher, Dr. Marion Letzel, Prof. Dr. Martin Exner, Prof. Dr. Thomas Schwartz

Kernbotschaften

Kernbotschaft 1: Durch die Ergebnisse aus RiSKWa verfügen wir über moderne und schnelle Methoden zum Nachweis und zur Quantifizierung von anthropogenen Spurenstoffen, Krankheitserregern und Antibiotikaresistenzen.

Kernbotschaft 2: Mithilfe der neuen Methoden und der entwickelten öffentlich zugänglichen Datenbank „STOFF-IDENT“ können neue gewässerrelevante Spurenstoffe und deren Transformationsprodukte identifiziert und nachgewiesen werden.

Kernbotschaft 3: Molekularbiologische Methoden können mittel- bis langfristig die standardisierten Kulturverfahren zur schnelleren Erfassung mikrobiologischer Gefährdungen ergänzen.

Kernbotschaft 4: Viele der in RiSKWa identifizierten Spurenstoffe, Krankheitser-

reger und klinisch-relevanten Antibiotikaresistenzen sind im gesamten urbanen Wasserkreislauf (Abwasser – Gewässer – Grundwasser – Trinkwasser) nachweisbar.

Kernbotschaft 5: Abwassersysteme sind wichtige Punktquellen für die Belastung der aquatischen Umwelt in Bezug auf Krankheitserreger, klinisch-relevante Antibiotikaresistenzen, Arzneimittelrückstände und viele weitere Spurenstoffe. Verordnungszahlen erlauben eine erste Abschätzung zum Eintrag von Humanarzneimitteln in das kommunale Abwasser.

Kernbotschaft 6: Neue Spurenstoffe sowie Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen müssen in aktuelle und künftige regulative Vorgaben wie die Abwasserverordnung integriert werden.

sich mit dem Vorkommen von Spurenstoffen in verschiedenen Bereichen des Wasserkreislaufs beschäftigt.

RiskAGua befasste sich mit der Ausbringung und der Persistenz von Veterinärpharmaka und ihrer Verteilung in den Um-

weltkompartimenten Boden, Grund- und Oberflächenwasser (s. Abbildung 2.1). Das landesweite Screening von Biogasanlagen ergab nur in wenigen Fällen Antibiotikagehalte in den verwerteten Abfällen von mehr als 1 mg/kg. Insbesondere für Vertreter aus der Klasse der Tetracycline zeigte sich eine Abnahme des Gehaltes in der Biogasanlage. Studien mit gezieltem Antibiotikazusatz zu Gülleproben belegten, dass Chlortetracyclin, Tetracyclin, Sulfamethazin und Sulfadiazin im Fermentationsprozess teilweise eliminiert werden können. Untersuchungen zum Transportverhalten der Antibiotika zeigten darüber hinaus, dass 90 bis 100% an Bodenpartikel sorbiert oder abgebaut werden. Lediglich ein sehr geringer Anteil gelangt über Oberflächenabfluss und Bodenerosion in angrenzende Gewässer. Wie numerische Modelluntersuchungen gezeigt haben, führt aber auch ein geringer Transport zu einer Verbreitung der Stoffe in weitere Umweltkompartimente.

Ein Schwermetall-Screening von drei Biogasanlagen verdeutlichte, dass außer Kupfer und Zink, die regelmäßig als Futtermittelzusatzstoffe eingesetzt werden, kein weiteres Metall in relevanten Konzentrationen vorkommt. Die Kupfer- und Zinkkonzentrationen überschritten jedoch in jeder Probe die Vorsorgewerte für lehm- und schluffhaltige Böden um das Zwei- bis Fünffache. Die geringe Bioverfügbarkeit der Schwermetallverbindungen lässt zudem eine Anreicherung im Ackerboden vermuten.

ANTI-Resist untersuchte die Einträge von häufig verschriebenen Antibiotika im urbanen Abwasser der Stadt Dresden. Neben der Identifizierung relevanter Antibiotika aus dem ambulanten und stationären Bereich wurden geeignete Analysemethoden für Nachweis und Quantifizierung der Ausgangssubstanzen in Abwasser, Klärschlamm, Sediment, Sielhaut aus dem Kanalnetz und Oberflächenwasser entwickelt [Schubert et al. 2015].



Abb. 2.1: Ausbringung von Gülle (© Margit Power-Fotolia)

2.1 Chemische Belastungen

Vorkommen von Spurenstoffen im Wasserkreislauf

Zahlreiche Verbundprojekte innerhalb der BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa haben

Durch ein geringes Probenvolumen und eine schnelle LC-MS/MS-Methodik konnte ein 15-monatiges Monitoring mit täglicher Probenahme von verschiedenen Probenahmestellen in der Kläranlage Dresden-Kaditz (EWG 740.000) durchgeführt werden. Das Einzugsgebiet der Kläranlage Dresden-Kaditz ist vorwiegend kommunal geprägt, sodass von vernachlässigbaren Antibiotikaemissionen aus Industrie und Gewerbe ausgegangen werden kann. Bei der Betrachtung der gemessenen Antibiotikakonzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage zeigten sich Antibiotika-spezifische Eliminationsraten von hoher Schwankungsbreite. Für Makrolid-Antibiotika (Clarithromycin, Azithromycin, Roxithromycin) und Trimethoprim konnten in der Langzeituntersuchung keine oder nur geringe Eliminationen nachgewiesen werden. Cefuroxim wurde dagegen in erheblichem Maße eliminiert (Median_{Zulauf} 1621 ng/l; Median_{Ablauf} 598 ng/l) [Rossmann et al. 2014]. Dabei gehört Cefuroxim, neben den Penicillinen Piperacillin, Penicillin V und Amoxicillin zu den am häufigsten verordneten Antibiotika im Einzugsgebiet der Kläranlage Dresden-Kaditz (durchschnittlich 0,95 mg/Einwohner und Tag), da es sowohl im ambulanten als auch im klinischen Bereich häufig eingesetzt wird. Die Verordnungsmenge der Makrolide und Trimethoprim liegt dagegen nur bei 0,07 bis 0,28 mg/Einwohner und Tag [Marx & Kühn, 2014].

Durch die Kombination von Verordnungsmengen mit Daten zu Metabolismus und Ausscheidungen können die in das Abwasser eingetragene Antibiotikamengen prognostiziert werden [Timpel et al. 2015]. Die hydrodynamische Kanalnetzsimulation ermöglichte es, die Antibiotikafracht im Zulauf zur Zentralkläranlage der Stadt Dresden hochaufgelöst darzustellen. Für persistente Antibiotika wie Sulfamethoxazol ist die Vor-

hersagegüte gut, während sie für gut abbaubare Verbindungen eher gering ist. Die Emissionen der gut abbaubaren Antibiotika können daher ohne eine analytische Bestimmung nicht ausreichend genau abgeschätzt werden. Zudem ist zu beachten, dass im Mischwasserfall die im Kanalsystem adsorbierten Antibiotika durch Remobilisierungs-, Abscherungs- und Auswaschungsprozesse dem Zulauf wieder zugeführt werden. Die Kombination aus erhöhter partikulärer sowie gelöster Fracht im Regenwetterfall bedeutet eine erhöhte Belastung für die Kläranlage (s. Abbildung 2.2), aber auch einen erhöhten Stoffaustrag in das angrenzende Gewässer.



Abb. 2.2: Kommunale Kläranlage (© Ruhrverband, Essen)

Das Verbundprojekt **SAUBER+** untersuchte Emissionen von Arzneimittelrückständen aus Einrichtungen des Gesundheitswesens. Hierbei standen nicht allgemeine Krankenhäuser, sondern eine psychiatrische Fachklinik, ein Pflege- und Betreuungsheim sowie eine Klinik mit orthopädischem Schwerpunkt im Fokus. Bezüglich der Frachten der emittierten Arzneistoffe stellte sich heraus, dass die Emissionen aus den untersuchten Gesundheitseinrichtungen mit wenigen Ausnahmen niedriger waren als aus privaten Haushalten.

Im Verbundprojekt **SchussenAktivplus** wurden die Auswirkungen von weitergehenden Abwasserbehandlungsmaßnahmen

an Kläranlagenabläufen und bei der Mischwasserentlastung im Einzugsgebiet der Schussen untersucht. Insgesamt wurden ca. 140 Spurenstoffe in wässrigen Proben analysiert, von denen im Mittel ca. 55 in den drei untersuchten Kläranlagenzulaufen nachgewiesen wurden. Der Analysenumfang umfasste die Stoffgruppen Benzotriazole, Komplexbildner, Pflanzenschutzmittel, pharmazeutische Wirkstoffe, Röntgenkontrastmittel, Antibiotika, endokrin wirksame Verbindungen, Trialkylphosphate, aliphatische Amine, künstliche Süßstoffe und perfluorierte Verbindungen. Die Anzahl der Positivbefunde ging durch die konventionelle Abwasserbehandlung um 17 bis 34% zurück, wobei das Konzentrationsniveau der nachgewiesenen Spurenstoffe insgesamt deutlich reduziert wurde. Dies war insbesondere wenigen Verbindungen wie dem Komplexbildner Nitrilotriacetat oder den beiden künstlichen Süßstoffen Cyclamat und Saccharin geschuldet, da diese im Kläranlagenzulauf teilweise im dreistelligen µg/l-Bereich nachweisbar waren, aber in der biologischen Abwasserreinigung sehr gut abgebaut werden. Die großtechnische Behandlung mit Pulveraktivkohle in der Kläranlage Ravensburg führte zu einer Reduzierung der Zahl an nachgewiesenen Spurenstoffen von 56 Substanzen im Zulauf, über 41 im Ablauf der biologischen Stufe auf lediglich 24 Substanzen im Ablauf der Aktivkohlestufe.

Im Zulauf eines Retentionsbodenfilters (RBF) wurden neben den typischen abwasserbürtigen Stoffen auch Spurenstoffe detektiert, die bei Starkregenereignissen abgeschwemmt bzw. mobilisiert werden, wie z. B. das Herbizid Mecoprop. In der Schussen (s. Abbildung 2.3) konnten oberhalb der Einleitung durch die Kläranlage in Ravensburg im Mittel ca. 30 und unterhalb ca. 35 Spurenstoffe nachgewiesen werden. Nach Inbetriebnahme der vierten Reinigungsstufe war die Zahl der Positivbefunde im Oberflächengewässer unterhalb der Kläranlage geringfügig reduziert. In der Schussen wurden die höchsten Spurenstoff-Konzentrationen für EDTA, Guanylarnstoff, Acesulfam, lomeprol und Metformin gemessen, was die Beeinflussung durch kommunales Abwasser widerspiegelt.

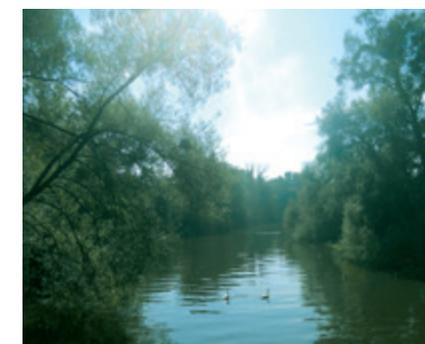


Abb. 2.3: Fluss Schussen in Baden-Württemberg (© Universität Tübingen)

Tab. 2.1: Konzentrationen [µg/l] von sieben Sartanen sowie Carbamazepin und Acesulfam in bayerischen Kläranlagenabläufen, Oberflächenwasser sowie einem Uferfiltratbrunnen

| | n | Candesartan | Eprosartan | Irbesartan | Losartan | Olmesartan | Telmisartan | Valsartan | Carbamazepin | Acesulfam |
|---------------|----|-------------|------------|------------|----------|------------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| KA-Ablauf | 30 | 0,46 | 0,73 | 1,25 | 0,21 | 0,74 | 0,68 | 1,10 | 0,65 | 25 |
| Fließgewässer | 8 | 0,085 | 0,039 | 0,043 | 0,015 | 0,068 | 0,053 | 0,13 | 0,088 | 1,14 |
| Uferfiltrat | 8 | 0,031 | <BG | 0,004 | <BG | 0,049 | 0,007 | <BG | 0,051 | 0,57 |

BG: Bestimmungsgrenze, n: Anzahl der gemessenen Proben

Im Verbundprojekt **RISK-IDENT** wurden Kläranlagenabläufe, Fließgewässer und Uferfiltrate auf zahlreiche Arzneimittel, Biozide, Industriechemikalien und Pflanzenschutzmittel untersucht. Neben den auch in Routineanalysen erfassten Indikatorsubstanzen wie Carbamazepin und Acesulfam wurden bisher weniger bekannte Stoffgruppen erfasst. Ein Beispiel sind die blutdrucksenkenden Sartane, deren Verbrauch in den letzten Jahren stark gestiegen ist. In Tabelle 2.1 ist die mittlere Konzentration der sieben häufigsten Sartane und der Indikatorsubstanzen Carbamazepin und Acesulfam aufgeführt.

Alle Sartane finden sich im Kläranlagenablauf mit Konzentrationen von 0,2 bis 1,1 µg/l. Über die Fließgewässer, in denen alle Sartane in ähnlichen Konzentrationen wie die Indikatorsubstanz Carbamazepin nachgewiesen wurden, gelangen insbesondere Candesartan und Olmesartan bis in das Uferfiltrat. Die anderen – strukturell verwandten – Sartane werden während der Uferfiltration weitgehend zurückgehalten. Als mögliche Ursache hierfür muss sowohl die schlechtere biologische Abbaubarkeit als auch eine geringere Sorption infolge des niedrigeren K_D -Wertes von Candesartan und Olmesartan aufgeführt werden [Bayer et al., 2014].

Im Verbundprojekt **ASKURIS** wurde das Vorkommen von organischen Spurenstoffen in einem teilgeschlossenen urbanen Wasserkreislauf in Berlin untersucht, in dem gereinigtes kommunales Abwasser die Hauptemissionsquelle ist. Im Fall des Tegeler Sees (mittlerer Abwasseranteil ca. 30%) wurden umfangreiche Target- und Non-Target-Untersuchungen (d. h. Untersuchungen nach bekannten und unbekanntem Stoffen mit speziellen analytischen Verfahren, s. Abschnitt „Identifizierung neuer Spuren-

stoffe über Non-Target-Analytik“) zu einer breiten Liste von bereits bekannten und im Vorhaben neu entdeckten Stoffen durchgeführt. Die gemessenen Konzentrationen an Spurenstoffen verschiedener Herkunft lagen im üblichen Bereich für kommunale Abwasser (von ng/l bis ca. 30 µg/l in Einzelfällen).

Die Verdünnung des kommunalen Abwassers im Wasserkreislauf am Tegeler See ist durch konservative organische Spurenstoffe wie Carbamazepin gut quantifizierbar. Im Trinkwasser, das aus dem Tegeler See über Uferfiltration und künstliche Grundwasseranreicherung gewonnen wird, sind einige schwer abbaubare Spurenstoffe zu finden, die z. T. bereits vor Projektbeginn bekannt waren (z. B. Carbamazepin). Es wurden aber auch einige neue Stoffe nachgewiesen, wie Gabapentin und Valsartansäure mit Konzentrationen von bis zu 1 µg/l.

Im Verbundprojekt **TransRisk** wurden Analyseverfahren für 84 Einzelstoffe entwickelt. Die untersuchten Spurenstoffe gliederten sich in folgende Stoffgruppen (Anzahl der Spurenstoffe in Klammer angegeben): Süßstoffe (5), Arzneimittel (64), Melamin (2), Benzotriazole (3), Benzothiazole (6), Pflanzenschutzmittel-Metaboliten (4) und Nitrat (1). Das Vorkommen der organischen Spurenstoffe im Wasserkreislauf im Hinblick auf den Einfluss von Punktquellen wurde an 20 Messstellen im Wasserschutzgebiet „Donauried-Hürbe“ siebenmal untersucht. Für eine orientierende Auswertung aller Messdaten des Untersuchungsprogramms (ca. 10.000 Einzelmesswerte) wurde für jede Stoffgruppe eine Parametersumme gebildet, d. h. es erfolgte die Aufsummierung der Konzentrationen der Einzelstoffe einer Gruppe. Für jede Messstelle und jede Parametersumme wurde der Medianwert nach empirischen Kriterien in drei Kategorien eingeteilt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.2 dargestellt.

Die Stoffgruppen wurden als Indikatoren für die Beeinflussung durch kommunale Kläranlagen (inkl. Abwasserversickerung im Kanalsystem über undichte Kanäle), den Straßenverkehr und die Landwirtschaft genutzt. Für die Zu- und Ablaufproben der kommunalen Kläranlagen waren die Abwasserindikatoren Süßstoffe, Arzneimittel, Melamin und Benzotriazole nahezu alle in höchster Kategorie positiv. Der Einfluss des Straßen-

verkehrs über das Straßenablaufwasser auf das Abwasser in Kläranlagen wurde über die Stoffgruppe Benzothiazole angezeigt, jedoch überwiegend auf mittlerem Niveau. Der Nachweis der Pflanzenschutzmittel-Metaboliten zeigte bei allen Messstellen den Einfluss der Landwirtschaft an. Dies ist vermutlich auf die großflächige landwirtschaftliche Prägung der Modellregion Donauried zurückzuführen. In der Messstel-

Tab. 2.2: Nutzung von Indikatoren zur Erfassung von anthropogenen Spurenstoffeinträgen in der Modellregion Donauried

| Messstellen- gruppe | Messstelle | Indikatorgruppe | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|---------|---------------|---------------------|---------------------|--------|
| | | Kläranlagen | | | | Straßen- verkehr | Landwirt- schaft | |
| | | Süßstoffe | Arzneimittel/RKM | Melamin | Benzotriazole | Benzothiazole | PSM-Metaboliten | Nitrat |
| Rohabwasser | Zulauf KA Langenau | + | + | + | + | o | o | - |
| | Zulauf KA Steinhäule | + | + | + | + | + | o | - |
| | Abwasser Klinikum Ulm | + | + | o | + | - | o | - |
| Gereinigtes Abwasser | Ablauf KA Langenau | + | + | o | + | o | o | o |
| | Ablauf KA Steinhäule | + | + | + | + | o | o | o |
| Straßenablauf- wasser | Regenklärbecken Schammenbach | - | - | o | - | o | o | o |
| | Regenüberlaufbecken Rammingen | - | - | - | - | - | o | o |
| Hotspots Grundwasser | Ochsenhölzle | o | - | o | - | - | o | + |
| | Nerenstetten | o | - | - | - | - | o | o |
| | Lone, Quelltopf | - | - | - | - | - | o | o |
| | Donau, Leipheim | o | o | o | o | - | - | o |

Kriterien für die Kategorisierung (Median-Konzentration) in Tabelle 2.2:

- (-): < 0,1 µg/l Für Nitrat: (-): < 10 mg/l
- (o): 0,1 – 1 µg/l (o): 10 – 50 mg/l
- (+): > 1 µg/l (+): > 50 mg/l

lengruppe Straßenablaufwasser waren die Parametersummen lediglich bei den Stoffgruppen Melamin und Benzothiazole etwas erhöht. Das Auftreten der Pflanzenschutzmittel-Metaboliten und von Nitrat zeigte deutlich den Einfluss von landwirtschaftlich geprägtem Fremdwasser bspw. aus Felddrainagen an. Für die Gruppe „Hotspots Grundwasser“ ergab sich ein heterogenes Bild. Sowohl Abwasserindikatoren, die im Fall der Messstellen an einer Deponie vermutlich auf abgelagerte Substanzen zurückgeführt werden können, als auch die Indikatoren für die Landwirtschaft waren positiv. In den als Vorfluter genutzten Fließgewässern Nau und Donau war der Abwassereinfluss eindeutig anhand der entsprechenden Indikatoren feststellbar. Eine landwirtschaftliche Beeinflussung konnte ebenfalls verifiziert werden. Lediglich das Quellwasser der Lone hatte keinen signifikanten Abwassereinfluss.

Um die erhöhte Vulnerabilität (Verletzbarkeit) von Karstgrundwasserleitern zu dokumentieren, wurden im Verbundprojekt **AGRO** am Modellstandort Gallusquelle (s. Abbildung 2.4) auf der Schwäbischen Alb konkrete Kontaminationsquellen und -szenarien im Einzugsgebiet identifiziert, charakterisiert und systematisch untersucht. Das Quellwasser wurde auf insgesamt über 50 verschiedene organische Spurenstoffe wie Arzneimittelrückstände, Pflanzenschutzmittel, Korrosionsinhibitoren, Stimulantien und Süßstoffe untersucht. Es wurden 38% der Stoffe mindestens einmal nachgewiesen. Die ermittelten Konzentrationen lagen zwischen 1,1 ng/l und (in seltenen Fällen) über 100 ng/l. Die am häufigsten nachgewiesenen Substanzen waren die Pflanzenschutzmittel und -metabolite Metazachlor, Atrazin und Desethylatrazin, das Stimulanz Coffein und dessen Abbauprodukte, das Antiepileptikum Carbamazepin sowie die Röntgenkontrastmittel Iohexol und Iopromid.

Die Untersuchungen belegten langfristige Kontaminationen durch hochpersistente Stoffe wie beispielsweise dem seit 1992 in Deutschland nicht mehr zugelassenen Herbizid Atrazin (bis 5,8 ng/l) oder dem Süßstoff Acesulfam (ca. 20 ng/l bei Trockenwetterabfluss). An der Gallusquelle wurde eine Methode zur Quantifizierung frischer Einträge von ungereinigtem Abwasser mithilfe des Abwasserindikators Coffein etabliert. Darüber hinaus wurde das Verhältnis der Konzentrationen von Valsartan zu seinem Transformationsprodukt Valsartansäure als vielversprechender Indikator für die Funktionstüchtigkeit einer Kläranlage identifiziert. Generell zeigte sich während der Projektlaufzeit eine deutlich geringere Detektionshäufigkeit abwasserbürtiger Spurenstoffe als im Jahr 2010. Sehr wahrscheinlich sind Kanalsanierungen sowie eine Ertüchtigung des Regenüberlaufbeckens im Einzugsgebiet für den Rückgang der Abwassereinträge verantwortlich.



Abb. 2.4: Gallusquelle (© AGRO)

Vorkommen und Bildung von Transformationsprodukten

Zunehmend rücken Transformationsprodukte (TPs) von Spurenstoffen in den wissenschaftlichen Fokus. TPs entstehen durch abiotische oder biotische Veränderungen anthropogener Verbindungen in lebenden Organismen, in Kläranlagen, der Umwelt oder auch bei der Wasseraufbereitung. Aus einem einzelnen Stoff entstehen oft mehrere TPs, wodurch sich die Anzahl der Substanzen im Wasserkreislauf signifikant erhöht (s. Abbildung 2.5).

Die vom Menschen ausgeschiedenen Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite sowie eine hohe Anzahl an Haushalts- und Industriechemikalien gelangen über das Abwasser in die kommunalen Kläranlagen. Dort werden viele dieser Stoffe nicht mineralisiert, d. h. zu Kohlendioxid oder biogen verwertbaren Stoffen abgebaut, sondern lediglich gering-

fügig transformiert. In den meisten Fällen führt die Transformation dazu, dass die gebildeten TPs polarer als die Ausgangsstoffe werden. Die folgenden enzymkatalysierten Reaktionen wurden beispielsweise in der Belebtschlammbehandlung beobachtet: Mono- und Dihydroxylierungen, Alkohol- und Aldehyd-Oxidationen, Hydrolyse von Estern und Amiden, Decarboxylierungen, N-Dealkylierungen und N-Deacetylierungen. Aufgrund der hohen Polarität gelangen die in der Abwasserreinigung gebildeten TPs häufig direkt ins Oberflächenwasser und dann ggfs. ins Grundwasser sowie in Einzelfällen auch ins Trinkwasser.

Einzelne bei der Abwasserbehandlung gebildete TPs sind toxikologisch bedenklich (z. B. N-Nitrosodimethylamin, NDMA). Für die Risikobewertung ist es daher zwingend erforderlich, Bildung und Entfernung von (öko)toxikologisch relevanten TPs in die Monitoringprogramme zu integrieren. Allerdings ist

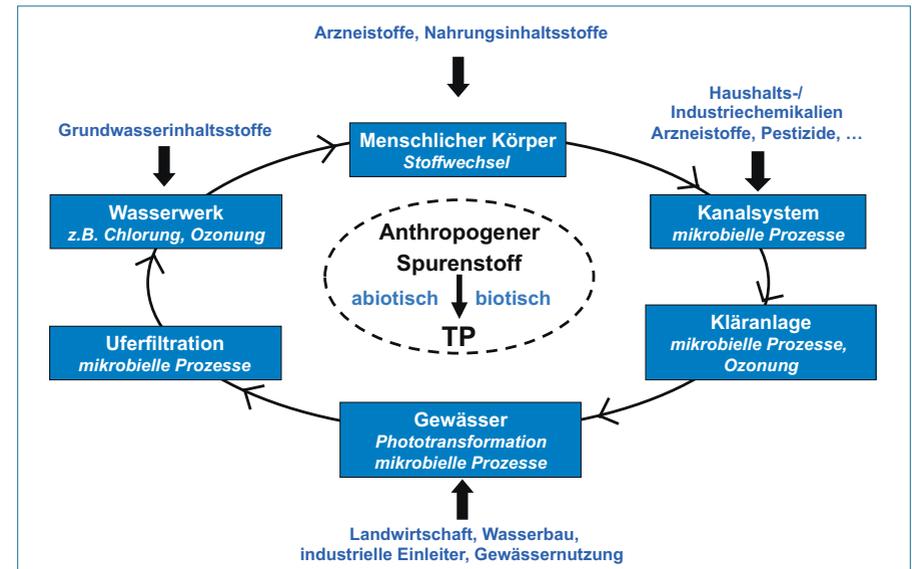


Abb. 2.5: Bildung von Transformationsprodukten im urbanen Wasserkreislauf

für die überwiegende Anzahl an Spurenstoffen bislang nicht bekannt, zu welchen TPs sie bei der biologischen Abwasserbehandlung transformiert werden.

In **RISK-IDENT** und **TransRisk** lag ein Schwerpunkt der Arbeiten auf der Identifizierung von TPs, die in der biologischen Abwasserreinigung aus Spurenstoffen gebildet werden. Hierzu wurden die TPs ausgewählter Spurenstoffgruppen wie den Sartanen, den Metaboliten des Carbamazepin oder dem Virostatikum Aciclovir identifiziert. Mit Hilfe verschiedener ökotoxikologischer Tests wurde zudem untersucht, inwieweit die gebildeten Transformationsprodukte eine ökotoxikologische Relevanz besitzen (s. Kapitel 3).

In **RISK-IDENT** wurde der Abbau von verschiedenen Spurenstoffen in Laborkläranlagen und in Aquifersäulen untersucht. Zum Einsatz kamen zahlreiche Arzneimittel, Biozide, Industriechemikalien und Pflanzenschutzmittel. Von diesen Muttersubstanzen wurden TPs durch in-silico Methoden vorhergesagt und anschließend analytisch in den Kläranlagenabläufen bzw. Säuleneluatens mittels Non-target-screening (s. Abschnitt „Identifizierung neuer Spurenstoffe über Non-Target-Analytik“) erfasst. Beispielsweise wurden Sartane in Laborkläranlagen unterschiedlich gut abgebaut; dabei entstanden zahlreiche TPs, die teilweise identifiziert werden konnten (Valsartansäure, Amino-Valsartan, Irbesartan-TP446). Von einzelnen TPs wurde die Referenzsubstanz synthetisiert und die TPs in das behördliche Gewässermonitoring aufgenommen. Dabei wurde TP446 des Wirkstoffs Irbesartan in Kläranlagenabläufen in Konzentrationen bis 0,44 µg/l und in bayerischen Fließgewässern bis 0,09 µg/l nachgewiesen.

TransRisk untersuchte den Abbau von Bioziden und Arzneimittelwirkstoffen in der biologischen Abwasserreinigung vom Labor- über den Pilot- bis zum großtechnischen Maßstab. Hierbei wurde jeweils der komplette Abbaupfad aufgeklärt, wobei die Massenbilanzen vom Ausgangsstoff über die vom Menschen ausgeschiedenen Metabolite bis hin zu den in der Kläranlage gebildeten TPs geschlossen werden konnten. Neben massenspektrometrischen Methoden und der Kernresonanzspektroskopie wurden computergestützte Vorhersagemodelle zur Identifizierung der TPs und Aufklärung der Abbaupfade verwendet. Beispielsweise wurde der Hauptmetabolit von Carbamazepin, 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin (DiOHCBZ), sowohl in Kläranlagenabläufen als auch in Fließgewässern und sogar im Trinkwasser nachgewiesen [Kaiser et. al, 2014]. Teilweise lagen die Konzentrationen von DiOHCBZ über denen des Wirkstoffs Carbamazepin. Auch der Hauptmetabolit des Antiepileptikums Oxcarbazepin, 10,11-Dihydro-10-hydroxycarbamazepin (10OHCBZ), konnte in den Abläufen kommunaler Kläranlagen und Fließgewässern nachgewiesen werden. In Belebtschlamm wurden die Metabolite und Oxcarbazepin weiter transformiert. Hierbei wurden sieben TPs identifiziert. Die identifizierten TPs von DiOHCBZ, 10OHCBZ und Oxcarbazepin konnten sowohl in Kläranlagenabläufen als auch in Oberflächenwässern, Grund- und sogar im Trinkwasser nachgewiesen werden. Neben den Ausgangssubstanzen war vor allem 9-Carboxy-Acridin (9-CA-ADIN) mit bis zu 0,92 µg/l im Kläranlagenablauf und bis zu 0,19 µg/l im Trinkwasser nachweisbar. Auch andere TPs wie BaQD (1-(2-Benzoessäure)-(1H,3H)-chinazolin-2,4-dion) und Acridon wurden in relevanten Konzentrationen nachgewiesen.

In einem anderen Fall wurde das Virostatikum Aciclovir in Kontakt mit Belebtschlamm zu einem einzigen Transformationsprodukt, nämlich zu Carboxy-Aciclovir, umgewandelt. Carboxy-Aciclovir ist in Oberflächengewässern mit Konzentrationen von bis zu 2 µg/l, im Grundwasser (bis zu 0,25 µg/l) und im Trinkwasser (bis 0,040 µg/l) nachweisbar.

In den Projekten **PRiMaT** und **TransRisk** wurden auch TPs, die durch die Ozonung entstehen, identifiziert, quantifiziert und auf ihre ökotoxikologische Wirkung (s. Kapitel 3) untersucht.

Carboxy-Aciclovir wurde in **TransRisk** beispielsweise in der Ozonung zu dem stabilen Oxidationsprodukt COFA (N-(4-Carbamoyl-2-imino-5-oxoimidazolidin)formamido-N-methoxyessigsäure), für das eine erhöhte Algtoxizität zu beobachten war, transformiert. COFA wurde im Trinkwasser nach einer Aufbereitung über Ozon und Aktivkohle im unteren ng/l-Bereich nachgewiesen. COFA kann auch bei der Ozonung von Abwasser in beträchtlichen Konzentrationen (über 1 µg/l) entstehen. Durch die der Ozonung von gereinigtem Abwasser nachgeschalteten biologisch-aktiven Aktivkohlefilter und biologisch-aktiven Sandfilter konnte COFA nicht entfernt werden.

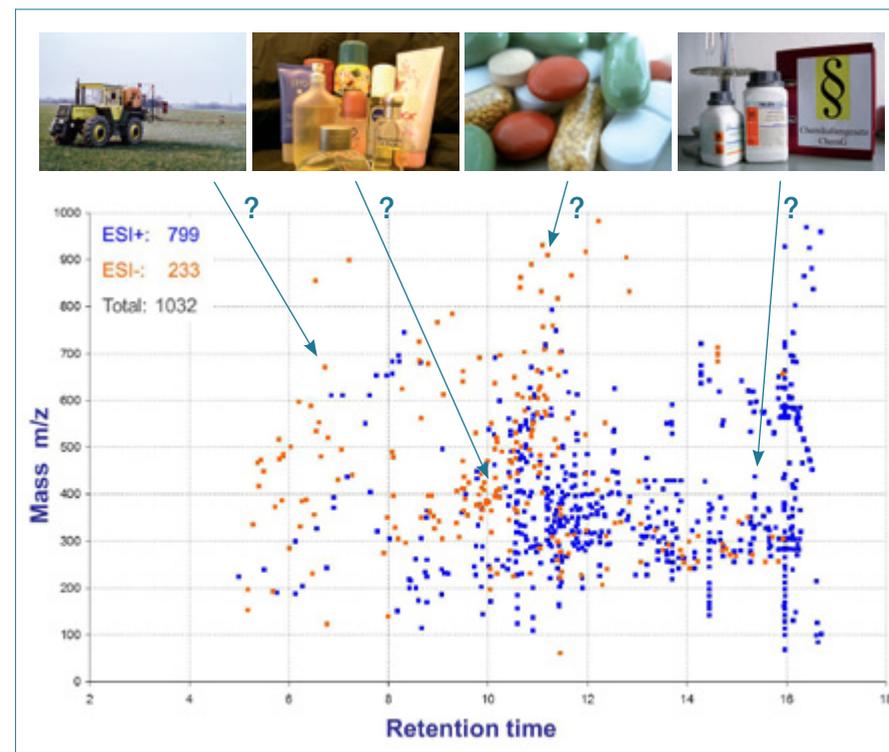


Abb. 2.6: In dieser Probe mit unbelastetem Grundwasser wurden per Non-Target-Analytik rund 1.000 Signale gemessen, die nur in seltenen Fällen bekannten Stoffen zugeordnet werden können. Abwasserproben liefern ein Vielfaches der Signale von Grundwasserproben.

In **PRiMaT** wurde eine Strategie zur Prüfung von ozonten Wässern auf die Bildung von TPs entwickelt. Zur analytischen Charakterisierung wurde eine ionenchromatographische Trennung mit insgesamt fünf verschiedenen Detektoren gekoppelt. Mit diesen Kopplungen wurden TPs identifiziert, quantifiziert und elementspezifisch bilanziert, sowie Rückschlüsse auf den Grad des oxidativen Abbaus gezogen. Für Acesulfam wurden beispielsweise drei Oxidationsprodukte nachgewiesen, die als Acetat, Amidosulfonsäure und Carbonsäure des Acesulfams identifiziert werden konnten.

Identifizierung neuer Spurenstoffe über Non-Target-Analytik

Weltweit sind mehr als 100 Millionen Stoffe bekannt. Davon werden über 100.000 industriell produziert und haben das Potential die Umwelt zu schädigen. Der Großteil dieser Spurenstoffe und ihrer TPs werden bei Routineanalysen derzeit nicht erfasst. Gleichzeitig liefern moderne Analysemethoden, wie die Flüssigkeitschromatographie gekoppelt mit hochauflösender und akkurat messender Massenspektrometrie, immer mehr Möglichkeiten, um unbekannte Stoffe im Wasser identifizieren oder bekannte Stoffe zuordnen zu können. Mit der Non-Target-Analytik werden Tausende von größtenteils unbekannt Substanzen erfasst (s. Abbildung 2.6). Eine besondere Herausforderung ist die effiziente Nutzung der Messdaten zur Strukturaufklärung und eindeutigen Stoffzuordnung.

Im Verbundprojekt **ASKURIS** wurde für die Auswertung der gewonnenen Daten über organische Spurenstoffe im Wasserkreislauf eine Vorgehensweise für die Non-Target-Analytik erarbeitet. Die Entwicklung dieser Vorgehensweise erfolgte gemeinsam mit den Herstellern der modernen Analysengeräte.

Um die Auswertung insbesondere für Gewässerproben zu vereinfachen, entwickelte **RISK-IDENT** die Datenbank STOFF-IDENT. Zu fast 8.000 Chemikalien bietet sie Stoffeigenschaften wie Masse, Summenformel, chemische Struktur oder die zur Normierung der Retentionszeit benötigte Hydrophobizität. Aufgenommen wurden vor allem gewässerrelevante Stoffe. Dazu gehören Chemikalien, die im Rahmen der REACH-Verordnung registriert wurden, sowie Pflanzenschutzmittel, Biozide und Arzneimittel sowie deren TPs. Nach Projektende wird die Datenbank am Bayerischen Landesamt für Umwelt weiterbetrieben, aktualisiert und kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Getestet wurde STOFF-IDENT z. B. an Fließgewässer- und Uferfiltratproben, in denen rund 267 Stoffe gefunden wurden, darunter 38,2% Arzneimittel, 37,8% REACH-Chemikalien, 16,5% Pflanzenschutzmittel und 7,5% sonstige Stoffe. Bei den bislang durchgeführten Validierungen konnte mit STOFF-IDENT eine Trefferwahrscheinlichkeit von ca. 70% erreicht werden.

Als weitere Datenbank wurde DAIOS (Database Assisted Identification of Organic Substances) eingesetzt. Innerhalb des Verbundprojekts **ASKURIS** wurde DAIOS für eine effizientere Identifizierung, optimierte Benutzerfreundlichkeit und vereinfachte Datenerweiterung neu programmiert. Somit stehen nun zwei sich ergänzende Datenbanken zur Verfügung: Während STOFF-IDENT überwiegend physikalisch-chemische Daten enthält, sind in DAIOS z. B. Hinweise auf Abbaupfade und MS/MS-Fragmente hinterlegt. Beide Datenbanken werden im Nachfolgeprojekt FOR-IDENT zusammen mit weiteren Softwaretools auf einer Arbeitsplattform verknüpft.

Darüber hinaus wurden im Verbundprojekt **ASKURIS** durch Verwendung von polaren Trennmaterialien in Kombination mit der hochauflösenden Massenspektrometrie auch bisher nicht erkannte Substanzen wie Gabapentin, Pregabalin und Valsartansäure identifiziert.

Im Verbundprojekt **RISK-IDENT** konnten mehrere in Fließgewässern und Uferfiltraten vorkommende, aber bislang unbeachtete Stoffe mithilfe von STOFF-IDENT und Referenzsubstanzen identifiziert werden, wie z. B. Transformationsprodukte des Blutdrucksenkers Irbesartan, Vulkanisationsbeschleuniger, UV-Filtersubstanzen sowie weitere Industriechemikalien. Aufgrund dieser Befunde wurde ein Teil der neu identifizierten Stoffe nun in das behördliche Gewässermonitoring aufgenommen.

In **TransRisk** wurde mit Hilfe der Non-Target-Analytik und STOFF-IDENT eine neue gewässerrelevante Substanzgruppe, die quartären Phosphonium-Verbindungen (QPVs), identifiziert. Zu dieser Substanzgruppe gehören Methyltriphenylphosphoniumkation, Ethyltriphenylphosphoniumkation und Methoxymethyltriphenylphosphoniumkation. Für diese quartären Phosphonium-Verbindungen wurde eine quantitative LC-MS/MS-Methode entwickelt und validiert [Schlösser et al., 2015]. QPVs wurden in erhöhten Konzentrationen primär in den Flüssen gefunden, die gereinigte Abwässer der chemischen Industrie erhalten. Insbesondere waren QPVs in hohen Konzentrationen in den kleinen Flüssen des hessischen Rieds, beispielsweise bis zu 2,5 µg/l Ethyltriphenylphosphoniumkation, nachweisbar. Mit einer Ausnahme waren die QPVs in kommunalen Kläranlagenabläufen nicht detektierbar. Dies unterstreicht die These, dass die QPVs hauptsächlich über Industriekläranlagen in die Gewässer eingetragen werden.

Zusätzlich wurden in **TransRisk** bislang unbekannt Substanzen in Zuläufen und Abläufen von kommunalen Kläranlagen identifiziert. Anhand von Referenzmaterialien gelang für die Arzneimittelrückstände Lamotrigin, Lamotrigin-N2-Glucuronid, Sulpirid und Amisulprid die Bestätigung des Nachweises.

2.2 Mikrobiologische Belastungen

Dieses Kapitel bezieht sich in vielen Punkten auf Ausführungen des RiSKWa-Statuspapiers „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen“, das die Ergebnisse des Querschnittsthemas „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“ beinhaltet [Exner & Schwartz, 2015].

Vorkommen von pathogenen Mikroorganismen

In den Verbundprojekten **SchussenAktiv-plus** und **TransRisk** wurden Kläranlagen mit konventioneller Abwassertechnik und unterschiedlicher Ausbaugröße auf *E. coli*, Enterokokken und Staphylokokken untersucht. Hohe Häufigkeiten (Abundanzen) an fakultativ-pathogenen Bakterien wurden in den Zuläufen der kommunalen Kläranlagen und vor allem in Klinikabwässern gefunden, wobei in Klinikabwässern Staphylokokken (*S. aureus* und Coagulase-negative Staphylokokken, CNS) häufiger nachgewiesen wurden. Die Eliminationsleistung der Kläranlagen für die genannten Bakteriengruppen betrug bis zu 2 log-Stufen. Beispielsweise lag im Einzelnen das Reduktionspotential bei bis zu 90% für Enterokokken und bei bis zu 50% für Enterobakterien. Für *P. aeruginosa* wurde keine Reduktion durch die konventionelle Abwasserbehandlung gefun-

den. Die Abbildung 2.7 zeigt Bakterienkolonien auf einem Selektivnährboden kultiviert.

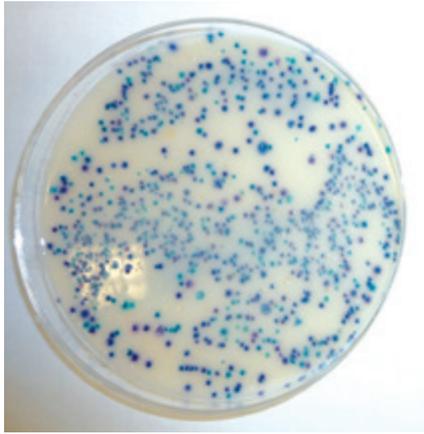


Abb. 2.7: Selektive Kultivierung von pathogenen Mikroorganismen (© T. Schwartz, Karlsruher Institut für Technologie (KIT))

Die Untersuchungen in **TransRisk** belegen eine deutliche Reduktion der gesamten Bakterienfracht von bis zu 90% durch eine Ozonbehandlung. Bei den spezifischen Bakterienmarkern wurde eine Verminderung nach der Ozonung festgestellt: bis zu 2 log-Stufen Reduktion für Enterokokken und 0,2 log-Stufen für Enterobakterien bei einer spezifischen Ozondosis von 0,85 mg/g DOC. Deutlich geringer war die Reduktionsleistung bei *P. aeruginosa*, wobei auch eine geringere Abundanz in der Ausgangspopulation nachgewiesen wurde. Im Rahmen von **SchussenAktivplus** führte die Ozonung von behandeltem Abwasser zu einer zusätzlichen Reduktion zwischen 0,3 (Staphylokokken) und 1 log-Stufe für *E. coli* und Enterokokken im Vergleich zum Kläranlagenablauf nach konventioneller Reinigung.

Im Rahmen des Verbundprojekts **Sichere Ruhr** wurde die Ruhr auf mikrobielle Belastungen untersucht. Das Ruhrwasser wird durch zahlreiche Kläranlageneinträge fäkal

belastet, wodurch der hohe Anteil an positiven Befunden für *E. coli*, coliforme Bakterien, Coliphagen und Aeromonaden zu erklären ist. Hinsichtlich der enteralen Viren sind aus infektiologischer Sicht vor allem die Daten von Rota-, Noro- und Enteroviren interessant. Rota- und Noroviren können, entsprechend dem Auftreten von Infektionen in der Bevölkerung, vor allem in der kalten Jahreszeit im Oberflächenwasser nachgewiesen werden. In Folge der verschiedenen Einträge aus Kläranlagen wie auch über diffuse Eintragspfade lassen sich insbesondere nach Starkregenereignissen im Vorfluter höhere Konzentrationen von Krankheitserregern nachweisen. Nach Niederschlägen ist die Ruhr so hoch belastet, dass für einen Badebetrieb im Gewässer die hygienisch unbedenkliche Badegewässerqualität nur selten eingehalten werden kann. Während der Badesaison stammen beispielsweise knapp 15% der niederschlagsbedingten *E. coli*-Einträge in die Ruhr aus diffusen oberflächennahen Einleitungen, insbesondere aus der Landwirtschaft, und ca. 60% aus den Abschlägen verschiedener Regenbecken und anderen nicht zuordenbaren Quellen.

Im Verbundprojekt **Sichere Ruhr** wurden über einen Zeitraum von 15 Monaten 184 Proben untersucht. Dabei wurden Cryptosporidien in 29% und Giardien in 78% aller Proben nachgewiesen. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes konnten in 9,8% der Proben Rotaviren nachgewiesen werden. Noro- und Enteroviren wurden in 29,5% bzw. 22,3% der Proben detektiert. Die statistische Auswertung der Daten zeigte keine Korrelation zwischen den ermittelten Pathogenkonzentrationen und den Abundanzen der Indikatororganismen *E. coli* und intestinale Enterokokken. Auch die Gehalte an Coliphagen und diversen humanpathogenen Viren (Adeno-, Polyoma-, Entero- und Rotaviren) korrelierten nicht.

Im Rahmen von **SchussenAktivplus** wurden im Kulturverfahren die Lebendkeimzahlen von *E. coli*, Enterokokken und Staphylokokken in zwei Oberflächengewässern untersucht. Während die Lebendkeimzahlen von *E. coli* und Enterokokken um 0,6 bis 0,8 log-Stufen geringer waren als in den Kläranlagenabläufen, lag die Lebendkeimzahl der Staphylokokken um etwa eine log-Stufe höher.

Außerdem wurden im **PRiMaT**-Verbundprojekt Vergleichsmessungen zu PCR-basierten Nachweismethoden in Laboren verschiedener Einrichtungen, z. B. zur Bestimmung von Adenoviren, durchgeführt. Die Messwerte zeigten eine sehr gute Übereinstimmung. Die Abweichung für Adenoviren lag durchschnittlich bei 0,4 log-Stufen.

Im Verbundprojekt **RiMaTH** wurden neue Nachweismethoden für Krankheitserreger in der Trinkwasser-Hausinstallation entwickelt bzw. validiert. Im Fokus standen vor allem Legionellen. Es wurde eine Vergleichsstudie der gesetzlich zugelassenen Nachweismethode für Legionellen im Trinkwasser (kultureller Nachweis gemäß ISO 11731 bzw. DIN EN ISO 11731-2) und einer bereits genormten quantitativen PCR-Methode ISO/TS 12869 durchgeführt. Im Rahmen der Vergleichsstudie wurden ca. 3.000 Proben aus deutschlandweit verteilten Trinkwasser-Hausinstallationen parallel mittels Kulturverfahren und qPCR auf *Legionella* spp. und *Legionella pneumophila* untersucht. Bei ca. 84% der Proben stimmten die Ergebnisse der Kulturverfahren und der qPCR-Verfahren überein.

Vorkommen von antibiotikaresistenten Mikroorganismen

In den Verbundprojekten **SchussenAktivplus** und **ANTI-Resist** zeigte sich im Kulturverfahren, dass bei fakultativ-pathogenen Bakterien der Anteil phänotypisch identifizierter Antibiotikaresistenzen in der Kläranlage für bestimmte Bakteriengruppen zunahm, während bei anderen Gruppen der Anteil resistenter Isolate abnahm. Aufgrund der deutlich geringeren Lebendkeimzahlen im Kläranlagenablauf im Vergleich zum Zulauf, war – absolut betrachtet – die Konzentration antibiotikaresistenter opportunistischer Keime im Ablauf größtenteils geringer als im Zulauf der Kläranlagen. Antibiotikaresistente Isolate, die auch Mehrfachresistenzen aufwiesen, wurden unabhängig von der Probenahmestelle und der Jahreszeit detektiert.

Im Verbundprojekt **TransRisk** wurden die Abundanzen von klinisch relevanten Antibiotikaresistenzen mit rein molekularbiologischen Methoden in der Gesamtpopulation in Klinikabwässern und Kläranlagen quantifiziert. Die höchsten Abundanzen an Antibiotikaresistenzgenen wurden in Klinikabwässern gemessen. In den Kläranlagenabläufen zeigte sich für bestimmte Resistenzen ebenfalls eine relative Zunahme der Häufigkeiten innerhalb der Gesamtpopulation gegenüber den Kläranlagenzulaufen.

Auch im Verbundprojekt **ANTI-Resist** wurden mit molekularbiologischen Methoden Quantifizierungen von Resistenzen in Rohabwasser und in gereinigtem Abwasser durchgeführt. Es zeigte sich eine erhöhte Abundanz an klinisch relevanten Resistenzgenen für *E. coli*, deren Häufigkeit zudem ein jahreszeitliches Muster aufwies.

In den Verbundprojekten **ANTI-Resist**, **TransRisk** und **SchussenAktivplus** wur-

de gezeigt, dass Klinikabwässer und kommunale Abwässer eine wichtige Quelle für den Eintrag von Bakterien mit Antibiotikaresistenzen in die Umwelt darstellen. Die Abbildung 2.8 zeigt die Fluoreszenz-mikroskopische Aufnahme einer Bakterienflocke aus einem Abwasser nach Lebend/Tot-Färbung. Im Rahmen von **TransRisk** und **SchussenAktivplus** wurde die Effizienz einer Ozonung als zusätzliche Abwasserbehandlungsstufe auf die Reduktion von antibiotikaresistenten Bakterien untersucht. Die Untersuchungen belegen eine deutliche Reduktion der gesamten Bakterienfracht, jedoch war der Anteil resistenter Isolate an der überlebenden Population im Ablauf der Ozonung teilweise höher. Ein solches Ergebnis gibt erste Hinweise auf eine Selektion von antibiotikaresistenten Bakterien, die die Ozonung überstehen. Allerdings kann man keine allgemeingültigen Aussagen zum Verhalten aller klinisch-relevanten antibiotikaresistenten Bakterien treffen. Während der Passage von Filtern im Anschluss an die Ozonung kam es zu keiner signifikanten

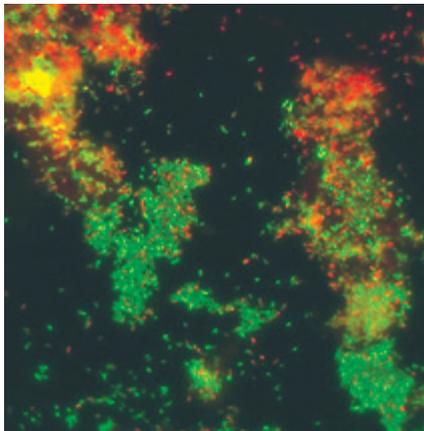


Abb. 2.8: Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme einer Bakterienpopulation
© T. Schwartz, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

weiteren Reduktion der antibiotikaresistenten Keime.

Im Rahmen der Verbundprojekte **AGRO** und **TransRisk** wurden das Quellwasser einer Karstquelle und anthropogen belastete Grundwassermessstellen auf Belastungen mit Antibiotikaresistenzen untersucht. Es zeigte sich, dass in allen Messstellen Antibiotikaresistenzen nachgewiesen wurden und dass eine erhöhte Trübung – z. B. durch Starkregen oder Schneeschmelze – mit einem Anstieg der Anzahl nachgewiesener Antibiotikaresistenzgene einherging.

In den Verbundprojekten **TransRisk** und **AGRO** konnten in den untersuchten Oberflächengewässern Antibiotikaresistenzgene nachgewiesen und mit molekularbiologischen Methoden in der Gesamtpopulation quantifiziert werden. Die höchsten Konzentrationen wurden in Bakterienpopulationen aus Fließgewässern nachgewiesen, die als Vorfluter von lokalen Kläranlagen genutzt werden. Aber auch in Fließgewässern ohne direkten Kläranlageneinfluss wurden Resistenzgene, wenn auch in geringeren Anteilen, quantifiziert.

In **SchussenAktivplus** konnte gezeigt werden, dass sich das Resistenzniveau während der Passage durch Retentionsbodenfilter und Regenüberlaufbecken nicht verändert. In einem Säulenversuch zur Uferfiltration, im Rahmen des **PRiMaT**-Verbundprojektes, wurde die Verminderung resistenter Bakterien durch die Bodenpassage gezeigt. In **TransRisk** wurden vor allem bei Starkregenereignissen hohe Bakterienfrachten und Abundanzen an hygienisch relevanten Bakterien und Resistenzgenen im Fließgewässer quantifiziert.

2.3 Literatur

- Bayer, A.; Asner, R.; Schüssler, W.; Kopf, W.; Weiß, K.; Sengl, M.; Letzel, M. (2014): Behavior of sartans (antihypertensive drugs) in wastewater treatment plants, their occurrence and risk for the aquatic environment. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2014 Sep; 21(18):10830-9. doi: 10.1007/s11356-014-3060-2.
- DIN EN ISO 11731-2:2008-06: Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von Legionellen – Teil 2: Direktes Membranfiltrationsverfahren mit niedriger Bakterienzahl (ISO 11731-2:2004); Deutsche Fassung EN ISO 11731-2:2008, Beuth Verlag, Berlin.
- Exner, M.; Schwartz, T. (Eds) (2015): RiSKWa-Statuspapier „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen“ – Ergebnisse des Querschnittsthemas „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“, DECHEMA, Frankfurt am Main. www.bmbf.riskwa.de/de/downloads/RiSKWA_Statuspapier_Mikrobiologie_2015_10_30.pdf.
- ISO 11731: Wasserbeschaffenheit – Zählung von Legionellen (ISO/DIS 11731:2015); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 11731:2015, Beuth Verlag, Berlin.
- ISO/TS 12869: PD ISO/TS 12869:2012-12-31, Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Quantifizierung von Legionella und/oder Legionella pneumophila durch Konzentration und genetische Verstärkung mittels Polymerase-Kettenreaktion (RT-PCR), Beuth Verlag, Berlin.
- Kaiser, E.; Prasse, C.; Wagner, M.; Bröder, K.; Ternes, T. A. (2014): Transformation of oxcarbazepine and human metabolites of carbamazepine and oxcarbazepine in wastewater treatment and sand filters. *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48 (17), 10208–10216.
- Marx, C.; Kühn, V. (2014): Emissionsdynamik urbaner Antibiotikaeinträge unter Verwendung von Verschreibungs- und Felddaten. *Prävention und Gesundheitsförderung* 9, 198-205 DOI: 10.1007/s11553-014-0453-2.
- Rossmann, J.; Schubert, S.; Gurke, R.; Oertel, R.; Kirch, W. (2014): Simultaneous determination of most prescribed antibiotics in multiple urban wastewaters by SPE-LC-MS/MS. *Journal of Chromatography B* 969, 162–170 DOI: 10.1016/j.jchromb.2014.08.008.
- Schlüsener, M.P.; Kunkel, U.; Ternes, T.A. (2015): Quaternary Triphenylphosphonium Compounds: A New Class of Environmental Pollutants, *Environ. Sci. Technol.* 49, 14282–14291.
- Schubert, S.; Käseberg, T.; Benisch, J.; Knoth, H.; Oertel, R.; Fauler, J. (2015): Bestimmung häufig verschriebener Antibiotika in verschiedenen Stadien und Medien im urbanen Abwassersystem mittels USE und SPE sowie LC-MS/MS. *Mitt Umweltchem Ökotox GDCh*, 21. Jahrg. 2015 Nr.1, ISSN 1618-3258 www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Umweltchemie_OEkotoxikologie/mblatt/2015/b1h115.pdf.
- Timpel, P.; Gurke, R.; Marx, C.; Knoth, H.; Fauler, J. (2016). Antibiotikaeintrag in das urbane Abwasser – Eine sekundärdatenbasierte Analyse zur Eintragsabschätzung am Beispiel der Stadt Dresden (Release of antibiotics into urban wastewater: A secondary-data based analysis for the input assessment using the city of Dresden as an example). *Bundesgesundheitsblatt* 59:274–283. doi: 10.1007/s00103-015-2288-1.

3 Risikocharakterisierung und Risikobewertung: Trinkwasser, Abwasser, Grund- und Oberflächenwasser

Autoren: Dr. Tamara Grummt, Prof. Dr. Rita Triebkorn, Prof. Dr. Martin Exner, Prof. Dr. Thomas Schwartz, Dr. Lars Jurzik, Dr. Marion Letzel, Prof. Dr. Tobias Licha, Prof. Dr. Jörg Oehlmann, Prof. Dr. Michael Wilhelm

Kernbotschaften

Trinkwasser

Kernbotschaft 1: Das Konzept der Ableitung gesundheitlicher Orientierungswerte (GOW) unterstützt den Vollzug der Trinkwasserverordnung in den Fällen, in den Stoffe im Trinkwasser auftreten, die bislang noch nicht mit einem rechtsverbindlichen Standard geregelt sind, jedoch aufgrund ihrer Trinkwasserrelevanz eines solchen bedürfen. Mit dem GOW-Konzept können Maßnahmenempfehlungen auch ohne rechtsverbindlich gesetzte Standards gegeben werden.

Kernbotschaft 2: Die Erweiterung des GOW-Konzepts durch experimentelle Module erlaubt eine zeitnahe Erhebung von

Daten, welche die wissenschaftliche Basis für die Ableitung der GOW erhöhen. Dies ist ein wesentliches Element für ein effektives Risikomanagement.

Kernbotschaft 3: Durch das erweiterte GOW-Konzept wird eine Priorisierung von Substanzen vorgenommen und das weitere Vorgehen zur toxikologischen Bewertung bestimmt.

Kernbotschaft 4: Die toxikologische Sicherheit des Trinkwassers kann durch die experimentell gestützte GOW-Ableitung gewährleistet werden.

Abwasser- und Oberflächenwasser

Kernbotschaft 1: Toxische Eigenschaften des Abwassers können mit einer vierten Reinigungsstufe auf Kläranlagen deutlich reduziert werden.

Kernbotschaft 2: Stoffliche Belastungen und ihre negativen Auswirkungen auf Gewässerorganismen können durch z. B. durch Ozonung mit einem nachgeschalteten biologischen Filter oder Aktivkohleadsorption

stoffspezifisch und effektiv vermindert werden.

Kernbotschaft 3: Alle untersuchten Reinigungstechniken haben hierbei Vor- und Nachteile. Welche Technologie vor Ort die beste Lösung ist, muss im Einzelfall unter den gegebenen spezifischen Bedingungen abgeklärt werden.

Kernbotschaft 4: Bereits ein Jahr nach Inbetriebnahme einer großtechnischen Pulveraktivstufe auf einer Kläranlage im Bodensee-Einzugsgebiet zeigten sich positive Auswirkungen auf das angeschlossene Gewässerökosystem. Der Gesundheitszustand der Gewässerorganismen lässt sich plausibel mit dem Ausbau der Kläranlage korrelieren.

Kernbotschaft 5: Ein systemspezifischer Ansatz, die Stoffe und deren (unbekannte)

Transformationsprodukte als Mischung anhand ihrer ökotoxikologischen Wirkung zu beurteilen, erwies sich als praktikables Vorgehen.

Kernbotschaft 6: Wirkungen anthropogener Spurenstoffe auf Mensch und Umwelt konnten im Berliner Wasserkreislauf für reale Konzentrationen während des Untersuchungszeitraums nicht nachgewiesen werden.

Keimbelastungen

Kernbotschaft 1: Abwassersysteme sind wichtige Eintragsquellen von fakultativ-pathogenen Bakterien und klinisch-relevanten Antibiotikaresistenzen, die so direkt in die aquatische Umwelt gelangen. Geeignete technische Verfahren müssen diese Verbreitungswege unterbrechen.

Kernbotschaft 2: Zur Bewertung der Ablaufqualität von Kläranlagen sind zusätzliche Qualitätsmerkmale sinnvoll und erforderlich: mikrobiologische Indikatorparameter (Resistenzgene, Pathogene, Viren), sowie die Etablierung von Überwachungskonzepten und die Einführung von mikrobiologischen Regularien.

Kernbotschaft 3: Molekularbiologische Methoden ergänzen und komplettieren

die standardisierten Kulturverfahren zur schnellen Erfassung mikrobiologischer Gefährdungen in aquatischen Systemen.

Kernbotschaft 4: Neue methodische Verfahren müssen in die Risikocharakterisierung im Hinblick auf Antibiotikaresistenzen und „new emerging pathogens“ integriert werden

Kernbotschaft 5: Trotz der Reduktion von Bakterien in der Abwasserbehandlung, z. B. durch die Ozonung, sind selektive Prozesse bei Mikroorganismen zu beobachten, die zu einer Akkumulation von Antibiotikaresistenzen führen und damit einer speziellen operativen Anpassung der Technologie bedürfen.

3.1 Toxikologische und ökotoxikologische Bewertung

Das Risikomanagement von anthropogenen Spurenstoffen bewegt sich im Konfliktfeld zwischen Gefährdung durch Che-

mikalien und ihrem Nutzen. Hier stehen unerwünschte Auswirkungen auf Umwelt und Mensch den bestimmungsgemäßen Eigenschaften und Wirkungen gegenüber. Daher steht zur Diskussion, wie reale Risiken sicher bewertet werden können.

Für die Risikocharakterisierung und -bewertung von Spurenstoffen in der Umwelt (Grundwasser, Trinkwasser, Oberflächenwasser, Abwasser, Boden, Luft) sind Kenntnisse zu adversen Effekten, die durch diese Stoffe hervorgerufen werden, sowie zu Schwellenwerten für das Auslösen dieser Wirkungen essentiell. Effekt-basierte Un-

tersuchungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass sie Chemikalienwirkungen endpunktspezifisch sammeln und integriert abbilden. In komplex belasteten Umweltpollen, deren chemische Zusammensetzung in der Regel im Detail unbekannt ist, können so Aspekte der Mischungstoxizität mit berücksichtigt werden. Effektdaten lie-

| Wirkmechanismus | ASKURIS | PRiMaT | RISK-IDENT | RiskAGuA | SAUBER+ | SchussenAktivplus | TOX-BOX | TransRisk |
|---|---------|--------|------------|----------|---------|-------------------|---------|-----------|
| Toxische Wirkungen | | | | | | | | |
| Gentoxizität | | o | o | o | o | o | o | o |
| Neurotoxizität | o | | | | | o | o | |
| Dioxinähnliche Toxizität/Biotransformation | o | | | | | o | | o |
| Zytotoxizität, Gewebeintegrität, Entzündung | | | o | | | o | o | o |
| Proteotoxizität | | | | | | o | | |
| Phytotoxizität | o | | o | | | o | | |
| Entwicklungstoxizität | | | o | | | o | o | |
| Reproduktionstoxizität | o | | o | | | o | o | o |
| Wachstum | | | o | o | o | o | o | o |
| Ökosystemintegrität | | | | | | o | | |
| Unspezifische Toxizität, Mortalität | o | | o | o | o | | | |
| Hormonartige Wirkungen | | | | | | | | |
| Östrogenität | | | | | | o | o | o |
| Anti-Östrogenität | | | | | | o | o | o |
| Androgenität | | | | | | o | | o |
| Anti-Androgenität | | | | | | o | | o |

fern sowohl Labor- und In-situ-Tests (Biotests), die die Toxizität von Chemikalien oder komplexen Umweltproben nach meist standardisierten Verfahren über apikale, populationsrelevante Endpunkte (z. B. Mortalität, Entwicklung, Wachstum, Fortpflanzung) ermitteln, als auch Biomarkerstudien zum Nachweis von Reaktionen in exponierten Organismen.

Im Rahmen von RiSKWa kamen Biotests mit sowohl apikalen Endpunkten als auch Biomarker als Effekt-basierte Methoden zur Bewertung von Spurenstoffen im Wasserkreislauf v.a. in den Verbundprojekten **RISK-IDENT**, **SchussenAktivplus**, **TOX-BOX** und **TransRisk** zum Einsatz. Einzelne wirkungsbezogene Aspekte wurden auch in den Verbundprojekten **ASKURIS**, **PRiMaT**, **RiskAGuA** und **SAUBER+** betrachtet. Bei **TOX-BOX** und **PRiMaT** stand die Bewertung von Trinkwasser-relevanten Stoffen bzw. deren Elimination im Vordergrund. Die anderen Verbundprojekte fokussierten sich auf die wirkungsbasierte Erfolgskontrolle der Spurenstoffelimination durch verschiedene Abwasserreinigungstechnologien. Im Detail werden die einzelnen Methoden im RiSKWa-Leitfaden „(Öko)toxikologische Bewertungsmethoden“ beschrieben. Tabelle 3.1 fasst zusammen, welche Effekte von den genannten RiSKWa-Verbundprojekten untersucht wurden.

Im Rahmen der Verbundprojekte **PRiMaT**, **RiskAGuA**, **RISK-IDENT**, **SAUBER+**, **SchussenAktivplus**, **TOX-BOX** und **TransRisk** wurden toxische Eigenschaften von Trinkwasser, Abwasser, Oberflächenwasser und Gewässersedimenten mit zahlreichen Biotestverfahren und Biomarkern untersucht. Hierbei wurden verschiedene Wirkmechanismen von stofflichen Belastungen betrachtet (s. Tabelle 3.1).

Humantoxikologische Belastungen und Bewertung

Anthropogene Spurenstoffe sind aufgrund ihrer Eigenschaften (u. a. Polarität, Persistenz und Mobilität) trinkwasser- und damit potentiell humanrelevant. Im Falle des analytischen Nachweises dieser Substanzen im Trinkwasser müssen diese in Bezug zur geltenden Trinkwasserordnung gemäß den §§ 4 und 6 (Besorgnisgrundsatz und Minimierungsgebot) bewertet werden. Für diese Fragestellung wird der gesundheitliche Orientierungswert (GOW) herangezogen. Der GOW ist ein gesundheitlicher Vorsorgewert für humantoxikologisch nur teil- oder nicht bewertbare Stoffe, ein Kriterium (Nichtbewertbarkeit), das im Falle der anthropogenen Spurenstoffe nahezu immer zutrifft.

Im **TOX-BOX**-Verbundprojekt wurden für die Ableitung der GOW *In-vitro*-Teststrategien entwickelt, die humanrelevante Wirkmechanismen (Gen- und Neurotoxizität, endokrine Wirkungen) erfassen. Zur Abklärung der Humanrelevanz werden stoffwechselkompetente Zelllinien eingesetzt, die sich als hochspezifisch hinsichtlich des menschlichen Stoffwechsels erweisen. Dadurch können Datenlücken geschlossen und die toxikologische Sicherheit erhöht werden. Das wiederum hat zur Folge, dass eine Über- bzw. Unterbewertung der Risiken minimiert werden kann, ein nicht unwesentlicher Aspekt in Bezug zur Gesamtzielstellung des Forschungsverbundes, dem wissenschaftsbasierten Risikomanagement.

Da sich aus der Höhe des GOW (abhängig von der Datenlage in einer Spannweite von 0,1 bis 3 µg/l) die jeweiligen Maßnahmen im Risikomanagement ergeben, muss das methodische Instrumentarium zur Erhebung der toxikologischen Daten verbindlich festgeschrieben werden. Für dieses Ziel wurden

allgemeine Leitlinien in Form von Entscheidungsbäumen formuliert.

Die detaillierte Beschreibung der Testbatterien und der Testprotokolle sind im Leitfaden „Gefährdungsbasiertes Risikomanagement für anthropogene Spurenstoffe zur Sicherung der Trinkwasserversorgung“ aufgeführt. Die in dieser Form abgeleiteten GOW werden durch das UBA unter dem Link www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/liste_der_nach_gow_bewerteten_stoffe_2.pdf veröffentlicht.

Die endpunktbezogene Teststrategie zur Ableitung der GOW umfasst folgende *In-vitro*-Testverfahren.

- Gentoxizität wird erfasst durch den Ames-, umu- und Mikrokerntest.
- Für die Testung auf neurotoxische Wirkungen werden Nekrose, Apoptose sowie die Entstehung von oxidativem Stress in Leber- und Nervenzellen gemessen.
- Mit dem Neurite Outgrowth-Test werden neuronenspezifische Effekte nachgewiesen.

Die Abbildung 3.1 zeigt die Ausprägung von Neuriten. Die Testbatterie zur Ermittlung endokriner Effekte besteht aus hormonspezifischen Reporterassays und dem H295R-Assay.

Ökotoxikologische Belastungen und Bewertung

In den Verbundprojekten **ASKURIS**, **PRiMaT**, **RiskAGuA**, **SAUBER+**, **SchussenAktivplus**, **Sichere Ruhr** und **TransRisk** wurden wirkungsbasierte Tests eingesetzt, um die Effizienz unterschiedlicher Reini-

gungstechnologien bzw. deren Kombination für die Reduktion von toxischen und hormonellen Wirkpotentialen im Abwasser zu charakterisieren. Ziel war es zudem zu zeigen, ob ggf. auch mit einer Erhöhung der Toxizität des Abwassers nach Einsatz der neuen Technologien, z. B. durch die Bildung von (ggf. noch unbekannt) Transformationsprodukten, zu rechnen ist. In diesem Zusammenhang waren Tests von besonderer Bedeutung, die gentoxische Effekte abbilden, da Transformationsprodukte oft radikalische Eigenschaften besitzen und mit der Erbsubstanz von Organismen interagieren können.

In RiSKWa kam eine breite Palette von Testverfahren zum Einsatz. Zum einen waren dies standardisierte Biotestverfahren, wie der Daphnien- oder Leuchtbakterientest, die als Screening-Methoden für hohe Toxizitäten geeignet sind und damit heutzutage in Europäischen Gewässern maximal Störfälle abbilden können. Zum anderen wurde

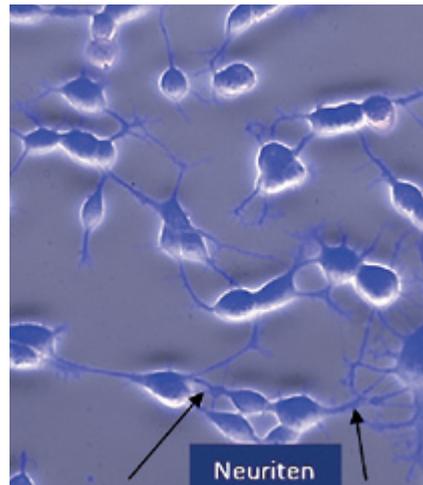


Abb. 3.1: Neuritendifferenzierung der Zellkultur SH-SY5Y zur Bewertung neurotoxischer Effekte © E. Dölling, Umweltbundesamt, Dessau)

eine große Palette moderner, sensitiver und z. T. selektiver und spezifischer *In-vitro*- und *In-vivo*-Wirktests eingesetzt. Durch diese können biologische Wirkpotentiale und Effekte in zahlreichen Facetten vom Molekül bis hin zum Ökosystem abgebildet werden.

Abhängig vom vorgesehenen Einsatzbereich weisen *In-vitro*- und *In-vivo*-Wirktests spezifische Vorteile auf. *In-vivo*-Tests werden mit intakten Organismen als Stellvertreter für Gewässer-Lebensgemeinschaften durchgeführt und weisen im Vergleich zu den *In-vitro*-Testverfahren eine höhere ökologische Relevanz auf. Während Akuttests in der Regel nicht sensitiv genug sind, um Wirkungen in Umweltproben auf typischem Belastungsniveau erfassen zu können, sind chronische Tests in besonderer Weise geeignet, ökologisch relevante Effekte von Substanzen auch in komplexen Cocktails im Oberflächenwasser, Sedimenten und in Abwasserproben abzubilden.

Die chronischen Tests sind aufgrund der Versuchsdauer jedoch aufwendig und daher eher für die Bearbeitung von Forschungsfragen als für die Routineüberwachung einsetzbar. Darüber hinaus erlauben sie nur ausnahmsweise die Erfassung spezifischer Wirkmechanismen der Toxizität. Diese Einschränkung kann zwar durch die parallele Untersuchung von Biomarkern neben den apikalen Endpunkten relativiert werden, erhöht aber den Aufwand bei der Durchführung und Auswertung der Tests weiter. Es hat sich daher bewährt, neben den *In-vivo*-Testverfahren mit intakten Organismen auch *In-vitro*-Assays einzusetzen, wie beispielsweise in den Verbundprojekten **SchussenAktivplus** und **TransRisk**.

Ein weiterer Aspekt zeigte sich bei der Untersuchung der weitergehenden Abwasserreinigungstechnik an einer Versuchs-

kläranlage im Verbundprojekt **TransRisk**. Einige der ausgewählten Testspezies in den chronischen *In-vivo*-Tests reagierten nicht nur auf Kontaminanten im engeren Sinne, sondern auch sensitiv auf Nährstoffe (Stickstoffverbindungen, Phosphor), erhöhte Salzgehalte und abfiltrierbare Schwebstoffe. Diese Reaktionen können die Auswirkungen von Mikroverunreinigungen überlagern. Ohne zusätzliche *In-vitro*-Untersuchungen ist dann nicht eindeutig zu klären, ob eine Beeinflussung der untersuchten Parameter (z. B. Biomasse, Wachstum und Fortpflanzung) auf die Elimination toxischer Substanzen bzw. die Bildung potentiell toxischer Transformationsprodukte oder auf andere Eigenschaften des Abwassers (z. B. Nährstoffgehalt) zurückzuführen ist.

Die Vorteile von *In-vitro*-Tests für die Effekt- erfassung und -bewertung von Umweltproben im Allgemeinen und Abwasserproben im Speziellen bestehen darin, dass die Tests sensitiv, spezifisch für einen gegebenen Wirkmechanismus sowie einfach und kostengünstig anzuwenden und damit für Routineuntersuchungen geeignet sind. Andererseits ist die ökologische Relevanz der Befunde eingeschränkt, da lediglich Wirkpotenziale, aber keine Effekte bei intakten Organismen erfasst werden. Zudem reduziert die hohe Spezifität der *In-vitro*-Tests beispielsweise die Möglichkeiten des Nachweises von Transformationsprodukten. Auch sind umfangreiche Testbatterien erforderlich, damit eine ausreichende Zahl relevanter Wirkmechanismen abgebildet werden kann.

Im Verbundprojekt **TransRisk** wurde ein Konzept für die vergleichende Bewertung weitergehender Abwasserbehandlungsverfahren entwickelt, das modular aufgebaut ist und chemisch-analytische, ökotoxikologische und mikrobiologische Parameter

umfasst. Für die ökotoxikologische Bewertung werden primär standardisierte *In-vitro*-Testverfahren berücksichtigt, für die entweder eine ISO-/DIN-Richtlinie oder eine Standardarbeitsanweisung (SOP) vorliegt. Hierbei wurden die folgenden ökotoxikologisch relevanten Aktivitätsgruppen einbezogen.

- **Endokrine Aktivitäten:** Erfassung agonistischer (rezeptoraktivierender) und antagonistischer (rezeptorhemmender) Wirkpotentiale am Östrogenrezeptor- α (ER α) und am Androgenrezeptor (AR) mit Hilfe rekombinanter Hefe-Reporterassays (YES, YAS, YAES, YAAS). Als methodische Alternativen können Proliferationsassays (z. B. E-Screen) oder Reporterassays auf Basis von Zelllinien eingesetzt werden (z. B. ER-Calux, AR-Calux).

- **Mutagene/gentoxische Aktivitäten** werden mit Hilfe des Ames-Fluktuations-tests (gemäß ISO 11350) erfasst. Zusätzlich oder als methodische Alternativen können andere Genotoxizitätsassays (z. B. umu-Test, Comet-Assay, Mikrokernest) eingesetzt werden.

- **Zytotoxische Aktivitäten** werden mit Hilfe von Säuger- (z. B. GH3), anderen Wirbeltierzelllinien (z. B. RTL-W1) oder mit Hilfe der Biolumineszenz-Hemmung bei Leuchtbakterien erfasst.

- **Weitere Aktivitäten** können im Bedarfsfall berücksichtigt werden, wie beispielsweise dioxinähnliche (erfasst in **Trans-Risk** mit Hilfe des Yeast Dioxin Screen als rekombinanter Hefe-Reporterassay), neurotoxische (z. B. Hemmung der Acetylcholinesterase) und/oder phytotoxische Wirkungen (z. B. Hemmung des Photosystems II).

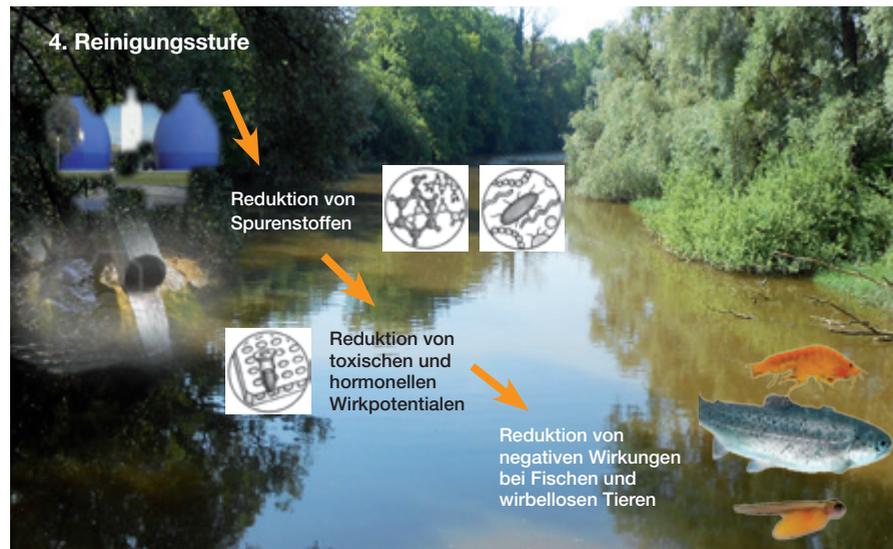


Abb. 3.2: Plausible Zusammenhänge zwischen der Reduktion von Spurenstoffen durch die vierte Reinigungsstufe auf Kläranlagen und einer verbesserten Ökosystemgesundheit, die durch Biotests indiziert werden konnte (© Universität Tübingen)

Um die Auswirkungen des großtechnischen Ausbaus einer Kläranlage mit Pulveraktivkohlefiltration auf ein Ökosystem des angeschlossenen Vorfluters zu dokumentieren, wurden im Verbundprojekt **SchussenAktiv-plus** neben Abwasserproben auch Oberflächenwasser und Sedimente auf toxische und hormonelle Wirkpotentiale hin untersucht. Zudem wurde der Gesundheitszustand von Fischen und Fischnährtieren vor und nach Ausbau der Kläranlage vergleichend betrachtet, wobei als diagnostische Methoden Biomarker eingesetzt wurden. Diese ermöglichen den generellen Gesundheitszustand von Organismen zu charakterisieren, erlauben aber darüber hinaus auch Rückschlüsse auf spezifische Belastungsfaktoren (z. B. gentoxische, dioxinähnliche oder östrogenartige Stoffe). Parallel zu den Biomarkerstudien wurden in Biota Spurenanalysen durchgeführt.

Bereits 15 Monate nach Anschluss des Filters ließen sich Verbesserungen im Gesundheitszustand der Gewässerorganismen plausibel mit dem Ausbau der Kläranlage korrelieren. Dies war sowohl für Fische als auch für invertebrate Gewässerorganismen der Fall. In diesem Verbundprojekt konnten plausible Zusammenhänge zwischen Antworten aus *In-vitro*-Tests für verschiedene Wirkmechanismen (dioxinähnliche, gentoxische, (anti)östrogene Toxizität) und Effekten bei im Freiland exponierten oder dort entnommenen Organismen, die mit Hilfe von Biomarkern nachgewiesen wurden, erarbeitet werden (s. Abbildung 3.2). Zudem konnten bestimmte adverse Effekte in Fischen und invertebraten Tieren sowie deren Reduktion nach Ausbau der Kläranlage mit der Präsenz von Spurenstoffen bzw. deren weitere Entnahme über die zusätzliche Reinigungsstufe korreliert werden.

Tab. 3.2: Zusammenfassung der mit Wirkuntersuchungen in RiSKWa erzielten Ergebnisse

| Verbundprojekt | Erzielte Ergebnisse |
|-------------------|---|
| PRiMaT | Es wurde ein praktikables Testverfahren im Labormaßstab entwickelt, das Anreicherungsverfahren und Wirkungstest sinnvoll kombiniert. Bei der Ozonung ausgewählter Spurenstoffe wurde keine Bildung gentoxischer Transformationsprodukte nachgewiesen. |
| RiskAGuA | Das ökotoxikologische Potential nimmt über den Prozess der Fermentation ab. |
| RISK-IDENT | Anthropogene Spurenstoffe werden in üblichen Kläranlagen bei der biologischen Abwasserreinigung nicht vollständig abgebaut. Mittels standardisierter Wirkuntersuchungen (Algen-Wachstums-Hemmtest, Ames-Fluktuations-test und 21d-Daphnientest) konnte gezeigt werden, dass sowohl die Restkonzentrationen als auch im Klärverlauf gebildete TP ökotoxikologisch relevant sein können. Auch bei einem nicht toxischen Abwasser im Zulauf können Transformationsprodukte entstehen, die für Gewässerorganismen schädlich sind. |

| | |
|--------------------------|---|
| SAUBER+ | <p>Unbehandeltes Rohabwasser aus zwei medizinischen Einrichtungen zeigte bis auf eine Hemmung der bakteriellen Lichtemission keine weiteren Anzeichen einer messbaren biologischen Schadwirkung. Diese im Rohabwasser beobachtete bakterientoxische Wirkung konnte in beiden Fällen bereits durch die Behandlung in einem Membranbioreaktor vollständig eliminiert werden. In den nachfolgenden Behandlungen mit granulierter Aktivkohle bzw. Ozon wurde keine Toxizität (Gentoxizität, Wachstumshemmung, Leuchthemmung) festgestellt.</p> <p>Eine deutliche Erhöhung der Toxizität (Bakterientoxizität und Gentoxizität) wurde dagegen nach der Behandlung eines der Abwässer mit UV-Strahlung und H₂O₂ nachgewiesen. Diese Toxizität wurde auf das noch vorhandene H₂O₂ zurückgeführt und blieb bei weiteren Versuchsreihen aus.</p> |
| SchussenAktivplus | <p>Eine Reduktion toxischer und hormoneller Wirkpotentiale im Abwasser durch Pulveraktivkohle, Ozon mit und ohne granulierter Aktivkohle und durch einen Retentionsbodenfilter um mehr als 80% konnte erreicht werden.</p> <p>Positive Auswirkungen eines großtechnischen Pulveraktivkohlefilters auf die Fischgesundheit sowie auf Fischnährtiere im Gewässer konnten belegt werden.</p> <p>Plausible Zusammenhänge bestehen zwischen den Ergebnissen aus chemischer Analytik, <i>In-vitro</i>-Tests und Biomarkerstudien.</p> <p>Die Relevanz von Antworten auf niedrigen biologischen Ebenen (Moleküle, Zellen) für ökosystemare Parameter (Lebensgemeinschaft des Makrozoobenthos) konnte nachgewiesen werden</p> |
| TOX-BOX | <p>Ein Leitfaden zur Festschreibung von <i>In-vitro</i>-Teststrategien zur Erfassung von Gefährdungspotenzialen für die bewertungsrelevanten Endpunkte Gen- und Neurotoxizität und endokrine Wirkungen wurde erstellt und gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) abgeleitet.</p> |
| TransRisk | <p>Eine Probenaufbereitungsmethode für die <i>In-vitro</i>-Testung von Wasserproben wurde entwickelt.</p> <p>Die Untersuchung endokriner Wirkpotentiale in Zu- und Abläufen von Kläranlagen im Donauried hat gezeigt: Elimination östrogenen und androgenen Aktivitäten $\geq 75\%$ und anti-östrogenen Aktivitäten $\leq 60\%$ gegenüber dem Zulauf. In einigen Grundwasserproben wurden anti-östrogene Aktivitäten detektiert.</p> <p>Toxische und hormonelle Wirkpotentiale im Abwasser konnten durch eine Ozonung mit und ohne nachgeschalteten Filtersystemen reduziert werden. Eine starke Zunahme mutagener und gentoxischer Wirkungen konnte nicht durch einen nachfolgenden Biofilter, aber durch eine nachgeschaltete GAK-Filtration reduziert werden.</p> <p>Ein modulares Bewertungskonzept für die Bewertung weitergehender Abwasserbehandlungsverfahren auf Basis chemisch-analytischer, ökotoxikologischer und mikrobiologischer Parameter wurde entwickelt.</p> |

3.2 Mikrobiologische Bewertung

Dieses Kapitel bezieht sich in vielen Punkten auf Ausführungen des RiSKWa-Statuspapiers „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen“, das die Ergebnisse des Querschnittsthemas „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“ beinhaltet [Exner & Schwartz, 2015].

Letztlich leiten sich aus den Schlussfolgerungen der RiSKWa-Verbundprojekte, die nachfolgend aufgelistet sind, die mikrobiologischen Bewertungen ab.

Sichere Ruhr

- Erstmalige quantitative Risikobewertung (QMRA) für in der Ruhr Badende: Gefährdung durch Darmvirusinfektionen am relevantesten.
- Erfolgreiche Öffentlichkeitsbeteiligung: hohes Interesse – Verständnis – Engagement für Badebetrieb in Medien und Öffentlichkeit.
- Technische Maßnahmen zur hygienischen Verbesserung bewertet: Mischwasser – Kläranlage – Landwirtschaft sind die Ansatzpunkte zur Verbesserung der Qualität.
- Leitfaden „Flussbaden“ beschreibt Gesetzesrahmen, Monitoring, Frühwarnsystem, Hygieneverbesserung, Kosten eines möglichen Badebetriebs, Kommunikation.
- Baden in deutschen Flüssen: „Interessengemeinschaft Baden“ versucht einen Probebetrieb an der Ruhr.

TransRisk

- Klinische und kommunale Abwässer tragen auch nach konventioneller Behandlung zum Austrag von fakultativ-pathogenen Mikroorganismen in die aquatische Umwelt bei.
- Klinisch relevante Antibiotikaresistenz-Determinanten werden teilweise häufiger in den untersuchten Abwässern bzw. Kläranlagenausläufen im Vergleich zu den Trägerorganismen nachgewiesen (Hinweis auf horizontalen Gentransfer).
- Eine vierte Reinigungsstufe für Kläranlagen führt bei Einsatz einer Ozonung zu einer weiteren Reduktion der Bakterienfracht und der fakultativ-pathogenen Mikroorganismen, aber nicht zu deren vollständiger Eliminierung.
- Antibiotika-resistente Bakterien im Abwasser erweisen sich zum Teil als widerstandsfähig gegenüber oxidativen Verfahren und überleben die Ozon-Behandlung.
- Oberflächenwässer mit Abwassereinfluss und sogar Grundwässer zeigen bezogen auf die Gesamtpopulation Belastungen mit fakultativ-pathogenen Mikroorganismen und Antibiotikaresistenz-Determinanten.

SchussenAktivplus

- Eine um Ozonung erweiterte Abwasserbehandlung führte zu einer zusätzlichen Reduktion der absoluten Konzentration fakultativ pathogener und Antibiotika-resistenter Keime im Kläranlagen-Ablauf.
- Während der Passage durch einen Filter kam es teilweise zu einer Erhöhung des Anteils an Antibiotika-resistenten *E. coli*-

Enterokokken- und Staphylokokken-Isolaten.

- Die Passage durch den Retentionsbodenfilter führte zu einer Reduzierung von *E. coli*, Enterokokken und Staphylokokken, die letztendlich in den Vorfluter abgeschlagen wurden.



Abb. 3.3: Mikrobiologische Bewertungskonzepte erleichtern beispielsweise den Nachweis der Wirksamkeit von Retentionsbodenfiltern
(© M. Scheurer, TZW, Karlsruhe)

ANTI-Resist

- Die Abundanz der *E. coli* wurde durch die Kläranlage verringert, aber der Anteil Antibiotika-resistenter *E. coli* verringerte sich nicht zwischen Zulauf und Ablauf der Kläranlage.
- Die Anzahl der Multiresistenzen in *E. coli* wurde durch die Kläranlage nicht signifikant reduziert, es findet trotz der Abreicherung ein Eintrag von multiresistenten *E. coli* in das nachgeschaltete Gewässer statt.
- Unabhängig von *E. coli*, zeigte die Dynamik der Resistenzgene des gesamten Zulaufs und Ablaufs der Kläranlage ein saisonales Muster.

AGRO

- Häufiger Nachweis von Resistenzgenen im Quellwasser einer Karstquelle sowie in den Oberflächengewässern im Einzugsgebiet.
- Es konnten relevante Antibiotikaresistenzgene in der untersuchten Karstquelle identifiziert werden: sul1, sul2, dfrA1, ermB.
- Starkregenereignisse führten zu einem deutlichen Anstieg der Anzahl nachgewiesener Antibiotikaresistenzgene und ihrer Genkopien im Quellwasser.

PRiMaT

- Validierung der PCR-Methode durch Vergleichsmessungen in unterschiedlichen Laboren erfolgreich durchgeführt.
- Reduktion von Resistenzgenen und Viren bei einem Säulenversuch zur Uferfiltration.
- Untersuchung und Validierung neuer Möglichkeiten (Luminex und EMA/PMA) zum Nachweis von humanpathogenen Viren im Wasser als Alternative zur Zellkultur.
- Die Untersuchung neuer Methoden zum Nachweis humanpathogener Viren hat eine wesentliche Bedeutung für die zukünftigen Untersuchungen von Oberflächen- und Abwasser hinsichtlich ihrer viralen Belastung.

RiMaTH

- Der molekularbiologische Nachweis von *Legionella* spp. im Trinkwasser (qPCR gemäß ISO/TS 12869) eignet sich nicht für eine Risikoabschätzung, da hier kein

Rückschluss auf das Vorhandensein von Krankheitserregern gezogen werden kann.

- Der molekularbiologische Nachweis von *Legionella pneumophila* im Trinkwasser (qPCR gemäß ISO/TS 12869) eignet sich hingegen – anders als bei *Legionella* spp. – bei der Verwendung eines noch genau zu bestimmenden alternativen Maßnahmenwertes gut für eine schnelle, vorläufige Risikoabschätzung bis zum Vorliegen der Ergebnisse mittels kulturell bestimmter Nachweisverfahren.
- Ein „Umrechnungsfaktor“ von genomischen Einheiten (GU) und koloniebildenden Einheiten (KBE) lässt sich nicht definieren.
- Die Ergebnisse der qPCR sind nicht gerichtsfest und können die gesetzlich geforderten kulturellen Analysen bisher nicht ersetzen!

SAUBER+

- Die Konzentrationen von resistenten Bakterien und das Resistenzspektrum im Abwasser der direkt beprobten medizinischen Einrichtungen unterschieden sich wenig untereinander und kaum von den Konzentrationen und Genen im öffentlichen Abwasser.
- Ubiquitär ließen sich neben Tetracyclin-Resistenzgenen auch Breitspektrum-β-Laktamase kodierende Sequenzen (ESBL, MBL) finden, nur vereinzelt aber waren gegen Methicillin oder Vancomycin resistente Bakterien nachweisbar.
- Analysen des öffentlichen Abwassersystems vor und nach dem Zufluss aus einem Pflegeheim mittels Hochdurch-

satz-Sequenzierungen bestätigten die kulturellen Ergebnisse. Aufgrund des Stands der Analysemethodik ist jedoch eine Bewertung der geringen Unterschiede schwierig.

Beim Nachweis von hygienisch relevanten Bakterien kommen in der Praxis häufig kultur-basierte Nachweismethoden zum Einsatz. Dies ist zum einen hauptsächlich historisch begründet, da moderne kultur-unabhängige Methoden noch relativ neu sind und sich andererseits relevante Regelwerke und Normen (z. B. TrinkwV, Badegewässer-RL, etc.) mit ihren Richt- und Grenzwerten auf kultur-basierte Methoden beziehen.

Neuere Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass auch nicht-kultivierbare Bakterien in aquatischen Proben vorhanden sein können, welche nicht notwendiger Weise tot sind. Sie befinden sich vielmehr in einem lebenden aber nicht-kultivierbaren Zustand (VBNC – viable but not cultivable).

Der Einsatz molekularbiologischer kultivierungsunabhängiger Methoden macht Sinn, da (I) die Ergebnisse teilweise deutlich schneller vorliegen und (II) die „Dunkelziffer“ der nicht-kultivierbaren aber dennoch vorhandenen Bakterien erfasst werden kann. Dies ist nötig, um eine Unterscheidung bei der hygienischen Bewertung zu ermöglichen.

Eine Möglichkeit, die Konzentrationen von Viren, Parasiten und Bakterien zu bewerten, ist die QMRA (quantitative microbial risk assessment) Methode. Um zudem die Ergebnisse international und fachgebietsübergreifend vergleichen zu können, könnte zusätzlich der DALY- (disability-adjusted life years) Ansatz zu Grunde gelegt werden.

Die aquatische Umwelt spielt zweifelsohne bei der Persistenz und Entwicklung von An-

tibiotikaresistenzen eine wichtige Rolle. Hier ist der horizontale Gentransfer als Möglichkeit der Übertragung von Pathogenitätsfaktoren zu benennen (s. Abbildung 3.4). Dies bezieht sich vor allem auf die Evolution von neuen, klinisch relevanten Antibiotikaresistenzen in der Umwelt, ohne die genauen Entwicklungsprozesse zu kennen.

Daten belegen, dass der Ursprung von klinisch relevanten Resistenzgenen auch in der Umwelt und nicht nur im klinischen Bereich zu finden ist. Diese Erkenntnisse zeigen den Zusammenhang von Evolution und Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in Kliniken und urbanen Umwelthabitaten. Für den Umweltbereich liegen jedoch keine umfassenden Daten vor, die es erlauben, eine Bewertung eines bestehenden Risikos durch Antibiotikaresistenzen vorzunehmen. Regularien wie die EU-Wasserrahmenrichtlinie [EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG)] fordern zwar einen guten biologischen und chemischen Status von Wasserkörpern mit Bezug auf spezifische Umweltqualitätsstandards. Krankheitserreger, wie auch

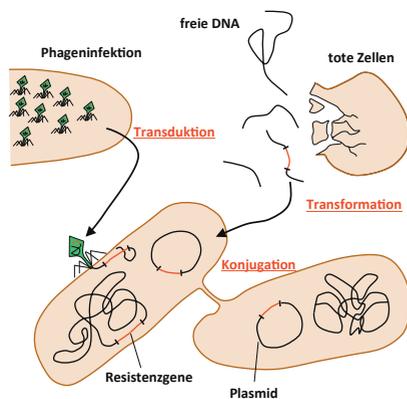


Abb. 3.4: Mechanismen des horizontalen Gentransfers in der aquatischen Umwelt

spezifische klinisch relevante antibiotikaresistente Bakterien bzw. Antibiotikaresistenzgene sind in nationalen und internationalen Regularien zurzeit aber nicht enthalten. Sie sollten jedoch Eingang in die entsprechenden Regularien finden.

Hierzu könnten dann gezielt kritische Bereiche (z. B. stark belastete Abwasserteilströme aus Kliniken oder Mastbetrieben) mit geeigneten Techniken behandelt werden, um Bakterienfrachten und damit das Verbreitungsrisiko von Antibiotikaresistenzen zu minimieren. Es bleibt festzustellen, dass es derzeit nicht möglich ist, einen Ist-Zustand der Verbreitung klinisch relevanter Antibiotikaresistenzen in der Umwelt zu beschreiben.

Einige wesentliche Parameter für die Bewertungskonzepte sind: (I) die Gesamt-Bakterienfracht, (II) Nachweisverfahren (Kultur-basiert und/oder DNA/RNA-basiert) (III) Häufigkeiten von hygienisch-relevanten Mikroorganismen, (IV) Häufigkeiten von klinisch-relevanten Resistenzdeterminanten inklusive mobilen genetischen Elementen, (V) Nachweis von Multi-Resistenzen, (VI) Wirkung der Aufbereitungstechniken (Reduktionspotentiale), etc.

Es müssen allgemein gültige Grenzwerte festgelegt werden, die ähnlich wie bei chemischen Parametern, bei Überschreitung ein Risikopotential erkennen lassen und Maßnahmen nach sich ziehen.

3.3 Mobilität und Persistenz

Neben der toxischen Bewertung von Stoffen ist auch eine Bewertung hinsichtlich ihrer Mobilität und Persistenz im Wasserkreislauf notwendig. Mobile Verbindungen (Anionen mit $\log D < 2,5$ sowie ungeladene Verbindungen mit $\log Kow < 2,5$), die gleichzeitig

persistent sind (Halbwertszeit >100 d), können die Barrieren im Multi-Barrieren-Konzept (s. Kapitel 5) überwinden und somit vereinzelt im Trinkwasser vorkommen. So wurden u. a. im Verbundprojekt **ASKURIS** Gabapentin und im Verbundprojekt **AGRO** Valsartansäure im Trinkwasser nachgewiesen. Zur besseren Beurteilung der Funktionalität von Barrieren wurde in RiSKWa ein verbundübergreifendes Indikator-konzept entwickelt [Jekel et al., 2015].

Zur gezielteren Bewertung von Mobilität und Persistenz in Karstgrundwasserleitern wurden im Verbundprojekt **AGRO** erstmals Markierungsversuche mit typischen abwasserbürtigen Spurenstoffen (Acesulfam K, Coffein, Ibuprofen, Natriumcyclamat, Paracetamol, Atenolol, Carbamazepin) durchgeführt. Zur Beurteilung von Mobilität und Stabilität wurden Retardationsfaktoren und Abbauraten im untersuchten Karstgrundwasserleiter bestimmt. Für keinen der untersuchten Stoffe konnte eine signifikante Retardation festgestellt werden. Jedoch konnte gezeigt werden, dass Atenolol, Coffein, Ibuprofen und Paracetamol im Röhrensystem des Grundwasserleiters leicht abbaubar sind. Cyclamat wurde innerhalb des Untersuchungszeitraums nicht abgebaut. Während die untersuchten Metabolite des Coffeins im Quellwasser nicht detektierbar waren, konnte mit dem Auftauchen des Atenolol-Biotransformationsproduktes Atenololsäure der Nachweis für eine stattfindende in-situ Biotransformation erbracht werden.

Im Verbundprojekt **RISK-IDENT** wurden Mobilität und Persistenz ausgewählter Stoffe in Laborkläranlagen und Aquifersäulen untersucht. Im Fokus waren u. a. Stoffe aus der blutdrucksenkenden Arzneimittelgruppe der Sartane. Bislang ist wenig über diese Stoffgruppe bekannt, obwohl ihre Ver-

schreibung in den letzten Jahren sehr stark angestiegen ist und sie gleichzeitig wegen ihrer unbekanntenen ökotoxikologischen Wirkung priorisiert wurden [Bergmann et al., 2011]. Auffallend war, dass die Elimination von fünf strukturell verwandten Sartanen (Valsartan, Candesartan, Eprosartan, Irbesartan und Olmesartan) während der Abwasserreinigung stark zwischen 8% (Olmesartan) und 97% (Valsartan) variierte [Bayer et al., 2014]. Die Sartane sind bei ambienten pH-Werten weder sorptiv noch flüchtig. Da die Elimination der Sartane folglich vorrangig über den biologischen Abbau verläuft, wird der variierende Abbaugrad vermutlich durch unterschiedliche funktionelle Gruppe im Molekül hervorgerufen. Es ist beispielsweise bekannt, dass die Biotransformation von Amiden rasch erfolgt [Helbling et al., 2010]. Übereinstimmend mit den gemessenen Eliminationen werden Valsartan und Irbesartan, beide mit Amidfunktion, schneller abgebaut als Candesartan und Olmesartan, die keine Amidgruppe haben. Der geringe sorptive Rückhalt bzw. die hohe Mobilität der Sartane zeigt sich auch im Auftreten der schlechter abbaubaren Sartane Candesartan und Olmesartan im Uferfiltrat (s. Kapitel 2.1).

3.4 Literatur

Bergmann, A.; Fohrmann, R.; Weber, F.-A. (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln (Compilation of environmental monitoring data of pharmaceuticals), Umweltbundesamt (Federal Environment Agency).

Bayer, A.; Asner, R.; Schüssler, W.; Kopf, W.; Weiss, K.; Sengl, M.; Letzel, M. (2014): Behavior of sartans (antihypertensive drugs) in wastewater treatment plants, their occurrence and risk for the aquatic environment. *Environmental science and pollution research international* 21(18), 10830-10839.

EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000). Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=OJ:L:2000:327:TOC>.

Exner, M.; Schwartz, T. (Eds) (2015): RiSKWa-Statuspapier „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen“ – Ergebnisse des Querschnittsthemas „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“, DECHEMA, Frankfurt am Main. www.bmbf.riskwa.de/de/downloads/RISKWA_Statuspapier_Mikrobiologie_2015_10_30.pdf.

Helbling, D.E.; Hollender, J.; Kohler, H.-P.E.; Fenner, K. (2010): Structure-Based Interpretation of Biotransformation Pathways of Amide-Containing Compounds in Sludge-Seeded Bioreactors. *Environ Sci Technol* 44, 6628-6635.

ISO 11350: ISO 11350:2012-05, Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Genotoxizität von Wasser und Abwasser – Verfahren mittels Salmonella/Microsom-Fluktuationstest (Amesfluktuationstest), Beuth Verlag, Berlin.

ISO/TS 12869: PD ISO/TS 12869:2012-12-31, Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Quantifizierung von Legionella und/oder Legionella pneumophila durch Konzentration und genetische Verstärkung mittels Polymerase-Kettenreaktion (RT-PCR), Beuth Verlag, Berlin.

Jekel, M.; Dott, W.; Bergmann, A.; Dünnebier, U.; Gnirß, R.; Haist-Gulde, B.; Hamscher, G.; Letzel, M.; Licha, T.; Lyko, S.; Miehe, U.; Sacher, F.; Scheurer, M.; Schmidt, C.K.; Reemtsma, T.; Ruhl, A.S. (2015): Selection of organic process and source indicator substances for the anthropogenically influenced water cycle. *Chemosphere* 125: 155–167.

4 Technologien zur Minderung von organischen Spurenstoffen und Krankheitserregern in der aquatischen Umwelt

Autoren: Prof. Dr. Martin Jekel, Dr. Laurence Palmowski, Prof. Dr. Johannes Pinnekamp

Kernbotschaften

Kernbotschaft 1: Multi-Barrieren-Systeme in der Trinkwasseraufbereitung bieten eine hohe Sicherheit gegen Krankheitserreger.

Kernbotschaft 2: Die Ertüchtigung von Regenüberlaufbecken und Kanalsystemen sind wesentliche Elemente im Einzugsgebiet zum nachhaltigen Schutz von Trinkwasserressourcen.

Kernbotschaft 3: Durch die Verfahrensoptionen Ozonung und/oder Aktivkohleadsorption können viele organische Spurenstoffe, (antibiotikaresistente) Krankheitserreger und ökotoxikologische Wirkungen aus Abwasser wirksam entfernt werden, mit zusätzlichen Kosten und Auswirkungen auf die Umwelt.

Kernbotschaft 4: Die Eliminationsleistungen der einzelnen Verfahren sind dabei abhängig von den Stoffen und von den Dosiermengen an Ozon bzw. Aktivkohle. Keine Technologie eliminiert aber bei vertretbarem Aufwand alle Verunreinigungen vollständig.

Kernbotschaft 5: Welche Technologie vor Ort die beste Lösung ist, muss im Einzelfall unter den gegebenen spezifischen Bedin-

gungen abgeklärt werden. Kombinationen verschiedener Verfahren können Vorteile bringen, wie z. B. die Elimination von Transformationsprodukten aus der Ozonung durch eine Aktivkohleadsorption.

Kernbotschaft 6: Als neuartige technische Methode zur Minderung von Spurenstoffen, die mit den üblichen Verfahren wie Ozonung und Aktivkohleadsorption nicht zufriedenstellend eliminiert werden können, hat sich die elektrochemische Oxidation mit bordotierten Diamantelektroden erwiesen.

Kernbotschaft 7: Arzneimittelrückstände, (antibiotikaresistente) Krankheitserreger und toxisch wirkende Substanzen können dezentral im Abwasser aus medizinischen Einrichtungen mit verschiedenen Technologien weitgehend eliminiert werden.

Kernbotschaft 8: Die Prozesse in einer Biogasanlage verringern das Aufkommen resistenter Bakterien und Resistenzgene in Abwässern aus der Intensivtierhaltung signifikant und führen zu einer Risikoreduktion für Mensch und Tier. Hingegen werden Schwermetalle (z. B. Kupfer, Zink) durch die Vergärung von Gülle in Biogasanlagen nicht zurückgehalten.

4.1 Einleitung

Durch den Einsatz verschiedener Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen können Spurenstoffe und Krankheitserreger aus

Rohwasser und Abwasser eliminiert werden [DWA, 2015]. Im Rahmen der RiSKWa-Verbundprojekte wurde eine Vielfalt dieser Verfahren angewandt und (weiter)entwickelt (s. Tabelle 4.1).

Tab. 4.1: Übersicht über die in den RiSKWa-Verbundprojekten untersuchten Technologien zur Elimination von Spurenstoffen und Krankheitserregern, differenziert nach Einsatzbereich

| | | ASKURIS | SAUBER+ | RISK-IDENT | SchussenAktivplus | Sichere Ruhr | TransRisk | RiskAGuA | PRIMaT |
|---|--|---------|---------|------------|-------------------|--------------|-----------|----------|--------|
| Adsorption | PAK | | | | | | | | |
| | GAK | | | | | | | | |
| | Polymerkohle | | | | | | | | |
| Oxidation | Ozonung | | | | | | | | |
| Bestrahlung und AOP | UV | | | | | | | | |
| | UV + H ₂ O ₂ | | | | | | | | |
| | O ₃ + H ₂ O ₂ | | | | | | | | |
| | H ₂ O ₂ | | | | | | | | |
| | elektro-chem. Verfahren | | | | | | | | |
| (Membran-) Filtration | Membranbioreaktor | | | | | | | | |
| | Biofilter | | | | | | | | |
| | Mehrschichtfilter | | | | | | | | |
| | Langsamsandfilter | | | | | | | | |
| | Druckgetriebene Membranen | | | | | | | | |
| | Elektrodialyse | | | | | | | | |
| Besondere Verfahren zur Niederschlagswasserbehandlung | Retentionsbodenfilter | | | | | | | | |
| | Lamellenklärer | | | | | | | | |
| | Perameisensäure | | | | | | | | |

Trinkwasseraufbereitung
 Abwasserreinigung
 Behandlung landwirtschaftlicher Abfälle

Die Verfahren der Ozonung und der Adsorption an Aktivkohle finden zurzeit eine breite großtechnische Anwendung in der Trinkwasseraufbereitung und zunehmend Anwendung in der weitergehenden Abwasserreinigung. Dies spiegelt sich in der Häufigkeit der in den Verbundprojekten untersuchten Varianten wider. Über diese Technologien hinaus wurden in einigen Verbundprojekten weitere Verfahren auf Eignung zur Elimination von Spurenstoffen und Krankheitserregern geprüft. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren vorgestellt, bevor auf ihre Anwendung zunächst in der Trinkwasseraufbereitung und anschließend in der Abwasserreinigung eingegangen wird.

4.2 Technologien zur Elimination von organischen Spurenstoffen und Krankheitserregern¹

Adsorption

Der Einsatz von Aktivkohle zur Elimination von organischen Spurenstoffen erfolgt entweder als pulverförmige Aktivkohle im Eirührverfahren oder in Form von granulierter körniger Aktivkohle in durchströmten Festbettfiltern.

Verfahren auf Grundlage von Pulveraktivkohle

Pulveraktivkohle (PAK) wird dem Wasser als konzentrierte Suspension zudosiert. Im sogenannten Kontaktverfahren wird PAK in einem separaten, ggf. kaskadierten Becken (Kontaktbecken) mit dem zu reinigenden Wasser vermischt und anschließend abgetrennt. Die Trennung kann über Sedimentation unter Zuhilfenahme von Fällungs- und Flockungshilfsmitteln erfolgen. In diesem Fall wird der Sedimentation eine Filtration über einen Sandfilter nachgeschaltet, um

feinste PAK-Partikel zurückzuhalten. Alternativ zur Sedimentation können andere Trennverfahren (Tuchfilter, Membranen etc.) eingesetzt werden. Bei der Anwendung in der Abwasserbehandlung findet die PAK-Zugabe während oder nach der mechanisch-biologischen Reinigung statt. Im letzteren Fall kann die beladene „Überschusskohle“ dem Belebungsbecken zugeführt und mit dem Überschussschlamm aus dem System entnommen werden.

Zur Elimination einer breiten Palette an organischen Spurenstoffen haben sich beim Kontaktverfahren PAK-Dosen von 10 bis 20 g/m³, hydraulische Verweilzeiten im Kontaktreaktor von 30 min und PAK-Verweilzeiten in der Adsorptionsstufe (bestehend aus Kontaktbecken, Sedimentation und Schlammrückführung in den Kontaktreaktor) von 6 bis 9 Tagen als optimal erwiesen (u.a. [Metzger, 2010]).

Verfahren auf Grundlage von Granulierter Aktivkohle

Granulierte Aktivkohle (GAK) wird als Schüttung in Filtern eingesetzt, durch die das zu reinigende Wasser im Ab- oder Aufstrom gefördert wird (s. Abbildung 4.1). Aktivkohlefilter können parallel und in Reihe betrieben werden. Die Ausführung kann in geschlossener und offener Bauweise erfolgen, wobei in geschlossenen Druckfiltern höhere Filtergeschwindigkeiten erzielt werden können. Die Filtration über GAK findet in der Abwasserbehandlung nach der mechanisch-biologischen Reinigung statt.

Übliche Filtergeschwindigkeiten und Leerbettverweilzeiten liegen in der Größenordnung von 5 bis 10 m/h bzw. 10 bis 30 min (vgl. [Sontheimer et al., 1985; Metcalf und Eddy Inc., 2004; Worch, 2012]).

¹ modifizierter Auszug aus [Pinnekamp et al., 2015]

In der Aktivkohleschüttung bildet sich für die spezifische Wasserzusammensetzung und die gewählten Verfahrensparameter ein charakteristisches, stoffspezifisches Konzentrations- und Beladungsprofil aus. Die örtliche Lage dieser Profile im Filter verändert sich mit der Laufzeit. Entsprechend des durchgesetzten Wasservolumens resp. der zugeführten Adsorptivmenge (organische Spurenstoffe) nimmt die substanzspezifische Elimination durch den Aktivkohlefilter sukzessive ab. Ist die Abscheideleistung nicht mehr ausreichend, muss die GAK ausgetauscht werden. Diese kann im Unterschied zur PAK thermisch reaktiviert und anschließend wiederverwendet werden, allerdings mit gewissen Verlusten bis zu 10 %.



Abb. 4.1: Untersuchungen zur Adsorption an granulierte Aktivkohle im Verbundprojekt SchussenAktivplus
(© SchussenAktivplus)

Je nach Feststoffgehalt im Filterzulauf und biologischem Bewuchs sind Aktivkohlefilter periodisch rück zu spülen, um abfiltrierte Feststoffe auszutragen. Zur störungsfreien Ausbildung des Konzentrationsprofils ist die Rückspülhäufigkeit zu minimieren. Durch eine Vorfiltration kann die Rückspülhäufigkeit reduziert werden. Neben der adsorptiven Wirkung finden auch biologische Abbauvorgänge in Aktivkohlefiltern statt [Sontheimer et al., 1985].

Oxidation mit Ozon

Ozon ist ein sehr starkes Oxidationsmittel und kann entsprechend die Inhaltsstoffe des Rohwassers oder Abwassers chemisch



Abb. 4.2: Pilotanlage zur Ozonung aus dem Verbundprojekt SAUBER+
(© ISA, RWTH Aachen)

oxidieren. Hierbei wird zwischen der selektiven, direkten Reaktion und der unspezifischen, indirekten Reaktion über Bildung von Hydroxyl-Radikalen unterschieden. Neben der Oxidation bewirkt Ozon auch eine Desinfektion und eine Entfärbung des Wassers [von Gunten und von Sonntag, 2012].

Ozon ist ein instabiles Gas und muss entsprechend vor Ort aus Luft oder aus gelagertem Sauerstoff erzeugt werden. Der entstehende ozonhaltige Gasstrom wird anschließend in einem Kontaktreaktor mit dem Wasser vermischt (s. Abbildung 4.2). Bei der Anwendung in der Abwasserbehandlung wird eine Anlage zur Ozonung üblicherweise der Nachklärung einer mechanisch-biologischen Anlage nachgeschaltet. Eine ausreichende Reaktionszeit muss durch die hydraulische Verweilzeit im Reaktor gewährleistet werden. Diese hängt u.a. von der Reaktorbauweise (s. a. [ARGE, 2014]) ab. Aufgrund der toxischen Wirkung des Ozons bei hohen Konzentrationen sind entsprechende Sicherheitsmaßnahmen durchzuführen (bspw. Abluftreinigung zur Restozonvernichtung).

Mit einer üblicherweise zur Spurenstoffelimination eingesetzten spezifischen, auf der Ozonzehrung basierenden Dosierung von 0,6 – 0,8 mg O₃/mg DOC (Bandbreite von 0,3 bis 1,2 mg O₃/mg DOC (vgl. [ARGE, 2014])) werden die Inhaltsstoffe des Rohwassers bzw. des Abwassers nicht mineralisiert, sondern in neue Substanzen umgewandelt. Die bei der Ozonung entstehenden Transformationsprodukte sind meist leichter biologisch abbaubar als die ursprünglichen Spurenstoffe. Jedoch sind Umweltverhalten und Toxizität der entstehenden Transformationsprodukte noch nicht gänzlich geklärt. Deswegen wird eine biologisch aktive Nachbehandlung, wie beispielsweise ein Sandfilter, empfohlen [Abegglen & Siegrist, 2012].

Bestrahlung und Advanced oxidation processes

UV-Bestrahlung

Die häufigste Anwendung einer UV-Bestrahlung in der Wasserwirtschaft ist die Desinfektion, die sich den mechanischen, biologischen und/oder chemischen Verfahrensschritten der Trinkwasseraufbereitung und teilweise der Abwasserreinigung anschließen kann. Bei richtiger Auslegung der Bestrahlungszeit und UV-Strahler (Niederdruckstrahler mit einer Wellenlänge von 220 – 280 nm) wird eine effektive Reduktion von Bakterien, Viren und Parasitendauerstadien erreicht, indem DNA photolytisch zerstört wird [Metcalf & Eddy Inc., 2004].

Durch die Anwendung von UV-Bestrahlung werden einige organische Spurenstoffe (z. B. Diclofenac) ebenfalls photolytisch abgebaut. Für eine nicht-selektive Elimination organischer Wasserinhaltsstoffe werden Vakuum-UV-Strahler (Wellenlänge < 200 nm) eingesetzt. Dabei werden aus Wassermolekülen Hydroxyl-Radikale gebildet, die – wie bereits im Abschnitt Oxidation mit Ozon erwähnt – ein hohes Oxidationspotential besitzen und nicht-selektiv organische Spurenstoffe oxidieren. Der Energiebedarf dieser UV-Bestrahlung ist allerdings sehr hoch.

Advanced oxidation processes

Advanced oxidation processes (AOP) bezeichnen eine Reihe von Verfahren zur chemischen Aufbereitung im Wesentlichen organischer und in Einzelfällen auch anorganischer Stoffe in der Abwasserbehandlung oder Wasseraufbereitung durch Oxidation mit Hydroxyl-Radikalen. Allen AOP gemeinsam ist die Bildung der Hydroxyl-Radikale aus einem Oxidationsmittel (Ozon, Wasserstoffperoxid, Sauerstoff oder Wassermolekül) mit zusätzlichem Energieeintrag (UV-Strahlung oder Elektrolyse) oder

Katalysatoren (Titandioxid, Polyanilin oder Eisen(II)-Ionen). Einmal gebildet, reagieren Hydroxyl-Radikale in der Regel diffusionskontrolliert sehr schnell und unspezifisch mit oxidierbaren Stoffen. Dabei werden organische Moleküle sehr schnell fragmentiert und bei Bedarf anschließend auch teilweise mineralisiert, allerdings bei sehr hohen Dosiermengen an Oxidantien. Viele dieser AOP-Varianten sind bisher nicht in den technischen Einsatz gelangt, u.a. wegen des vergleichsweise hohen Energieeinsatzes.

Filtration und Membranfiltration

Durch den Einsatz einer Filtration oder einer Membranfiltration können partikuläre und durch bestimmte Verfahrensvarianten auch gelöste Stoffe von der wässrigen Phase abgetrennt werden.

Sand- und Biofilter

In einigen Kläranlagen kommt zur Nachreinigung des mechanisch-biologisch-chemisch behandelten Abwassers auch eine Sandfiltration zur Anwendung. Steht genügend Fläche zur Verfügung, wird die Filtration nicht als klassische Schnellsandfiltration mit Filtergeschwindigkeiten von 5 – 15 m/h ausgeführt, sondern in Form eines Filters mit deutlich geringeren Filtergeschwindigkeiten im Bereich von 0,1 – 0,2 m/h. Die Filter werden bei der Trinkwasseraufbereitung als Langsandsandfilter eingesetzt.

Im Wasserüberstand wie im Filterkörper selbst finden Prozesse (wie Sonneneinstrahlung, UV-Wirkung, biologischer Abbau, Adsorption) statt, die dazu führen, dass nicht nur partikulär vorliegende Spurenstoffe eliminiert werden, sondern auch gelöst vorliegende Verbindungen.



Abb. 4.3: Ultrafiltrationsmembranen zur Aufbereitung von Oberflächenwasser
(© DEHEMA, Frankfurt am Main)

Werden im Filter sowohl Sauerstoff als auch Nährstoffe in ausreichender Menge zugeführt, so kann sich auf dem Filtermaterial ein Biofilm bilden, der durch biologische Abbauvorgänge zur Reinigung des Wassers beitragen kann. Die Verwendung von Aktivkohle als Filtermaterial anstelle inerte Materialien (wie Quarzsand oder Blähton) kann durch Kombination von Adsorption und biologischen Abbauvorgängen die Elimination organischer Wasserinhaltsstoffe verbessern.

Membranfiltration

Die in der Wasseraufbereitung am häufigsten eingesetzten Membranen sind druckgetriebene Membranen, bei denen zur Passage durch die Membran eine Druckdifferenz aufgebaut wird (s. Abbildung 4.3). In Abhängigkeit der Größe der zurückgehaltenen Partikel bzw. Moleküle unterscheidet man zwischen Mikro-, Ultra- und Nanofiltration sowie Umkehrosmose. Mit abnehmender Porengröße der Membran steigt der aufzubringende Druck.

Aufgrund ihrer Porengröße können Mikrofiltrationsmembranen (Porendurchmesser: 0,1 – 5 µm) Bakterien zurückhalten, Ultrafiltrationsmembranen (0,006 – 0,2 µm) zusätzlich noch Viren. Organische Spurenstoffe können wegen ihrer geringen Molekülgröße diese Membranen in der Regel passieren. Auf der Membran angelagerte Feststoffe verringern im Laufe des Betriebs die Porenweite, so dass feinere Partikel zusätzlich zurückgehalten werden. Nanofiltrationsmembranen (0,001 – 0,01 µm) sind in der Lage, fast alle Arzneimittel zurückzuhalten. Bei der Umkehrosmose passieren nur Wasser, Ionen und kleine Moleküle durch Lösungsdiffusionsvorgänge die Membran.

Bei der Elektrodialyse wird ein elektrisches Feld als treibende Kraft für die Abtrennung elektrisch geladener Moleküle verwendet.

Die Wirksamkeit für geladene organische Spurenstoffe ist allerdings eher gering gegenüber den einfachen Salzen. Dies zeigten die Ergebnisse des Verbundprojekts **PRiMaT**.

Besondere Verfahren zur Niederschlagswasserbehandlung

Die Niederschlagswasserbehandlung beruht vornehmlich auf dem Rückhalt partikulärer Stoffe zur Minderung der Gewässerbelastung. Durch einen verbesserten Feststoffrückhalt bei der Behandlung des Mischwassers kann die Entnahme von partikulär vorliegenden Spurenstoffen erhöht werden. Hierzu können Lamellenklärer und Retentionsbodenfilter eingesetzt werden.

Lamellenklärer

Die Wirkung der auf Sedimentation beruhenden Abscheidung von Feststoffen in Regenüberlaufbecken kann erhöht werden, indem die hydraulische Oberflächenbeschickung auf Werte ≤ 10 m/h vermindert wird. Alternativ können als Ergänzung in bestehenden Bauwerken (Regenüberlaufbecken) oder als eigenständige neu zu erstellende Einheit Lamellenklärer eingebaut werden, bei denen durch Lamellen die wirksame Oberfläche vergrößert wird. Es folgt eine Verminderung der an den Lamellen vorliegenden hydraulischen Oberflächenbeschickung auf Werte zwischen 3 – 5 m/h (entsprechend einer Beckenoberflächenbeschickung ≤ 30 m/h), wodurch eine gute Feststoffabtrennung erreicht wird [Dohmann et al., 2003].

Retentionsbodenfilter

Eine weitere Möglichkeit zur Verminderung der Feststoffe besteht darin, den Ablauf aus Regenüberlaufbecken oder Stauraumkanälen in einem Retentionsbodenfilter weiter zu behandeln. Dabei passiert das Mischwasser einen bepflanzen Filter, in dem Stoffrückhalt und -abbau stattfinden. Der

Ablauf des Retentionsbodenfilters ist praktisch feststofffrei.

Durch den Aufbau einer Biozönose im Filtersand entstehen zusätzliche Sorptionskapazitäten. Dadurch können u.a. sauerstoffzehrende Verbindungen, insbesondere Ammonium, bei der Filterpassage bis zum Erreichen der Filterkapazität adsorbiert und während der Trockenphase bis zur nächsten Beschickungsphase umgesetzt werden. Krankheitserreger werden ebenfalls minimiert [Waldhoff, 2008]. Einige Spurenstoffe können zurückgehalten und teilweise biologisch abgebaut werden, wobei bislang noch keine ausreichende Datengrundlage für die je nach Stoffgruppe zum Tragen kommenden Prozesse vorliegt [Tondera et al., 2013].

Perameisensäure

Perameisensäure kann zur Desinfektion von Wasser und Abwasser eingesetzt werden. Aufgrund der oxidativen Wirkung der Säure werden Zellwand und DNA von Krankheitserregern zerstört. In der Literatur werden Konzentrationen von 5-6 mg/l sowie Reaktionszeiten von 5 bis 45 Minuten empfohlen [Gehr et al., 2009; Maya et al., 2012].

4.3 Technologien zur Gewinnung und Aufbereitung von Trinkwasser

Eine sichere Trinkwasserversorgung beruht auf der Auswahl von qualitativ und quantitativ hochwertigen Wasservorkommen. Nach den grundlegenden Prinzipien, wie sie in der DIN 2000 [DIN 2000] formuliert sind, sind Grundwässer aus ausreichenden Tiefen mit gut geschützten Grundwasserleitern ohne anthropogene Beeinträchtigungen die am besten geeigneten Rohwässer, wozu in der Regel nur einfache Aufbereitungsverfahren ohne Desinfektionsstufe (Enteisung und

Entmanganung, Entsäuerung) nötig sind. Sind diese Voraussetzungen regional nicht einzuhalten, werden oft zusätzliche Aufbereitungsstufen inklusive einer Desinfektion erforderlich.

Die Sicherstellung eines einwandfreien Trinkwassers umfasst im Sinne des WHO-Water Safety Plans (bzw. des Technischen Sicherheitsmanagements, TSM) das Multi-Barrieren-Prinzip (s. auch Kapitel 5) mit den Stufen des Schutzes der Rohwasservorkommen, der z. T. mehrstufigen Aufbereitung und der qualitativ sicheren Trinkwasserverteilung. Die Trinkwasserverordnung [Trinkwasserverordnung, 2015] in der neuesten Fassung vom 18.11.2015 enthält die mikrobiologischen und chemischen Parameter zur geforderten Trinkwasserqualität am Zapfhahn des Verbrauchers. Hinzu kommen die Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) als Empfehlungen des Umweltbundesamtes für nicht regulierte Spurenstoffe, die einen lebenslang sicheren Genuss des Trinkwassers beschreiben [Umweltbundesamt, 2015].

Die Beeinträchtigung der Rohwasserqualitäten ist schon lange sowohl bei allen Oberflächengewässern, bei vielen von Oberflächengewässern beeinflussten Grundwässern (Uferfiltrate, künstliche Grundwasseranreicherung) und bei durch anthropogene Einflüsse veränderten Grundwässern bekannt. Als Folge der Defizite im Gewässerschutz in den Jahren seit ca. 1970 war es schon seinerzeit nötig, bereits auf weitergehende Aufbereitungsverfahren wie Ozon und Aktivkohle zurückzugreifen, auch um damals analysierbare Spurenstoffe (wie organische Halogenverbindungen, als AOX) zu entfernen und die hygienischen Risiken mittels Aufbereitungs- und Desinfektionsverfahren zu beherrschen. In der modernen Trinkwasseraufbereitung liegen also langjährige

Erfahrungen und umfangreiche Ergebnisse spezifisch zu Ozon und Aktivkohle (vor allem zu Festbettadsorbentien mit GAK) vor.

Weil die Qualität des genutzten Rohwassers in der Regel die Auswahl der Verfahren und die Verfahrenskombinationen bestimmt, sollen hier die wichtigsten Rohwassertypen unterschieden werden, um übliche Verfahren zu beschreiben. Der Schwerpunkt liegt auf organischen Spurenstoffen und Krankheitserregern.

Fließgewässer

In Deutschland sind nur wenige Aufbereitungsanlagen für die direkte Flusswasseraufbereitung zu finden, z. B. an der Donau oder an der Warnow. Der Verfahrensweg sieht dabei eine Feststoffabtrennung mit Flockung und Sedimentation, eine Schnell-

filtration, eine Ozonung vor oder nach dem Schnellfilter, eine GAK-Filtration (adsorptiv und/oder biologisch als BAK) und eine chemische Desinfektion mit Chlor oder Chlordioxid vor. Die Spurenstoffelimination findet dabei vor allem über die Transformationsreaktionen in der Ozonung und die Adsorption (auch biologischen Abbau) in den Aktivkohlefiltern statt. Für die Abtrennung bzw. Inaktivierung der Pathogene sind die Feststofftrennverfahren und die Desinfektion vorhanden. Somit sind jeweils mindestens zwei Barrieren etabliert, neben Rohwasserschutz und Verteilung.

Sehr viel häufiger ist die indirekte Fließgewässernutzung über die Uferfiltration (an Flüssen wie Elbe, Spree, Havel und Rhein, s. Abbildung 4.4) oder die künstliche Grundwasseranreicherung mit und ohne Vorreinigungs- oder Nachreinigungsverfahren.



Abb. 4.4: Uferfiltration am Rhein (© Rheinenergie AG, Köln)

Essentiell ist die seit langem bekannte und nachhaltige Reinigung durch die Untergundpassage mit ihrer multiplen Wirkung auf Wasserinhaltsstoffe (Partikel, Organika, Pathogene). Es ist aber auch feststellbar, dass einige polare und sehr persistente organische Spurenstoffe hierbei nicht entfernbar sind, wie der Komplexbildner EDTA oder das Pharmazeutikum Primidon, die man daher sogar als internen Tracer verwenden kann. Die umfangreichen Forschungsarbeiten zur Untergundpassage zeigen die wichtigen Einflüsse von Redoxpotentialen (von aerob über anoxisch zu anaerob) auf das Ausmaß des Abbaus. So sind einige Stoffe nur aerob, andere dagegen nur anaerob biotransformierbar. Die absichtliche Einstellung von Redoxzonen ist nur bei der Grundwasseranreicherung möglich. Die Uferfiltration verläuft aufgrund der lokalen Parameter an Flüssen mit guter Qualität eher aerob und zeigt an Seen fast immer anaerobe Verhältnisse. Die detaillierte Liste der im Untergrund abbaubaren Spurenstoffe ist dem Leitfaden zu Spurenstoffen zu entnehmen [Jekel et al., 2013]. Die Abtrennung von Pathogenen in der Bodenpassage ist in der Regel sehr gut bis vollständig. Hierzu wird oft die 50-Tage-Regel eingesetzt, wonach bei einer Verweilzeit von 50 Tagen in einem Porengrundwasserleiter die Mikroorganismen so sicher abgetrennt werden, dass eine anschließende Desinfektion nicht nötig ist.

Stehende Gewässer (Seen und Talsperren)

Die Trinkwassergewinnung aus sehr gut geschützten Seen und Talsperren beruht im Wesentlichen auf einer Feststoffabtrennung mittels Flockung und Schnellfiltration sowie einer Desinfektion (u.a. auch mit UV-Licht). Organische Spurenstoffe anthropogener Herkunft sind dann zu finden, wenn es im

Einzugsgebiet Einträge aus Abwässern oder der Landwirtschaft gibt oder wenn durch die Eutrophierung zeitweise algenbürtige Belastungen auftreten (Geruch und Geschmack, Algentoxine). Dann sind wieder die Stufen Ozonung und Aktivkohle (z. T. als Dosierung von PAK vor den Schnellfiltern) eingeschaltet, ähnlich zur direkten Flusswasseraufbereitung.

Belastete Grundwässer

Die hohe Zahl an belasteten Grundwässern hat zu erheblichen Aufwendungen in der Reinigung geführt, die oft aus einer Belüftung für leichtflüchtige Verbindungen und einer Aktivkohlefiltration bestehen. Auslöser für die Belastungen sind Einträge von Pestiziden und deren Metaboliten, von flüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen, von Aliphaten und Aromaten aus Mineralölen, aus Rüstungsaltslasten sowie aus kontaminierten Böden und Bodenzusatzstoffen. Bei schweren Kontaminationen und bei technologisch mit vertretbarem Aufwand nicht entfernbaren Stoffen muss auf die Nutzung für Trinkwasserzwecke verzichtet werden, weil die Qualitätssicherung nicht mehr möglich ist.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die frühzeitige Integration der weitergehenden Trinkwasseraufbereitungsverfahren (Ozon, Aktivkohle) sehr wesentlich zur Sicherstellung einer einwandfreien Trinkwasserqualität in Deutschland beigetragen hat. Viele Erfahrungen aus diesem Bereich können daher auf die Ozonung oder Aktivkohleanwendung im Abwasserbereich übertragen werden, bei jedoch deutlichen Unterschieden in den Konzentrationen an organischen Substanzen (Hintergrundorganik als DOC oder CSB sowie Spurenstoffe).

4.4 Anwendung der Technologien zur Emissionsminderung bei der Abwasserreinigung

Der Eintrag von anthropogenen Spurenstoffen und Krankheitserregern über das Abwasser in die Gewässer ist vielfach dokumentiert und kann neben einer Bedrohung des aquatischen Lebensraums auch die Qualität von Trinkwasser z. B. bei der Gewinnung von Uferfiltrat beeinträchtigen.

Ziele der Anwendung eines Verfahrens oder einer Verfahrenskombination bei der Abwasserreinigung können sein:

- Erfüllung zu erwartender gesetzlicher Vorgaben,
- Vorsorge beim Schutz von Trinkwasserreserven,
- Verminderung ökotoxikologischer Wirkungen im Gewässer und/oder
- Verminderung hygienischer Belastungen im Gewässer.

Die innerhalb der RiSKWa-Verbundprojekte untersuchten oder angewandten Technologien zur Elimination von Krankheitserregern, Spurenstoffen sowie toxisch wirkenden Substanzen im Abwasserbereich lassen sich in drei Einsatzbereiche untergliedern: die weitergehende Abwasserreinigung (sog. vierte Reinigungsstufe) auf kommunalen Kläranlagen im Anschluss an die Nachklärung (s. Abbildung 4.5), die Behandlung von Mischwasser aus Entlastungsbauwerken und die separate Behandlung an Punktquellen (s. Tabelle 4.2). Erzielte Projektergebnisse werden im Folgenden für diese Einsatzbereiche vorgestellt (s. auch [RiSKWa, 2015]).

Weitergehende Abwasserbehandlung auf kommunalen Kläranlagen

Im Verbundprojekt **ASKURIS** konnten Spurenstoffkonzentrationen sowohl mit einer Ozonung als auch mit dem Einsatz von Aktivkohle (PAK bzw. GAK) im Ablauf einer kommunalen Kläranlage verringert werden. Bei keinem der Verfahren konnten negative Effekte der Behandlung auf die Gentoxizität beobachtet werden. Für die Ozonung reichte eine spezifische Ozondosis von 0,7 mg/mg_{DOC} für eine weitergehende Elimination vieler untersuchter Spurenstoffe aus. Die Bromatkonzentration blieb unter dem Trinkwassergrenzwert von 10 µg/l. Aus den Untersuchungen zu biologischen Verfahren, die für die Elimination von Transformationsprodukten einer Ozonung nachgeschaltet



Abb. 4.5: Nachklärbecken in der konventionellen Abwasserreinigung
(© ISA, RWTH Aachen)

Tab. 4.2: Übersicht über die untersuchten Einsatzbereiche bei der Abwasserbehandlung (mit dazugehörigem Untersuchungsumfang)

| Verbundprojekte | Weitergehende kommunale Abwasserreinigung | Mischwasserbehandlung auf kommunalen Kläranlage | Separate Behandlung an Punktquellen |
|-------------------|---|---|-------------------------------------|
| ASKURIS | | | |
| RiskAGuA | | | |
| RISK-IDENT | | | |
| SAUBER+ | | | |
| Sichere Ruhr | | | |
| SchussenAktivplus | | | |
| TransRisk | | | |

Elimination von Krankheitserregern
 Elimination von organischen Spurenstoffen
 Elimination von toxischen, ökotoxischen und/oder hormonellen Wirkpotentialen

wurden, kann festgehalten werden, dass in diesen nachgeschalteten, biologischen Stufen nur in Ausnahmefällen eine zusätzliche Spurenstoffelimination stattfand. Dabei konnte die Konzentration an N-Nitrosodimethylamin (NDMA) unterhalb des Trinkwasserwertes von 10 ng/l gesenkt werden. Die Zugabe von PAK ist gleichfalls gut geeignet für die Elimination verschiedener Spurenstoffe, jedoch für eine andere Auswahl als bei der Ozonung. Die PAK-Dosierung sollte dabei proportional zum DOC erfolgen, wobei PAK/DOC-Verhältnisse von ca. 1,5 bis 2 mg/mg als geeignet erscheinen.

Eine Diamantelektrode wurde im Verbundprojekt **RISK-IDENT** zur Erzeugung hochreaktiver Hydroxyl-Radikale eingesetzt. Der Betrieb zeigte, dass das neuartige, energieeffiziente Verfahren einfach zu handhaben ist und die ökotoxikologische Wirkung des biologisch vorbehandelten Abwassers unterhalb der Nachweisgrenze gesenkt werden kann. Forschungsbedarf besteht noch bei der Minimierung entstehender anorganischer Nebenprodukte wie Chlorat und Perchlorat. Potentiale werden insbesondere

beim Abbau von Spurenstoffen gesehen, die mit den üblichen Verfahren wie Ozonung und Aktivkohleadsorption nicht zufriedenstellend eliminiert werden können. Eine vorläufige Abschätzung der Verfahrenskosten (Anlagenabschreibung, Prozessverbrauchsmaterial und Energiekosten) lieferte Werte von 0,08 bis 0,2 €/m³ für eine entsprechende Spurenstoffelimination.

Im Verbundprojekt **Sichere Ruhr**, bei dem der Fokus der Untersuchungen auf einer Senkung der mikrobiologischen Belastung lag, konnten Kläranlagenabläufe sowohl durch UV-Bestrahlung als auch durch Ozonung effektiv hygienisiert werden.

Eine effiziente Elimination von Spurenstoffen wurde im Verbundprojekt **SchussenAktivplus** für alle untersuchten Verfahren beobachtet, wobei die Eliminationsleistung von den jeweiligen chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften abhängig war. So ließ sich beispielsweise das Korrosionsschutzmittel 1H-Benzotriazol besser mittels Aktivkohle als durch den Einsatz von Ozon eliminieren. Hingegen war die Ozonung ef-

fektiver als eine Aktivkohleadsorption zur Elimination von Carbamazepin. Folglich stellte die Kombination beider Verfahren die effektivste Behandlungstechnik für die Gesamtheit der analysierten Verbindungen dar. Die Konzentration an antibiotikaresistenten Bakterien konnte durch alle getesteten Verfahren gesenkt werden, am geeignetsten erwiesen sich die Kombinationen Ozonung und Sandfilter sowie Ozonung mit GAK-Filtration. Zur Reduktion der hormonellen und toxischen Wirkpotentiale waren auch eine alleinige PAK-Dosierung (s. Abbildung 4.6) sowie eine alleinige GAK-Filtration sehr effektiv.

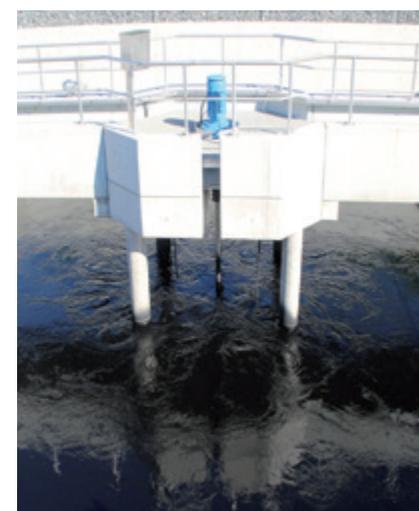


Abb. 4.6: PAK-Dosierung auf der Kläranlage Langwiese im Verbundprojekt SchussenAktivplus
 © SchussenAktivplus

Die Ergebnisse des Verbundprojektes **TransRisk** zeigen, dass bei der Ozonung von biologisch behandeltem Abwasser Transformationsprodukte entstehen. Analysiert wurden neben diversen Mikroverunreinigungen auch zwei Transformationsprodukte (Tramadol-N-Oxid und COFA). Die in

der Ozonung gebildeten Transformationsprodukte konnten in den nachgeschalteten Biofiltern nicht eliminiert werden. Durch die nachgeschalteten Aktivkohlefilter konnte hingegen eines der betrachteten Transformationsprodukte (Tramadol-N-Oxid) zurückgehalten werden. Auch die nach der Ozonung verbliebenen Spurenstoffe konnten im Gegensatz zu den Biofiltern durch die Aktivkohlefilter weiter eliminiert werden. Darüber hinaus konnte mit der Kombination von Ozonung und Aktivkohlefiltration der (filtrierte) CSB dauerhaft unter den Schwellenwert des Abwasserabgabegesetzes gesenkt werden. Eine Rückführung von ozoniertem Abwasser in die biologische Behandlungsstufe zeigte keine Effekte auf die Elimination von Spurenstoffen und den betrachteten Transformationsprodukten. In *in-vitro* Tests wurden eine abnehmende östrogenartige Aktivität und eine zunehmende anti-östrogenartige Aktivität bei steigender Ozondosis beobachtet. In *in-vivo* Tests wurden keine Hinweise auf Toxizität nach den Behandlungen gefunden. Eine Reduktion der Gesamtbakterienzahl konnte durch die Ozonung erreicht werden, dabei stieg prozentual der Anteil an antibiotikaresistenten Bakterien an.

Mischwasserbehandlung auf kommunalen Kläranlagen

Im Verbundprojekt **SchussenAktivplus** lieferte der Retentionsbodenfilter, im Gegensatz zum Lamellenklärer, gute Ergebnisse bezüglich des Rückhalts von Spurenstoffen, Bakterien sowie hormonellen und toxischen Wirkpotentialen. Die Eliminationsleistung war vergleichbar mit der einer biologischen Stufe in Kläranlagen.

Aus der im Verbundprojekt **Sichere Ruhr** durchgeführten Bilanzierung der bakteriellen und viralen Einträge in die Gewässer

wird empfohlen, Behandlungen an den Regenüberlaufbecken durchzuführen, um die hygienische Belastung der Gewässer nach Regenereignissen zu reduzieren. Je nach technischen Möglichkeiten und räumlichen Randbedingungen können Retentionsbodenfilter, Lamellenklärer, Desinfektion mit UV-Strahlung oder Perameisensäure eingesetzt werden.

Dezentrale Abwasserreinigung an Punktquellen

Im Verbundprojekt **SAUBER+** wurde die Möglichkeit einer separaten Behandlung von Abwässern aus Einrichtungen des Gesundheitswesens untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass Arzneimittelrückstände, (antibiotikaresistente) Krankheitserreger und toxisch wirkende Substanzen dezentral im Abwasser aus medizinischen Einrichtungen mit verschiedenen Technologien weitgehend eliminiert werden können. Keine Technologie eliminiert aber bei vertretbarem Aufwand alle Verunreinigungen bis unterhalb der Bestimmungsgrenze. Weiterhin stellte sich heraus, dass eine dezentrale Behandlung der Abwässer aus Einrichtungen des Gesundheitswesens nur in Einzelfällen sinnvoll ist. Einrichtungen des Gesundheitswesens können signifikante Punktquellen für einzelne Arzneimittel darstellen, sind es generell aber nicht. Für die untersuchten Einrichtungen des Gesundheitswesens konnte kein höherer Eintrag von Arzneimittelrückständen, toxisch wirkenden Substanzen sowie antibiotikaresistenten Bakterien oder Genen als aus Haushalten festgestellt werden. Abweichungen sind bei weiteren Einrichtungen des Gesundheitswesens nicht auszuschließen, so dass Einzelfallbetrachtungen mit gezielten Untersuchungen notwendig sind. Hierzu wird der im Verbundprojekt **SAUBER+** entwickelte Emissionscheck empfohlen.

Die Gülleaufbereitung durch Fermentation in Biogasanlagen wurde im Verbundprojekt **RiskAGuA** untersucht. Bei dieser Behandlung konnten eine Reduktion kultivierbarer und bekannter pathogener Bakterien sowie eine Reduktion der resistenten Gene erreicht werden, ohne Anreicherung resistenter Mikroorganismen. Durch die Passage eines Schlaufenreaktors mit druckgetriebenen Membranen nahmen die Antibiotikakonzentrationen aus den Gärresten und der Gülle ab, während multiresistente Erreger teilweise eliminiert werden konnten.

4.5 Fazit

Für eine bestimmte Anwendung hängt die Auswahl des geeigneten Verfahrens von vielen Faktoren ab und kann mithilfe von Bewertungskriterien, die entsprechend der definierten Zielsetzung für jeden Standort gewichtet werden können, getroffen werden. Die Bewertungskriterien, die im Leitfaden „Begriffe und Definitionen zu ausgewählten Technologien zur Elimination von Spurenstoffen und Krankheitserregern aus Abwasser“ (s. [Pinnekamp et al., 2015]) detaillierter vorgestellt werden, lassen sich in folgende Kategorien unterteilen:

- Kriterien zur Wirtschaftlichkeit
- Kriterien zu Aufwand/Technik/Betrieb
- Kriterien zur Ökologie und zur Ökobilanz
- Kriterien zum Ressourcen- und Energieverbrauch
- Kriterien zu arbeitstechnischen Aspekten

4.6 Literatur

Abegglen, C.; Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bericht vom Bundesamt für Umwelt, Bern.

ARGE (2014): Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen. Schlussbericht Phase II der „Arbeitsgemeinschaft Spurenstoffe NRW, Teilprojekt 6“ (ARGE), gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV).

DIN 2000 (2000): Zentrale Trinkwasserverordnung: Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser – Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen; Technische Regel des DVGW.

Dohmann, M.; Buer, T.; Stepkes, H.; Krisam, J.; Arndt, D. (2003): Einsatz von Lamellenabscheidern in Mischwasserbehandlungsanlagen. Schlussbericht zu dem vom BMBF geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen.

DWA (2015): DWA-Themenband „Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf Kläranlagen“.

Gehr, R.; Chen, D.; Moreau, M. (2009): Performic Acid (PFA): Tests on an Advanced Primary Effluent Show Promising Disinfection Performance. *Water Science and Technology* 59 (1), 89-96.

Jekel, M.; Dott, W.; Bergmann, A.; Dünnebier, U.; Gnirß, R.; Haist-Gulde, B.; Hamscher, G.; Letzel, M.; Licha, T.; Lyko, S.; Miehe, U.; Sacher, F.; Scheurer, M.; Schmidt, C.K.; Reemtsma, T.; Ruhl, A.S. (2013): RiSKWa-Leitfaden „Polare organische Spurenstoffe als Indikatoren im anthropogen beeinflussten Wasserkreislauf“, Ergebnisse des Querschnittsthemas „Indikatorsubstanzen“. DECHEMA, Frankfurt am Main. www.bmbf.riskwa.de/_media/RISKWA_Leitfaden_Indikatorsubstanzen.pdf.

Maya, C.; Chávez, A.; Lucario, E.; Hernández, E.; Jiménez, B. (2012): Resistance of a wide spectrum of microorganisms to diverse disinfection systems to produce safe reuse water. *Disinfection of Water, Wastewater and Biosolids Conference*, Nov. 2012, Mexico.

Metcalf und Eddy Inc. (2004): *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*, McGraw-Hill, New York.

Metzger, S. (2010): Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Dissertation der TU Berlin, Oldenbourg Industrieverlag.

Pinnekamp, J.; Letzel, M.; Palmowski, L. (2015): Begriffe und Definitionen zu ausgewählten Technologien zur Elimination von Spurenstoffen und Krankheitserregern aus Abwasser. Leitfaden im Querschnittsthema „Abwassertechnik“ der BMBF Fördermaßnahme RiSKWa. www.bmbf.riskwa.de/de/downloads/RISKWA_Leitfaden_Abwassertechnik.pdf.

RiSKWa – Wissenschaftliches Begleitvorhaben der BMBF-Fördermaßnahme „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“ (2015): Präsentationen im Rahmen der Abschlussveranstaltung, Berlin, 10./11. Februar 2015, www.bmbf.riskwa.de/de/1372.php (letzter Zugriff am 3.7.2015).

Sontheimer, H.; Frick, B.R.; Fettig, J.; Hörner, G.; Hubele, C.; Zimmer, G. (1985): Adsorptionsverfahren zur Wasserreinigung, Karlsruhe.

Tondera, K.; Koenen, S.; Pinnekamp, J. (2013): Survey monitoring results on the reduction of micropollutants, bacteria, bacteriophages and TSS in retention soil filters. *Water Science and Technology*, 68 (5), 1004-1012.

Trinkwasserverordnung (2015): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001), Neufassung vom 18.11.2015.

Umweltbundesamt (2015): Liste der nach GOW bewerteten Stoffe, Fassung vom März 2015. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/mediu/374/dokumente/liste_der_nach_gow_bewerteten_stoffe_0.pdf.

Von Gunten, U.; von Sonntag, C. (2012): *Chemistry of Ozone in Water and Wastewater Treatment: From Basic Principles to Applications*. IWA Publishing.

Waldhoff, A. (2008): Hygienisierung von Mischwasser in Retentionsbodenfiltern (RBF). Dissertation, <https://kluedo.uni-kl.de/frontdoor/index/index/docId/1825>, Kassel.

Worch, E. (2012): Adsorption technology in water treatment – fundamentals, processes and modeling. De Gruyter, Berlin.

5 Managementkonzepte zum Umgang mit Spurenstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf

Autoren: Dr. Wolf Merkel, Prof. Dr. Traugott Scheytt

Kernbotschaften

Gewässerschutz

Kernbotschaft 1: Die Minderung von Schadstoffeinträgen aus Landwirtschaft, Haushalten und Industrie, die Vermeidung von unnötigen Arzneimittelgaben in der Human- und Tiermedizin sowie die Entwicklung von umweltverträglichen Arzneistoffen

sind wirkungsvolle Maßnahmen für den Schutz der Gewässer.

Kernbotschaft 2: Gewässerreinigung zahlt sich aus: Deutsche Fließgewässer können für die zeitweise Badenutzung geeignet sein.

Trinkwasser

Kernbotschaft 1: Die Bevölkerung wird durch die Trinkwasserverordnung wirkungsvoll geschützt, ergänzt durch das Konzept zur Ableitung von toxikologisch begründeten „Gesundheitlichen Orientierungswerten“ für bislang unbekannte Stoffe im Wasserkreislauf, die (noch) nicht mit einem rechtsverbindlichen Standard geregelt sind.

Barrieren entfernt Krankheitserreger und Schadstoffe effektiv.

Kernbotschaft 4: Der Water Safety Plan-Ansatz geht über den Verantwortungsbereich des Wasserversorgungunternehmens hinaus und umfasst nicht nur technische, sondern auch organisatorische Maßnahmen: Berücksichtigung der unterschiedlichen Barrierenwirkung von Karst- und Porengrundwasserleitern, Monitoringkonzepte, Schutzmaßnahmen in Einzugsgebieten, Vorsorge vor extremen Witterungen und verantwortungsvoller Betrieb von Hausinstallationen sind beispielhaft wichtige Bausteine eines vorsorgenden Risikomanagements im Sinne des Multi-Barrieren-Konzepts.

Kernbotschaft 3: Das bewährte Aufbereitungskonzept der deutschen Wasserversorgung mit mehrfachen technischen

Abwasser

Kernbotschaft 1: Die Einführung einer weitergehenden vierten Reinigungsstufe für Kläranlagen und die Ertüchtigung der Mischwasserbehandlung verbessern die ökologische Gewässerqualität und sind wirkungsvolle Schutzmaßnahmen für Gewässer mit hohem Abwasseranteil.

nachträglich behandelt werden, für Abwässer aus Einrichtungen des Gesundheitswesens ist nur in Einzelfällen eine separate Behandlung sinnvoll.

Kernbotschaft 2: Belastete Abwässer aus landwirtschaftlichen Betrieben sollten

Kernbotschaft 3: Der Ausbau von ausgewählten Kläranlagen und gezielte Maßnahmen zur Mischwasserbehandlung sind mit einer moderaten finanziellen Belastung des einzelnen Bürgers verbunden.

5.1 Einleitung

Spurenstoffe und Krankheitserreger sind Gefährdungen im Wasserkreislauf. Die davon ausgehenden Risiken müssen angemessen beherrscht werden. Das zur Sicherstellung einer angemessenen Risikobeherrschung angewandte Verfahren wird als Risikomanagement bezeichnet. Nach DIN EN 15975 ermöglicht ein einheitliches und systematisch prozessorientiertes Risikomanagement, Risiken zu analysieren und zu vergleichen.

dungswirkung. Zum Beispiel umfasst das Risikomanagement der europäischen Badegewässerrichtlinie weit mehr als zwei hygienische Grenzwerte und bezieht das gesamte Risikoumfeld der Badestelle mit ein. Das Multi-Barrieren-Konzept als ein anderes Beispiel ist ein Risikomanagement-Ansatz, der im Grundsatz von der Fehlbarkeit einer einzelnen Schutzbarriere für ein sicheres Trinkwasser ausgeht und deshalb in jedem Falle eine Redundanz fordert. Das Multi-Barrieren-Konzept ist dann auch Bestandteil des Risikomanagement-Ansatzes des Water Safety Plans der WHO oder Grundlage des geltenden DVGW-Regelwerks für sicheres Trinkwasser.

Im folgenden Kapitel „Risikomanagement“ werden schwerpunktmäßig die Managementkonzepte der Verbundprojekte in RiSKWa zum Umgang mit Spurenstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf vorgestellt. Die technischen Verfahren werden im Kapitel 4 behandelt. Fallbeispiele zum Risikomanagement aus den RiSKWa-Verbundprojekten sind auf der Homepage der Fördermaßnahme (www.bmbf.riskwa.de) dargestellt.

Die wichtigsten Management-Ansätze für chemische Stoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf im Zusammenhang mit den Projektansätzen in RiSKWa sind im Folgenden dargestellt. Die Ansätze bauen teilweise aufeinander auf und sind deshalb methodisch nicht überschneidungsfrei – beispielsweise ist das Multi-Barrieren-Konzept ein wichtiger Baustein im Water Safety Plan. Für einen möglichst breiten Überblick zu den RiSKWa-Beiträgen wurden teilweise methodische Unschärfen akzeptiert.

Bestehende Konzepte zum Risikomanagement kommen aus unterschiedlichen Geltungsbereichen und unterscheiden sich in ihrer Ausprägung und rechtlichen Bin-

Multi-Barrieren-Konzept

Verbesserungen der Rohwasserbeschaffenheit bzw. die Absicherung erreichter Qualität sind durch ein vielfältiges Bündel nicht nur technischer, sondern auch organisatorischer und personeller Maßnahmen in der Prozesskette von der Rohwasserressource über das Wasserwerk bis zum Zapfhahn möglich. Das Multi-Barrieren-Konzept zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung sieht als erste Barriere den Schutz des Einzugsgebietes vor, als zweite Barriere die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik durchgeführte Gewinnung, Aufbereitung, Speicherung und Transport des Trinkwassers sowie die fachgerechte Installation des Hauswassers als dritte Barriere. Dieser Ansatz wird als „Multi-Barrieren-Konzept“ bezeichnet und zählt in Deutschland seit vielen Jahrzehnten zu den Eckpfeilern der Trinkwasserversorgung (s. Abbildung 5.1). Dabei gilt das Prinzip der Ursachenvermeidung: Der Ausschluss oder die Verhinderung von Qualitätsbeeinträchtigungen in den Prozessschritten hat Vorrang vor späteren Korrekturen, die aufwendig umzusetzen und ggf. nur bedingt wirksam sind. Zu be-



Abb. 5.1: Uferfiltration am Rhein (Düsseldorf) – natürliche Barriere für sicheres Trinkwasser (© TZW, Karlsruhe)

achten ist, dass jede Barriere ein wichtiges Element für das Funktionieren des Gesamtsystems ist – keine Barriere darf auf Kosten einer anderen vernachlässigt werden. Durch diese Schritte wird die notwendige Strukturqualität sichergestellt.

Water Safety Plan (WSP)

In den Leitlinien für Trinkwasserqualität der Weltgesundheitsorganisation [WHO, 2005] wird die Anwendung eines systematischen und vorbeugenden, speziell auf die Wasserversorgung zugeschnittenen Managementansatzes empfohlen, das Water Safety Plan-Konzept (WSP-Konzept). Es zielt auf die maßgeschneiderte Analyse, Bewertung und Beherrschung von Risiken in einem Versorgungssystem durch eine Kontrolle der Prozesse im Einzugsgebiet sowie bei Gewinnung, Aufbereitung, Speicherung und Verteilung ab. Das WSP-Konzept ist unter anderem im DVGW-Regelwerk als Technischer Hinweis W 1001 [DVGW W 1001] verankert.

Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW): Konzept zur Bewertung von Spurenstoffen

Zur Bewertung von Stoffen im Trinkwasser, deren humantoxikologisch bewertbare Datenbasis nicht gegeben oder unvollständig ist, empfiehlt die Trinkwasserkommission einen pragmatischen gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) in Höhe von $GOW = 0,1 \mu\text{g/l}$ als erste Bewertungsbasis. Voraussetzung ist, dass deren mögliche Anwesenheit im Trinkwasser nicht durch einen Grenzwert, sondern lediglich durch die Anforderungen des § 6(1) der Trinkwasserverordnung [TrinkwV 2001] geregelt ist. In Abhängigkeit von der gesundheitlichen Bedeutung des toxischen Endpunktes sowie der Dichte der hierzu gehörigen Da-

tenbasis kann auf gesundheitlich lebenslang duldbare Höchstwerte oberhalb des GOW geschlossen werden. Für Stoffe ohne Wirkungsschwelle (gentoxische Stoffe) werden gesundheitlich akzeptierbare, d. h. risikobasierte gesundheitliche Leitwerte auch unterhalb des GOW abgeleitet [Umweltbundesamt, 2003].

Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)

Es handelt sich hierbei um eine Methode, um Risiken durch mikrobiologische Gefährdungen aufgrund unterschiedlicher Expositionswege zu ermitteln. Die quantitative mikrobiologische Risikobeurteilung ist die Anwendung von Prinzipien der Risikobeurteilung hin zu der Abschätzung von Konsequenzen für eine mögliche oder aktuelle Exposition gegenüber unterschiedlichen Konzentrationen von Mikroorganismen. Das QMRA hat vier Komponenten: Identifizierung einer Gefährdung, Abschätzung der Exposition, Ermittlung der Dosis-Wirkungsbeziehung und Risikocharakterisierung.

DALY

DALY ist eine Abkürzung aus dem Englischen mit der Bedeutung disability-adjusted life years oder auch disease-adjusted life years (lost). Mit diesem Konzept soll die Bedeutung verschiedener Krankheiten auf die Gesellschaft gemessen werden. Auch soll die Effizienz von Vorbeugung und Behandlung messbar werden. Mit DALY wird nicht nur die Sterblichkeit, sondern auch die Beeinträchtigung des normalen, beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit erfasst und in einer Maßzahl ausgedrückt. Es wird dabei die Zahl der verlorenen Lebensjahre durch vorzeitigen Tod kombiniert mit dem Verlust an Lebenszeit durch Behinderung bzw. Erkrankung. Letzterer wird auch als

verlorene Lebensjahre berechnet, multipliziert mit einem bestimmten Faktor je nach Höhe der Behinderung bzw. Stärke der Erkrankung.

Kosteneffiziente Maßnahmenprogramme nach Art. 11 EG-WRRL

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) schreibt bis zum Jahr 2009 die Aufstellung von Maßnahmenprogrammen zur Erreichung der festgelegten Qualitätsziele für Gewässer vor (s. Abbildung 5.2). Die Auswahl soll nach Kosteneffizienz-Kriterien erfolgen [EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG)].

EG-Badegewässer-Richtlinie (2006) bzw. NRW Badegewässerverordnung (2007)

Die Badegewässerverordnung von Nordrhein-Westfalen (NRW) verlangt verpflichtende Messungen von Indikatorbakterien an Badestellen. Für *E. coli* liegt der Grenzwert bei 1.800 koloniebildenden Einheiten pro 100 Milliliter (KBE/100ml). Hinsichtlich der intestinalen Enterokokken liegt der Grenzwert bei 700 KBE/100ml. Werden diese



Abb. 5.2: Naturnahe Gewässer – das Leitbild der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (© H. Feldwisch)

Werte bei einer Kontrolle überschritten, ist innerhalb von vier Tagen eine Nachkontrolle notwendig. Liegen bei dieser Nachkontrolle die Messergebnisse wieder über dem Grenzwert, wird ein Badeverbot erlassen [EG-Badegewässer-Richtlinie, 2006 bzw. NRW Badegewässerverordnung, 2007].

5.2 Entwicklung von Managementkonzepten im Rahmen von RiSKWa und deren Umsetzung

In mehreren RiSKWa-Verbundprojekten wurden Beiträge zu bestehenden Management-Konzepten erarbeitet, die von der exemplarischen Umsetzung über Weiterentwicklungen von Teilelementen bis hin zur Neudefinition von Bewertungskonzepten reichen. In der nachfolgenden Tabelle 5.1 werden die RiSKWa-Verbundprojekte mit ihren Beiträgen zu bestehenden Management-Konzepten aufgelistet und im folgenden Text kurz beschrieben.

Das **Multi-Barrieren-Konzept** wird durch die Beiträge aus mehreren RiSKWa-Verbundprojekten unterfüttert, eindeutig sind hier die Beiträge aus **AGRO**, **ASKURIS** und **SchussenAktivplus** zu nennen. In **AGRO** wurde das Rohwasser an einer Karstquelle mit einem sehr gut charakterisierten Einzugsgebiet mit einer Vielzahl an Methoden auf Krankheitserreger und Spurenstoffe untersucht. Diese Ergebnisse wurden auf die Landnutzung, den Eintrag und den Grundwasserleiter mittels Microbial Source Tracking und mit dem Indikatoransatz bezogen, um Vorhersagen zu den Auswirkungen von Managementmaßnahmen vornehmen zu können. Der Schwerpunkt der Untersuchungen in **AGRO** war die Analyse des Einzugsgebietes als Grundlage für Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung des Eintrags. Das Vorkommen von Spurenstoffen und Krankheitserregern

konnte durch die eingesetzten Methoden bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (Basisabfluss, extreme Grundwasserneubildung/Starkniederschläge, Hochwasser) eindeutig einzelnen Vorgängen im Einzugsgebiet zugeordnet werden. Die durchgeführten technischen Maßnahmen am Regenwasserüberlaufbecken, die eingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung und die Nutzungsänderungen und -anpassungen im Einzugsgebiet führten zu einer starken Minderung der Konzentrationen bei Basisabfluss und Starkniederschlägen. Die entwickelten Methoden können auf andere Einzugsgebiete angewandt werden und führen zu einem verbesserten Prozessverständnis als Grundlage für technische Maßnahmen und Managemententscheidungen.

Im Verbundprojekt **SchussenAktivplus** wurden der Einsatz von Aktivkohle (PAK, GAK), die Kombination von GAK mit Ozonung, der Retentionsbodenfilter und der Lamellenklärer zur Reinigung von Abwasser und Mischwasser aus Regenüberlaufbecken (RÜB) zur Entfernung von Spurenstoffen, Keimen, toxischen und hormonellen Wirkpotentialen auch im Sinne des **Multi-Barrieren-Konzepts** untersucht. In drei Kläranlagen wurden verschiedene Abwasserbehandlungstechnologien hinsichtlich ihrer Elimination für Spurenstoffe und Mikroorganismen evaluiert. Die Eignung von granulierter oder pulverisierter Aktivkohle wurde untersucht und granuliert Aktivkohle auch in Kombination mit einer Ozonung geprüft. Darüber hinaus wurde die Effektivität eines Retentionsbodenfilters und eines Lamellenklärers zur Entfernung von Spurenstoffen und Keimen aus der Mischwasserentlastung (Regenüberlaufbecken) betrachtet.

Für das Einzugsgebiet der Schussen wurden Bilanzierungen durchgeführt und Kos-

Tab. 5.1: Beiträge zu Managementkonzepten aus den RiSKWa-Verbundprojekten

| RiSKWa-Verbundprojekt | Bestehendes Management-Konzept | Beiträge und Ergebnisse aus RiSKWa |
|--------------------------|--|---|
| AGRO | Multi-Barrieren-Konzept | Quantifizierung der Einflusskomponenten für das Einzugsgebiet und Entwicklung von Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung im Sinne der Vorsorge für das Trinkwassereinzugsgebiet |
| ASKURIS | Multi-Barrieren-Konzept | Untersuchung und Bewertung von technischen Maßnahmen zur Behandlung des Rohwassers als technische Barriere |
| | Water Safety Plan | Umsetzung eines Water Safety Plans für ein Wasserwerk nach WHO und DVGW W 1001 |
| PRiMaT | Water Safety Plan | Datenbankgestützte Gefährdungsanalyse |
| SchussenAktivplus | Multi-Barrieren-Konzept | Bewertung neuer Technologien bzw. deren Kombinationen zur Reinigung von Abwasser und Mischwasser aus Regenüberlaufbecken, um gleichzeitig Spurenstoffe, Keime sowie toxische und hormonelle Wirkpotentiale zu entfernen |
| | Kosteneffiziente Maßnahmenprogramme nach Art. 11 EG-WRRL | Kosten-Nutzen-Konzept für das Einzugsgebiet der Schussen |
| Sichere Ruhr | EG-Badegewässer-Richtlinie | Gefährdungserhebung zu Krankheitserregern in Fließgewässern (Bakterien, Viren, Parasiten, Schistosomen) |
| | QMRA, DALY-Konzept der WHO | Risikoanalyse zu Erkrankungsrisiken, Bewertung der gesundheitlichen Einschränkungen mittels DALY-Konzept |
| TOX-BOX | GOW-Konzept zur Bewertung von Spurenstoffen | Leitfaden zu einer harmonisierten Teststrategie |

ten-Nutzen-Abwägungen vorgenommen. Unter dem Gesichtspunkt der **kosteneffizienten Maßnahmenprogramme nach EG-Wasserrahmenrichtlinie** wurden die Handlungsoptionen für die Rückhaltung von Spurenstoffen a) durch Kläranlagenausbau im Einzugsgebiet der Schussen und b) durch Retentionsbodenfilter als Nachbehandlungsstufe von RÜB bewertet. Die daraus resultierenden Mehrkosten wurden in Relation mit dem Eliminationspotenzial für das Einzugsgebiet bewertet.

Auch im Verbundprojekt **ASKURIS** wurde die **Barriere „Aufbereitung“** hinsichtlich der Wirksamkeit unterschiedlicher Aktivkohle (PAK, GAK) (s. Abbildung 5.3) sowie die Wirkung der Ozonung in Kombination mit anderen Verfahren untersucht. Dabei zeigte sich, dass einige Spurenstoffe (z. B. Sulfamethoxazol, Röntgenkontrastmittel) generell schlecht an Aktivkohle adsorbieren. Neben den Stoffeigenschaften zeigte sich eine hohe Sorptionskonkurrenz aufgrund hoher Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff als ausschlaggebend. Insbesondere niedermolekulare organische Substanzen behindern die Sorption an der Aktivkohle, wie die Untersuchungen mittels LC-OCD zeigen. Als niedermolekulare organische Substanzen werden Stoffe bezeichnet, deren Molekülmasse 800 g/mol nicht überschreiten. Dies können kurzkettenige Aliphaten sein, aber auch einfache Aromaten wie Benzol. Die Spurenstoffentfernung mittels Ozon hatte positive Nebeneffekte sowohl auf den Chemischen Sauerstoffbedarf (Verminderung) als auch auf die Abwasserdesinfektion. Durch die Ozonung wurde eine Inaktivierung von Bakterien und Viren erzielt.

Unabhängig hiervon wurde exemplarisch für ein Wasserwerk der **Water Safety Plan** nach WHO und DVGW W 1001 angewandt. Zunächst erfolgte die Risikobewertung mit

Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß als Kriterien, um danach die Befunde nach dem GOW-Konzept zu bewerten und ein ausgedehntes Monitoring durchzuführen. Zu diesen Maßnahmen zählte auch die Untersuchung von Verfahrensalternativen.

In **PRiMaT** wurde ein datenbank-basiertes System zur Gefährdungsanalyse für Was-



Abb. 5.3: Technische Barrieren der Trinkwasseraufbereitung: Pilot-Schnellfilter in der Oberflächenwasser-Aufbereitung Berlin-Tegel, Verbundprojekt ASKURIS

sereinzugsgebiete aufgebaut, mit dem dieser Arbeitsschritt im Rahmen eines **Water Safety Plan** Ansatzes unterstützt wird. Aus den Angaben über die Flächennutzung werden Gefährdungen von der Datenbank bereitgestellt, denen Spurenstoffe und Krankheitserreger als Auslöser für Gefährdungen zugeordnet werden können. Die Datenbank stellt für ein Stoffkataster die Daten zur Mobilität und Persistenz von derzeit 1.100 Einzelstoffen bereit. Daraus kann der betroffene Wasserversorger beispielsweise sein Monitoringkonzept für das Einzugsgebiet ableiten. Die datenbank-gestützte Gefährdungsanalyse wurde im Rahmen von RiSK-Wa im Einzugsgebiet eines Grundwassers und einer Talsperre getestet.

Die europäische **Badegewässer-Richtlinie** basiert auf einem Risikomanagement-Ansatz für das Einzugsgebiet und das Umfeld einer Badestelle. Das sich ergebende Risikoprofil ist für ein stehendes Gewässer durchaus aussagekräftig, so dass der hygienische Schutzansatz der Badegewässer-Richtlinie mit Konzentrationsgrenzen für zwei Indikatorbakterien *E. coli* und intestinale Enterokokken auskommt. Der Untersuchungsansatz im Rahmen von **Sichere Ruhr** war es, diesen Risikoansatz für Fließgewässer zu erweitern, die stärkere Qualitätsschwankungen aufweisen. Es wurde ein umfassendes Spektrum an Krankheitserregern (Bakterien, Viren, Parasiten, Vogelschistosomen) untersucht. Dabei zeigte sich, dass bei stark schwankenden Konzentrationen die Indikatorbakterien die Konzentrationen anderer Krankheitserreger nur begrenzt gut abbilden können. Mittels der **Quantitativen Risikobewertung (QMRA)** wurden die tatsächlichen Erkrankungsrisiken für den Badenden in Relation zu anderen Lebensrisiken gestellt. Die umfassende Risikobewertung und Ableitung von DALYs wurde in **Sichere Ruhr**

erstmalig für die Badegewässernutzung erweitert. Die Vorgehensweise ist auf andere Flussgebiete übertragbar.



Abb. 5.4: Risikomanagement für anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf

Zur Unterlegung und Erweiterung des **GOW-Ansatzes** war es das Ziel von **TOX-BOX**, eine harmonisierte Teststrategie für ein expositionsbezogenes und gefährdungsbasiertes Risikomanagement von anthropogenen Spurenstoffen zu erarbeiten (s. Abbildung 5.4). Für dieses Ziel wurden allgemeine Leitlinien in Form von Entscheidungsbäumen formuliert. Dies schließt bei Aufzeigen von Gefährdungspotenzialen und regulierungsbedürftigen Tatbeständen die Festlegung von Maßnahmenoptionen ein. Die Arbeitsschwerpunkte waren: (I) Charakterisierung der Exposition und Identifizierung von trinkwasserrelevanten Einzelsubstanzen, (II) Verifizierung von Befunden über die Aufkonzentrierung von Wasserproben, (III) Priorisierung, Entwicklung und Festschreibung von endpunktbezogenen Teststrategien einschließlich der Ableitung von Bewertungskriterien, (IV) Strukturierung der hierarchischen Teststrategie zur Abschätzung und Wichtung von Toxizitätsdaten im Gesamtprozess der GOW-Ableitung. Daraus wurden gefährdungsbasierte, auf das GOW-Konzept gestützte Handlungsoptionen abgeleitet

und in einem verbindlichen Leitfaden zum gefährdungsbasierten Risikomanagement von anthropogenen Spurenstoffen zusammengefasst.

5.3 Entwicklung von Maßnahmen zur Vermeidung/Minderung von Risiken

In der Mehrzahl der RiSKWa-Verbundprojekte wurden Maßnahmen zur Vermeidung oder Minderung von Risiken aus Spurenstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf erarbeitet. Diese werden in der nachfolgenden Tabelle 5.2 im Überblick aufgeführt.

Die Auflistung unterscheidet nach „planerisch/organisatorischen Maßnahmen“ und „technischen Maßnahmen“ und gibt einen Realisierungsstand an. Dabei wird der Realisierungsstand untergliedert in:

- **Konzeption:** ein Risikomanagementansatz wurde im Verbundprojekt beispielhaft für den Untersuchungsschwerpunkt konzipiert. Dies bedeutet in der Regel die Entwicklung der einzelnen Teilbausteine und eine ausführliche Beschreibung.
- **Pilot:** mit den Praxispartnern des Verbundprojektes wurde der Risikomanagement-Ansatz in einem Pilotbetrieb erprobt und die Erfahrungen zur Weiterentwicklung genutzt und dokumentiert.
- **Leitfaden:** die gesammelten Erfahrungen aus dem Verbundprojekt sind übertragbar auf andere Anwender, und werden im Rahmen eines Leitfadens für weitere Nutzer verfügbar gemacht.
- **Umsetzung:** der Risikomanagement-Ansatz ist bereits im Verbundprojekt in mindestens einem Anwendungsfall um-

gesetzt oder in der Nachfolge des Verbundprojektes für die Umsetzung konkret vorgesehen.

Die planerisch/organisatorischen Maßnahmen in Tabelle 5.2 werden im Folgenden kurz dargestellt. Zu den technischen Maßnahmen wird auf die ausführliche Beschreibung in Kapitel 4 verwiesen.

Im Rahmen des Verbundprojektes **AGRO** konnten die Auswirkungen von risikomindernden Maßnahmen im Einzugsgebiet auf die Rohwasserqualität an einer Karstquelle mittels der neu entwickelten Methoden des Indikatoransatzes und des Microbial Source Trackings genau erfasst und bewertet werden. Das Bodenwasserhaushaltsmodell zur räumlich getrennten Erfassung der Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften und das numerische Verweilzeitenmodell zur Grundwasserströmung schafften die Basis für die Prognose des Vorkommens von Krankheitserregern und Spurenstoffen an der Gallusquelle. Mit diesen Kenntnissen waren die Auswirkungen der planerisch-organisatorischen Maßnahmen und der technischen Maßnahmen prognostizierbar.

Als Beispiel dient die signifikante Abnahme der Belastung mit Krankheitserregern und abwasserbürtigen Spurenstoffen (Koffein) durch eine Kapazitätserhöhung und Betriebsänderung des Regenwasserüberlaufbeckens (s. Abbildung 5.5). Die Erweiterung des Regenwasserüberlaufbeckens um ca. 10% und die kontrollierte zeitliche Abgabe sorgten für einen Rückgang der Konzentrationen um 90%.

Ein weiteres Beispiel war die behördliche Untersagung einer geplanten landwirtschaftlichen Nutzung für eine Freilandhaltung von Geflügel. Informationsmaterial

Tab: 5.2: Maßnahmen zur Vermeidung/Verminderung von Risiken aus den RiSKWa-Verbundprojekten

| RiSKWa-Verbundprojekt | Maßnahmen im Rahmen von Risikomanagementkonzepten |
|--|--|
| Planerisch/organisatorische Maßnahmen | |
| AGRO | Nutzung von Spurenstoffen als Indikatoren und Krankheitserreger (Microbial Source Tracking) zur Prognose des Eintrags bei unterschiedlichen Szenarien (u.a. Basisabfluss, Extremereignis) als Basis für Gegenmaßnahmen (z. B. Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung) (K, U) |
| SAUBER+ | Emissionscheck für Umweltbeauftragte in medizinischen Einrichtungen (L) Geordnete Arzneimittelentsorgung (K, L) Curriculum für eine umweltorientierte Ärztefortbildung (K, P) |
| Sichere Ruhr | Betriebsmanagement für Flussbadestellen (L, U) Reduktion von diffusen Einträgen aus der Landwirtschaft (K) |
| Technische Maßnahmen (s. Kapitel 4) | |
| AGRO | Erweiterung Regenwasserüberlaufbecken und Modifikation des Abschlags (bereits umgesetzt, Auswirkungen auf Rohwasser wurden als Verifizierung der Maßnahme untersucht) (U) |
| ASKURIS | Aktivkohle und Ozonung als technische Maßnahmen (P, L) |
| PriMaT | Aufbereitungsverfahren (Oxidation, Elektrodialyse, Adsorption) zur Entfernung von Spurenstoffen (K, P) |
| RISK-IDENT | Minderung der Spurenstoffe durch AOP – Advanced Oxidation Processes bei der Abwasserreinigung (K, P) |
| SAUBER+ | Weitergehende Abwasserreinigung (Membranbioreaktor, Ozonung, Aktivkohlefiltration, UV und H ₂ O ₂) (K, P) |
| Sichere Ruhr | Reduktion von Krankheitserregern im Ablauf von Kläranlagen und Regenüberlaufbecken durch Ozon, UV-Bestrahlung, Perameisensäure (K, P) Frühwarnsystem zur Erkennung mikrobiologischer Belastungen an Badestellen (K, U) |
| SchussenAktivplus | Aktivkohle, Aktivkohle plus Ozonung, Einsatz Retentionsbodenfilter und Lamellenklärer (P) Bewertung der Effekte ¹ des großtechnischen Ausbaus der Kläranlage Langwiese (Ravensburg) mit einem PAK bei Fischen und Fischnährtieren in der Schussen (U) |
| TransRisk | Weitergehende Abwasserreinigung (MBR, Ozonung, Biofiltration, Aktivkohle-Filtration (K, P) |

(Realisierungsgrad: K = Konzeption, P = Pilot, L = Leitfaden, U = Umsetzung vorgesehen)

¹ Streng genommen keine „technische Maßnahme“: Aus Sicht des Risikomanagements handelt es sich dabei um die abschließende Verifizierung der technischen Maßnahme.



Abb. 5.5: Überschlag des Regenwasserüberlaufbeckens (Mischkanalisation) nach einem Starkregenereignis
(© C. Stange, TZW, Karlsruhe)

und die Vorstellung der Ergebnisse für die lokalen Behörden und die ansässige Bevölkerung dienten als Initiatoren für den direkten Austausch. Sie konnten klare räumliche und zeitliche Zusammenhänge zwischen dem Einsatz von Stoffen und dem Auftreten an der Gallusquelle belegen. Diese konnten teilweise auf singuläre, zuordenbare Handlungen zurückgeführt werden und führte zu sofortigen und einvernehmlichen Maßnahmen zur Vermeidung dieses Eintrags (zur Bedeutung der Risikokommunikation s. Kapitel 6). Schließlich konnte anhand der Untersuchungen festgestellt werden, dass einzelne klimatische Ereignisse (Starkniederschlag, Schneeschmelze) eine deutlich stärkere Belastung des Wassers mit Krankheitserregern und chemischen Stoffen zur Folge haben als das Jahrhunderthochwasser im Mai/Juni 2013. Damit konnte kommuniziert werden, dass durch das Hochwasser keine gesundheitlichen Gefahren durch eine verminderte Wasserqualität zu befürchten sind.

Für den erfolgreichen Badebetrieb an einem Fließgewässer hat das Verbundprojekt **Sichere Ruhr** einen Risikomanagement-An-

satz eines Badegewässers entwickelt, der im Zusammenhang mit der am 12.6.2015 erfolgten Gründung der „Interessengemeinschaft Baden in der Ruhr“ vor der konkreten Umsetzung steht. Die teilweise stark schwankende Wasserqualität, die immer wieder zu unmittelbaren Badeverboten führen kann, erfordert eine fortlaufende Bewirtschaftung der Badestelle und häufig zeitnahe Handeln. Dazu gehören eine kontinuierliche Risikokommunikation, mit folgenden Bestandteilen: ständige Pflege der Informationen zu den Badestellen, jederzeit abrufbare Informationen zur hygienischen Wasserqualität sowie kurzfristige Warnung zu Badeverboten und deren Aufhebung über verschiedene Medien. Die Organisation und Durchführung der hygienischen Überwachung muss in enger Zusammenarbeit zwischen zuständigem Gesundheitsamt und den Betreibern der Badestelle eingerichtet werden. Weitere Bestandteile des Risikomanagements sind die Erkennung und Regelung von Nutzungskonflikten mit Wassersportlern, mit dem Natur- und Trinkwasserschutz (s. Abbildung 5.6).

Zur Reduzierung oberflächiger diffuser Einträge wurden organisatorische Maßnahmen, wie z. B. die längere Lagerung von Wirtschaftsdüngern und die Verringerung der Erosionsneigung durch breitere Gewässerrandstreifen, konzipiert. Zur Umsetzung wären freiwillige Vereinbarungen mit den Landwirten im Rahmen der Kooperationsarbeit erfolgversprechend. Zur Reduzierung der Einträge durch Vogelkot könnten beispielsweise Fütterungsverbote erlassen werden. Das am Beispiel der Ruhr entwickelte Realisierungskonzept wurde als Handlungsleitfaden für andere Flussgebiete und Ballungsräume formuliert.

Handlungsstrategien und -maßnahmen zur Verminderung von Arzneimittelmissionen

aus Einrichtungen des Gesundheitswesens im Verbundprojekt **SAUBER+** basieren auf dem Vorsorgeprinzip. Hierzu wurde zur Aufklärung über eine geregelte und wasser-schonende Arzneistoffentsorgung eine Anleitung in Form eines Informationsflyers erstellt, der für Pflegepersonal, Apotheker und Patienten die Informationslücken schließt. Der Informationsflyer soll über geeignete Multiplikatoren an die Zielgruppen gebracht werden. Weiterhin wurde in **SAUBER+** ein Curriculum für eine umweltorientierte Ärzterfortbildung mit Zertifizierung entwickelt, die zu einem höheren Bewusstsein der Ärzteschaft für Umweltbelange in der medizinischen Versorgung führen soll (s. Kapitel 6.6).

Darüber hinaus wurde im Verbundprojekt **SAUBER+** ein Emissionscheck als freiwilliges Angebot für medizinische Einrichtungen entwickelt, damit Einrichtungen des Gesundheitswesens proaktiv die eigene Situation einschätzen und in Verfolgung des Vorsorgegedankens gegebenenfalls Maßnahmen ergreifen können, mit denen sich Einträge in die aquatische Umwelt verringern lassen. Als erster Schritt wird die Prüfung der möglichen Relevanz der Einrichtung als „Emittent“ anhand ausgewählter Kriterien empfohlen (v.a. „Bezug der Einrichtung zum Einzugsgebiet der Kläranlage“ und „lokale Umwelt“). Wird die Situation daraufhin als möglicherweise relevant eingestuft, sollte in einem zweiten Schritt eine genauere Abschätzung der Emissionssituation durchgeführt werden. Im dritten Schritt ist nach Bewertung der Emissionssituation zu prüfen, ob Maßnahmen zur Verbesserung einzuleiten sind. Wird dies bejaht, werden die Entwicklung und Umsetzung eines Emissionsmanagements mit für die spezifische Einrichtung geeigneten Maßnahmen empfohlen.



Abb. 5.6: Umfassender Maßnahmenkatalog zum Risikomanagement eines Badegewässers (aus: Sichere Ruhr [Schoenemann & Jardin, 2015])

5.4 Literatur

DIN EN 15975-2:2013 (2013): Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement. Beuth Verlag Berlin.

DVGW W 1001 (2008): Sicherheit in der Trinkwasserversorgung - Risikomanagement im Normalbetrieb DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, 18 S.

EG-Badegewässer-Richtlinie (2006). Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15 Februar 2006 über die Qualität von Badegewässern und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160EWG.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0007&from=DE>.

EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000). Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=OJ:L:2000:327:TOC>.

NRW Badegewässerverordnung (2007): Verordnung über die Qualität und die Bewirtschaftung der Badegewässer (Badegewässerverordnung).
https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=10000000000000000584.

Schoenemann, B.; Jardin, N.; (2015): Baden in Fließgewässern. Ein Handlungsleitfaden am Beispiel des Baldeneysees & der Unteren Ruhr im Rahmen des BMBF-Projekts Sichere Ruhr. Essen.
www.sichere-ruhr.de/wp-content/uploads/2014/01/sichere_ruhr_handlungsleitfaden_final.pdf.

TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459),
www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/trinkwv_2001/gesamt.pdf.

Umweltbundesamt (2003). Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz, (3) 2003, 249-251.
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/gow-empfehlung_2003_46.pdf.

WHO Water Safety Plan (2005). Water Safety Plans - Managing drinking-water quality from catchment to consumer World Health Organisation.
www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp170805.pdf.

6 Kommunikation und Bildungsmaßnahmen

Autoren: Prof. Dr. Britta Renner, Dr. Martina Gamp, Dipl. Biol. Sabine Thaler

Kernbotschaften

Kernbotschaft 1: Für eine effektive Kommunikation muss zwischen Risikokommunikation und Krisenkommunikation unterschieden werden. Während Risikokommunikation Informationen über potentielle Schadensfälle im Kontext des Risikomanagements vermittelt, werden in der Krisenkommunikation Informationen und Strategien im Kontext eines akuten Schadensfalles, meist unter starken zeitlichen und emotionalen Belastungen, vermittelt.

Kernbotschaft 2: Für eine effektive Risikokommunikation ist es notwendig, dass diese differenziert, an den Rezipienten orientiert und unter einer spezifischen Zielsetzung erfolgt. Mögliche Ziele sind: Informationsdarbietung, Veränderung der Risikowahrnehmung oder eine Verhaltensänderung.

Kernbotschaft 3: Krisenkommunikation sollte schnell, akkurat, konsistent und ver-

trauenswürdig erfolgen. Dafür ist eine systematische Vorbereitung und Evaluierung notwendig.

Kernbotschaft 4: Es gibt substantielle Wissenslücken zum Thema Trinkwasser und Spurenstoffe, die durch verstärkte Anstrengungen im Bildungsbereich frühzeitig geschlossen werden sollten.

Kernbotschaft 5: Bei Kommunikations- und Bildungsmaßnahmen ist wichtig zu vermitteln, dass es sich bei den Bestrebungen zur Minderung von Arzneimittelrückständen in der Umwelt in erster Linie um Vorsorge handelt, nicht um den Schutz vor konkreten Gefährdungen.

Kernbotschaft 6: Zielgruppenspezifische Kommunikations- und Bildungsmaßnahmen können die notwendige Einführung geeigneter Maßnahmen der Fachwelt, Politik und Bevölkerung vermitteln.

6.1 Einleitung

In der Praxis findet sich eine große Vielfalt von Arten der Risikokommunikation, die sich hinsichtlich der verfolgten Ziele unterscheiden lassen (s. Abbildung 6.1):

1. Informationsdarbietung (z. B. für Entscheidungsträger, zur Politikberatung oder Förderung der Akzeptanz von Maßnahmen)
2. Veränderung der Risikowahrnehmung
3. Veränderung des Verhaltens

Häufig erfolgt die Informationsdarbietung unspezifisch, d. h. Zielgruppe und angestrebte Wirkung sind nicht klar definiert („just-say-it“-Methode; [Renner & Gamp, 2014a]; s. a. [Brewer, 2011]). Wenn die Informationen nicht nach der Relevanz, Verständlichkeit und Nützlichkeit für die Rezipienten (z. B. Verbraucher) ausgewählt werden, ist jedoch nicht zu erwarten, dass diese beachtet werden und einen Effekt haben. Empfehlenswert ist deshalb, dass Risikokommunikation immer an den Rezipienten orientiert ist und mit einer spezifischen Zielsetzung erfolgt.

Ein weiteres Ziel von Risikokommunikation kann die Vermittlung von Sachverhalten sein, die eine akkuratere Einschätzung des Risikos, d. h. eine Veränderung in der Risikowahrnehmung („risk perception“,

[Renner et al., 2015; Slovic, 2000]) der Rezipienten bewirken. Ein zentraler Bestandteil dieser Form der Risikokommunikation sind sogenannte Sachinformationen oder „Informationsappelle“ [Renner & Gamp, 2014b]. Da Risikokommunikation häufig numerische Informationen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gefährdung („hazard“) vermittelt, ist die Verwendung eines transparenten Darstellungsformats von großer Bedeutung [Gigerenzer, et al., 2007; Renner & Gamp, 2014b; Renner et al., 2015]. Darüber hinaus basiert Risikowahrnehmung nicht nur auf kognitiven Einschätzungen, sondern auch auf intuitiven, affektbasierten Prozessen. Diese können nur bedingt bewusst reflektiert werden und gehen teilweise auf Prädispositionen zurück, die wir uns im Laufe der Evolution angeeignet haben [Loewenstein et al., 2001;

Slovic & Peters, 2006]. Dabei gilt, je mehr die Vorstellungen über eine Gefahrenquelle mit negativem Affekt einhergehen, desto riskanter bewerten wir diese [Slovic & Peters, 2006]. Deshalb ist die Darstellung von emotionalen Bildern und Fallberichten häufig wirksamer als die Darstellung von numerischen Sachverhalten.

Ein drittes Ziel der Risikokommunikation kann die Verhaltensänderung sein, basierend auf der Annahme, dass Menschen, die um eine Gefährdung wissen, entsprechende Maßnahmen ergreifen, um sich zu schützen. Hinsichtlich des Ziels der Verhaltensänderung besteht aus psychologischer Perspektive ein entscheidender Unterschied darin, welche Vorstellungen Menschen von Risiken haben (allgemeine Risikowahrnehmung) und wie sie ihre eigene Gefährdung einschätzen (selbstbezogene Risikowahrnehmung [Renner et al., 2015]). Eine hohe selbstbezogene Risikowahrnehmung bzw. das Erleben persönlicher Verwundbarkeit geht in der Regel mit einer hohen Motivation für Schutzmaßnahmen einher [Sheeran et al., 2013]. Allerdings neigen Menschen dazu, ihr eigenes Risiko im Vergleich zum Risiko anderer Personen als geringer einzuschätzen („unrealistischer Optimismus“; s. [Renner & Schupp, 2011]). Folglich besteht häufig nur eine geringe Motivation zur Verhaltensänderung. Der optimistische Fehlschluss ist durch allgemeine Risiko- und Sachinformationen nur schwer zu verändern, da hier der direkte Bezug zur eigenen Person fehlt. Individualisierte Risikoinformationen (z. B. im Rahmen von Gesundheitsscreenings) hingegen haben Einfluss auf die selbstbezogene Risikowahrnehmung und insbesondere auf deren emotionale Aspekte (z. B. Besorgt-

heit). Verschiedene Studien belegen, dass gerade die Erhöhung der Besorgnis und Furcht zu einer Verhaltensänderung führt (s. [Brewer et al., 2007; Renner & Gamp, 2014b; Renner & Reuter, 2012]).

6.2 Öffentlichkeitsarbeit

Bei allen RiSKWa-Verbundprojekten spielte die Öffentlichkeitsarbeit eine wichtige Rolle, da z. B. die Umsetzung der Projektergebnisse von einer erfolgreichen Vermittlung der Ergebnisse an die Rezipienten abhängig ist. Daher wurde in verschiedenen Verbundprojekten die Bevölkerung vor Ort über geplante Maßnahmen informiert, um Beteiligungsprozesse bedarfsgerecht einzuleiten, die Akzeptanz der geplanten Maßnahmen zu steigern sowie die Fachöffentlichkeit zeitnah mit den Projektinhalten bekannt zu machen.

Die RiSKWa-Verbundprojekte bedienten sich verschiedener Formate der Öffentlichkeitsarbeit. Jedes Verbundprojekt verfügt über einen eigenen Internetauftritt. Pressearbeit und Informationsangebote (z. B. Flyer), runden das Bild ab (s. Abbildung 6.2).

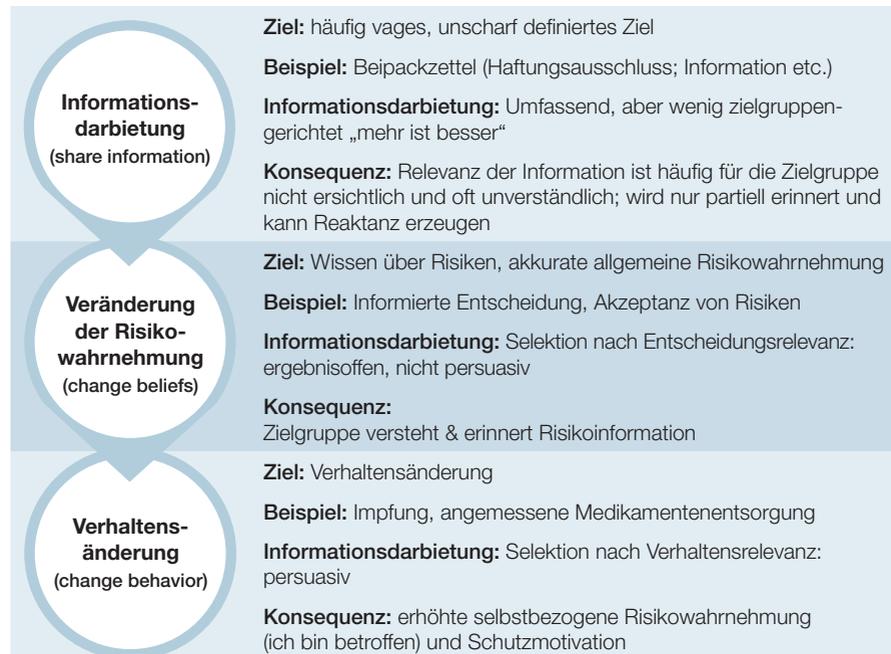


Abb. 6.1: Die drei Ziele der Risikokommunikation ([Renner & Gamp, 2014a]; s. a. [Brewer, 2011])



Abb. 6.2: Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen von Schussen-Aktivplus: Tag der offenen Tür auf der Kläranlage Ravensburg

Schwerpunktausgabe „Antibiotika und Antibiotikaresistenzen im urbanen Abwasser“

Das Schwerpunktheft „Antibiotika und Antibiotikaresistenzen im urbanen Abwasser“ wurde in der Springer-Zeitschrift Prävention & Gesundheitsförderung (9/2014) veröffentlicht (s. Abbildung 6.3). Die Zeitschrift versteht sich als wissenschaftliches Forum im Bereich Prävention, Selbstverantwortung und innovatives Gesundheitsmanagement. Als Fort- und Weiterbildungsforum gehören Berufsangehörige der Medizin, der Sozial-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften, Studierende, Akteure aus der Politik, von Krankenkassen, von Verbänden im Gesundheitswesen und Einrichtungen der Versorgungspraxis zur Zielgruppe.

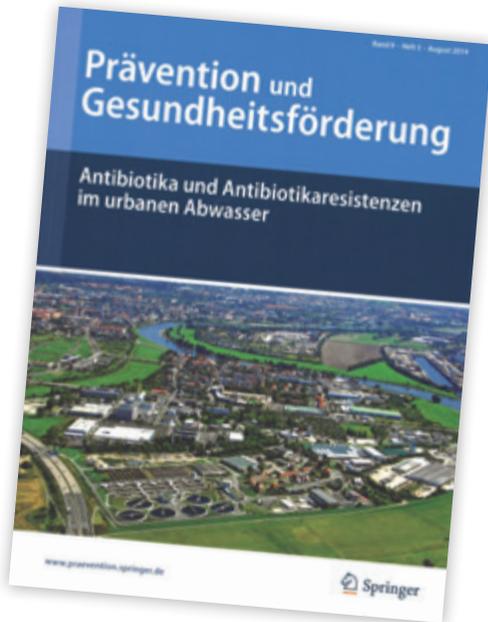


Abb. 6.3: Schwerpunktheft zu RiSKWa-Ergebnissen¹

Im Fokus des Schwerpunktheftes stehen Ergebnisse des Verbundprojektes **ANTI-Resist** sowie Expertenbeiträge aus anderen RiSKWa-Verbundprojekten und externen Forschergruppen. Dabei werden Perspektiven der Medizin und Pharmakologie mit Analysen der Siedlungswasserwirtschaft und Mikrobiologie verbunden, wobei das Spannungsfeld zwischen Kläranlagenpraxis, Siedlungswasserwirtschaft und dem medizinisch verantwortungsvollen Umgang mit Antibiotika im Fokus steht.

Das Schwerpunktheft dient der Wissensvermittlung und Sensibilisierung für die Zusammenhänge von Antibiotikaverschreibung, Resistenzproblematik und Umweltrisiko. Dabei beschreibt es den aktuellen Stand der Wissenschaft bezüglich der Entwicklung eines Risikomanagements für den vorsorgenden Gesundheits- und Umweltschutz.

Broschüre „Im Klartext – Schadstoffspuren im Wasserkreislauf“²

Das Institut für Sozial-Ökologische Forschung GMBH (ISOE) hat im Rahmen des Verbundprojektes **TransRisk** eine Medieninhaltsanalyse durchgeführt. Diese kommt zu dem Schluss, dass eine zukünftige Kommunikationsstrategie zu anthropogenen Spurenstoffen im Wasserkreislauf auf die Vermittlung von solidem Handlungswissen abzielen sollte. Auf Basis dieser Ergebnisse hat die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) eine neue „Im Klartext“-Broschüre veröffentlicht, die den interessierten Bürger über Schadstoffspuren im Wasserkreislauf informiert. Darin wird verständlich erklärt, wie Arzneimittel und Chemikalien des täglichen Gebrauchs über das Abwasser in die Ge-

wässer gelangen und welchen Schaden sie dort anrichten können. Neben technischen Maßnahmen zeigt die Broschüre, was individuelle Personen tun können, um die Freisetzung von Schadstoffen in die Umwelt zu vermeiden.

Infokampagne „Wohin mit alten Medikamenten?“ und Infoblatt „Spurenstoffe“

Im Verbundprojekt **RISK-IDENT** hat das Bayerische Landesamt für Umwelt ein Infopaket zur umweltfreundlichen Entsorgung von Altmedikamenten erstellt, das vor allem für den Aushang und die Auslage in Apotheken gedacht ist. Zusätzlich wurde ein Infoblatt verfasst, um Multiplikatoren der Umweltberatung für das Thema Spurenstoffe in Gewässern zu sensibilisieren. Über das Internet ist diese Publikation auch für die Öffentlichkeit verfügbar.

Das Infopaket „Wohin mit alten Medikamenten?“ besteht aus einem Flyer, einem Info-Klappkärtchen im Visitenkarten-

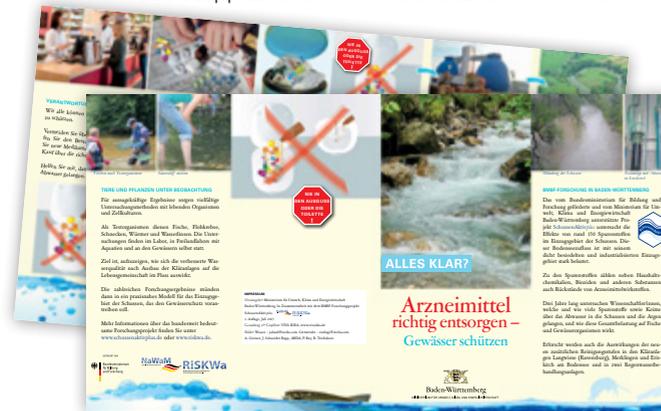


Abb. 6.4: Informationsflyer des Verbundprojektes SchussenAktivplus zur richtigen Entsorgung von Arzneimitteln

format und einem Plakat. In Frage-/Antwortform geben die drei Elemente in unterschiedlicher Informationstiefe Auskunft zu den häufigsten Fragen, die sich Bürgerinnen und Bürger bei der Entsorgung von Altmedikamenten stellen. Das Infopaket wurde von den beiden bayerischen Staatsministerinnen Ulrike Scharf (Umwelt und Verbraucherschutz), Melanie Huml (Gesundheit) und dem stellvertretenden Vorsitzenden des Bayerischen Apothekerverbandes (BAV) Josef Kammermeier öffentlich vorgestellt und vom BAV über die Verbandsmedien bei den Apotheken beworben (www.lfu.bayern.de/altmedikamente).

Die Publikation „Spurenstoffe im Wasser“ [Bayerisches Landesamt für Umwelt 2016] gibt einen allgemeinverständlichen Überblick über organische Spurenstoffe in Gewässern und veranschaulicht die komplexen Bewertungsmethoden. Praktische Tipps regen an, den Eintrag von Spurenstoffen in Gewässer auch im eigenen Alltag zu mindern. Die Publikation erscheint in der Reihe UmweltWissen, die sich mit Umweltschutz im Alltag befasst.

Informationsflyer zur richtigen Entsorgung von Arzneimitteln³

Im Verbundprojekt **SchussenAktivplus** wurden neben Keimen und anderen Spurenstoffen Arzneimittel untersucht. Als Leitthema für die Öffentlichkeitsarbeit wurde daher die „Richtige Entsorgung von Arzneimitteln“ gewählt. Mit einer richtigen Entsorgung können individuelle Personen

1 Das Schwerpunktheft ist verfügbar unter: <http://link.springer.com/journal/11553/9/3/page/1>

2 Die Informationsbroschüre kann unter folgender Adresse bezogen werden: E-Mail: info@dwa.de, Internet: www.dwa.de.

3 Der Informationsflyer kann unter folgender Adresse bezogen werden: E-Mail: schneider-rapp@oekonsult-stuttgart.de, Internet: http://schussenaktivplus.de/sites/default/files/Arzneimittel_Wasserschutz_8_S_web2.pdf

ohne großen Aufwand einen wichtigen Beitrag dazu leisten, dass weniger Arzneimittelwirkstoffe in unsere Gewässer eingetragen werden. Im Mittelpunkt stand deshalb die klare Botschaft: „Alte Arzneimittel gehören nicht in Spüle oder Toilette.“ Gemeinsam mit dem baden-württembergischen Umweltministerium wurde daher ein neuer deutschsprachiger Flyer entwickelt. Dieser Flyer ist in einer sechsseitigen Basisvariante für ganz Baden-Württemberg und einer achtseitigen Projekt-Variante (plus 2 Seiten zu **Schussen-Aktivplus**, s. Abbildung 6.4) im Projektgebiet erhältlich. Der Flyer wurde von dem Umweltminister Franz Untersteller öffentlich vorgestellt und über den Städte- und Gemeindetag beworben. Darüber hinaus haben die Projektpartner in Ravensburg und vier weitere Gemeinden rund 20.000 Exemplare des projektbezogenen Flyers zusammen mit den Abwasser-Gebührenbescheiden verschickt. Weitere 2.000 Exemplare

wurden über andere Projektpartner verteilt. Wünschenswert wäre gewesen, dass mehr Apotheken bereit gewesen wären, den Flyer auszuliegen. Als Fazit ist es zentral für eine erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit, die Wege zur Zielgruppenerreichung vorab zu klären.

In ähnlicher Weise wurde im Rahmen des Verbundprojekts **SAUBER+** der Flyer „Arzneimittel verantwortungsvoll entsorgen“ gestaltet.⁴

Deutschlandkarte zur richtigen Entsorgung von Arzneimitteln

Um Informationen über die empfohlenen Entsorgungswege von Arzneimitteln deutschlandweit leicht zugänglich zu machen, wurde eine internetbasierte, interaktive Deutschlandkarte entwickelt (Konzeption Universität Konstanz), abrufbar unter der Adresse: www.arzneimittelentsorgung.de.



Abb. 6.5: Online-Deutschlandkarte zur richtigen Entsorgung von Arzneimitteln: www.arzneimittelentsorgung.de

⁴ Der Informationsflyer ist verfügbar unter: <http://sauberplus.de/index.php/downloads>

Diese Karte stellt die aktuell auf Landkreis- und Gemeindeebene empfohlenen Entsorgungswege für Arzneimittel dar, wie z. B. die Entsorgung über den Hausmüll, über Schadstoffmobile, über Recyclinghöfe oder über Apotheken (systematische Erfassung Ökonsult, Stuttgart). Damit findet Risikokommunikation nicht nur in Form des Hinweises statt, Arzneimittel nicht in Toilette oder Spüle zu entsorgen. Stattdessen erhalten die Rezipienten darüber hinaus, zugeschnitten auf ihren jeweiligen Aufenthaltsort, eindeutige Handlungsanweisungen auf welche Weise Arzneimittel richtig ent-

sorgt werden können. Die Deutschlandkarte bündelt damit für die gesamte Öffentlichkeit (Bürger/-innen, Gesundheitswesen, Behörden, Wirtschaft, Wissenschaft) die bundesweit bestehende Vielzahl an Empfehlungen zur Entsorgung von Arzneimitteln auf einer Internetseite (s. Abbildung 6.5).

6.3 Risikokommunikation/ Risikowahrnehmung

In den verschiedenen Fachdisziplinen und Risikobereichen (z. B. Umwelt, Technik, Gesundheit) wird unter „Risiko“ generell die

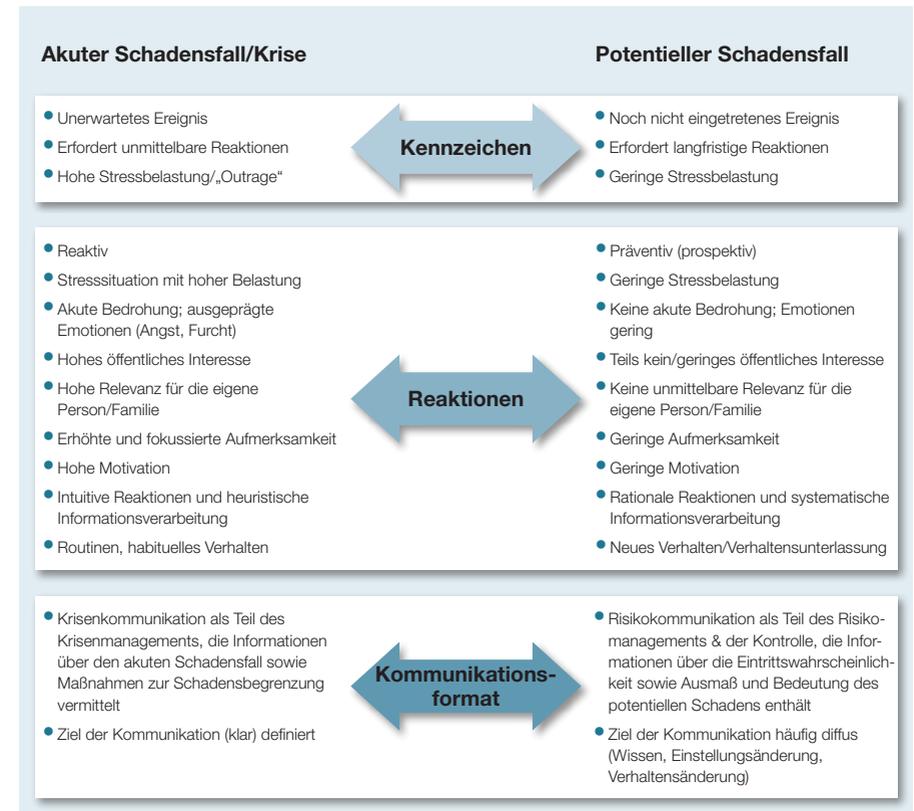


Abb. 6.6: Akute versus potentielle Schadensfälle als aktuelle Risikosituationen (Renner & Gamp, 2014a)

Möglichkeit eines Schadens oder Verlustes als Folge eines Ereignisses (z. B. Ausbruch der Legionärskrankheit) oder einer Handlung (z. B. Antibiotikaeinnahme) verstanden. Risiko lässt sich demnach durch zwei wesentliche Elemente charakterisieren: (a) die Unsicherheit künftiger Zustände, meist definiert als Wahrscheinlichkeit, und (b) einen negativen Zustand als eine mögliche Konsequenz, oft definiert als Schadens- oder Todesfall [Renner & Schupp, 2011; Slovic, 2000]. Wie wir auf Risiken reagieren, hängt maßgeblich von der aktuellen Risikosituation sowie unserer Risikowahrnehmung, d. h. unseren Vorstellungen und Konzepten, die wir von Risiken haben, ab. Risiken, und damit die aktuelle Risikosituation, können sich hinsichtlich vieler Merkmale unterscheiden [Centers of Disease Control and Prevention, 2012; Fischhoff et al., 2011]. Ein zentrales Merkmal, das die Kommunikation, die Wahrnehmung und die Reaktionen aller Akteure beeinflusst, ist der Zeitpunkt des Schadenseintritts. So ist die Unterscheidung zwischen akutem und potentiellem Schadensfall von hoher Relevanz für die Charakteristika des Ereignisses, die Reaktionen auf Seiten der Betroffenen und Akteure sowie für das Kommunikationsformat (s. Abbildung 6.6).

In den meisten Fällen besteht die aktuelle Risikosituation darin, dass ein potentieller Schadensfall vermieden werden soll. Risikokommunikation ist in diesem Kontext ein Baustein des Risikomanagements und der Risikokontrolle. Sie vermittelt Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeit sowie das Ausmaß und die Bedeutung des Schadens. Da es sich um potentielle Schadensfälle, d. h. um ein prospektives Ereignis handelt, besteht die Herausforderung der Risikokommunikation meist darin, ein hinreichendes Maß an Wissen und öffentlichem Interesse herzustellen. Darüber hinaus sol-

len ggf. präventive Maßnahmen und Verhaltensweisen motiviert werden, indem positive und negative Konsequenzen günstiger und ungünstiger Verhaltensweisen dargestellt werden. Folglich ist Risikokommunikation auf die Vermittlung von Information und Wissen ausgerichtet und löst daher häufig nur geringe oder moderate emotionale Reaktionen aus.

Leitfaden zur strategischen Risikokommunikation

Im Verbundprojekt **ASKURIS** wurde ein sog. institutionelles Feld rekonstruiert. Die Rekonstruktion erfolgte am Beispiel der Fragen, ob und wie das Berliner Trinkwasser durch anthropogene Spurenstoffe und multiresistente Keime verunreinigt werden könnte und wie man dies verhindern könnte. Zu dem rekonstruierten institutionellen Feld gehören Akteure, die an der Wasserversorgung und Abwasserproduktion beteiligt sind (Verbraucher, industrielle Produktion, Gesundheitswesen, Landwirtschaft und Wasserver- und -entsorger) sowie Akteure, die wesentlich an der sozialen Konstruktion von Risiken mitbeteiligt sind (Medien, Wissenschaft, Politik und zivilgesellschaftliche Akteure). Auf Basis dieser Analyse wurden folgende Aussagen für die Risikokommunikation abgeleitet:

1. Verbraucherwissen und Medienwissen. Insgesamt berichten Medien eher unspezifisch und abstrakt über den Sachverhalt. Verschiedene Medien adressieren unterschiedliche Zielgruppen. Insgesamt wissen die Verbraucher sehr wenig über Wasser.
2. Die Verbraucher haben großes Vertrauen in die Institutionen (Politik und Wasserversorger). Sie gehen davon aus, dass Empfehlungen fundiert sind und erwart-

ten, dass diese wasserbezogene Probleme lösen und Vorschläge und Empfehlungen zur Verfügung gestellt werden.

3. Alltagstaugliche Vorschläge. Wasser gilt als sehr sicher. Risikokommunikation zur Verhaltensänderung ist insbesondere dann erfolgreich, wenn konkrete Vorschläge gemacht werden, die sich leicht in den Alltag einbauen lassen.
4. Verbraucher ist nicht gleich Verbraucher. Je nach Zielgruppe müssen unterschiedliche Kommunikationswege und Argumente angeführt werden.
5. Nicht immer ist der Verbraucher der richtige Adressat der Risikokommunikation. In Expertendiskursen wird Risikokommunikation oft als Kommunikation mit den Verbrauchern assoziiert. Diese haben jedoch oft keinen Einfluss auf die Veränderung der Wasserqualität.
6. Kommunikationsblockaden im Expertendiskurs öffnen. Veränderungen im institutionellen Feld scheitern oft daran, dass der Expertendiskurs in vielzählige Subdiskurse zerfällt. Es werden vornehmlich Probleme bearbeitet, die eine bestimmte Phase im Produktionsprozess betreffen. Herausforderungen, die die gesamte Produktionskette einschließen würden, bleiben tendenziell unbearbeitet.

Risikokommunikation und Handlungsleitfaden in Bezug auf sicheres Baden

Im Rahmen des Verbundprojektes **Sichere Ruhr** wurde ein Konzept zur Risikokommunikation in Bezug auf das Baden in natürlichen Gewässern entwickelt. Über eine umfangreiche Website (www.sichere-ruhr.de) wurde das Thema Ruhr und Gewässerschutz einer breiten Öffentlichkeit zugäng-

lich gemacht, um ein Verständnis für die mit dem Baden in der Ruhr verbundenen Gefahren und Herausforderungen zu schaffen. Zusätzlich wurden drei Workshops zum Wissensaustausch sowie zu der Gestaltung eines Umsetzungskonzeptes für das Baden in der Ruhr durchgeführt. Neun Erfolgsfaktoren für die Risikokommunikation zum Thema „Baden in natürlichen Gewässern“ konnten in einer Mediendiskursanalyse identifiziert werden:

1. Ganzheitliche Risikokommunikation
2. Zentrale Organisation der Kommunikation
3. Appell an Vernunft und Eigenverantwortung
4. Vermittlung von solidem Handlungswissen und konkreten Verhaltensanweisungen
5. Sachliche und neutrale Art der Berichterstattung
6. Kommunikation des Naturbezuges
7. Glaubwürdigkeit des Absenders
8. Sensibilisierung für das Gewässer als schützenswertes Gut
9. Realistische Kommunikation der Zielerreichung

Eine weitere Mediendiskursanalyse zeigte, dass das Flussbaden und die damit verbundenen Risiken in den Medien zwar sehr präsent sind – die Risiken jedoch nicht differenziert genug kommuniziert werden.

Die Untersuchungsergebnisse wurden in einem Konzept der „Risikokommunikation zum Baden in natürlichen Gewässern“ und einem Handlungsleitfaden „Umsetzungs-

szenario zum Baden in der Ruhr“ [Schoenemann & Jardin, 2015] (s. Kapitel 5.2) verarbeitet. Der Beteiligungsprozess wird durch die Interessengemeinschaft Baden in der Ruhr (IG Baden in der Ruhr) als zivilgesellschaftliche Initiative fortgesetzt, die am 12.6.2015 unter Beteiligung der Stadt Essen gegründet wurde. Die IG Baden wird mehrere Badestellen an der Ruhr für die Badenutzung schaffen, und nutzt dazu den Handlungsleitfaden, das Kommunikationskonzept und die Website.

Repräsentativbefragung zur Entsorgung von Medikamentenresten

Ein Teilaspekt des Verbundprojektes **Trans-Risk** betrifft geeignete Kommunikationswege, um die Problematik der Spurenstoffe bereits an der Quelle, d. h. bei den Nutzerinnen und Nutzern von Medikamenten, zu adressieren und zielgruppenspezifisch anzusprechen. Dazu ist es wichtig zu wissen,

- wie der Wissensstand der Bevölkerung ist,
- welches Entsorgungsverhalten es bei Medikamentenresten gibt,
- wer bei der Problemlösung als hauptverantwortlich gilt,
- ob es eine Bereitschaft gibt, sich dem Problem praktisch zu widmen,
- welche Zielgruppen zur Ansprache es gibt.

Eine für Deutschland repräsentative Befragung des Instituts für Sozial-Ökologische Forschung GMBH (ISOE) zeigte, dass fast die Hälfte der Befragten noch nie etwas über die Problematik von Medikamentenrückständen im Wasserkreislauf gehört hat. Zudem zeigte sich in der Repräsentativbefragung mit 2.000 Befragten, dass über

die Ursachen des Eintrages der Wirkstoffe in die Gewässer wenig bekannt ist. Auch machte die Befragung deutlich, dass eine falsche Entsorgung von Arzneimitteln zu der Problematik der Arzneimittelspurenstoffe im Wasserkreislauf beiträgt. Weiterhin wurde nach der Bereitschaft gefragt, bei Schmerzen auf die Einnahme von Schmerzmitteln zu verzichten, dabei auf alternative Angebote zurückzugreifen und so den Eintrag von Schmerzmitteln in den Wasserkreislauf zu reduzieren. Die Bereitschaft auf Alternativen zurückzugreifen hängt unter anderem davon ab, ob es sich um starke Schmerzen (geringere Bereitschaft) oder um schwache Schmerzen (höhere Bereitschaft) handelt. Ein ausführlicher Bericht über die Ergebnisse der Befragung findet sich in der Zeitschrift KA Korrespondenz Abwasser [Götz et al., 2014].

6.4 Krisenkommunikation

Während Risikokommunikation Informationen über *potentielle* Schadensfälle vermittelt, bezieht sich Krisenkommunikation auf Risikosituationen, in denen bereits ein *akuter* Schadensfall bzw. eine ‚Krise‘ eingetreten ist (s. z. B. [Centers of Disease Control and Prevention, 2012; Hyer & Covello, 2005]). Im Gegensatz zu einem potentiellen Schadensfall stellt ein akuter Schadensfall eine unerwartete Bedrohung dar, welche unmittelbare Reaktionen erfordert, die über die üblichen Handlungsroutinen der Akteure hinausgehen oder abweichen. Deshalb ist ein akuter Schadensfall immer auch eine belastende Stresssituation für alle Akteure, die ausgeprägte negative Emotionen auslöst [Glik, 2007]. Die akute Bedrohung geht zudem mit einer erhöhten Aufmerksamkeit und einem hohen Informationsbedarf einher, so dass eine schnelle, akkurate und vertrauenswürdige Krisenkommunikation von entscheidender Bedeutung ist [Centers of Disease Control and Prevention, 2012;

Hyer & Covello, 2005]. Die Informationen werden meist „intuitiv“ und heuristisch verarbeitet. D. h. im Gegensatz zu einer systematischen Informationsverarbeitung geht es weniger um das sorgfältige Abwägen der Handlungskonsequenzen, sondern die Bedeutung und Qualität der Information wird anhand von einfachen Entscheidungsregeln und peripheren Umweltreizen bewertet. In diesen Situationen besteht eine hohe Motivation, aktiv zu werden und sich durch schnell abrufbare Handlungen, die auf Routinen und habituellem Verhalten basieren, zu schützen.

Vincent Covello hat mit der „Message Mapping“ Methode beschrieben, wie durch sieben Schritte eine effektive Krisenkommunikation vorbereitet werden kann. Die U.S. EPA hat diese Methode für ein hypothetisches Szenario einer Verunreinigung des Trinkwassers durch Pestizide beispielhaft ausgearbeitet [U.S. EPA, 2012; Wood et al., 2012]:

1. Identifikation der Akteure (z. B. medizinisches Fachpersonal, Trinkwasserversorgungsbetriebe, Gesundheitsamt, (betroffene) Öffentlichkeit)
2. Antizipation der Fragen und Informationsbedürfnisse (z. B. „Kann das Wasser weiterhin getrunken werden?“, „Kann das Wasserverteilungssystem gereinigt und damit gesichert werden?“, „Wie viele Menschen sind betroffen?“)
3. Identifikation der zugrundeliegenden Hauptanliegen anhand von Punkt 2 (z. B. Basisinformationen (wer, was, wo, wann, warum, wie?), gesundheitliche Bedenken, Sicherheit, Haftung (wer ist verantwortlich?), Dauer, Dekontamination)
4. Entwicklung von zentralen Informationen („key messages“, z. B. „Die Konzentration

der Verunreinigung des Trinkwassers im gesamten Gebiet ist getestet worden.“)

5. Identifikation und Bereitstellung von unterstützenden Fakten (z. B. „Die Wasserproben werden an verschiedenen Stellen entnommen“, „Die Wasserproben werden in Labor [X] getestet.“, „Das Ergebnis dieser Testungen wird die nächsten Schritte bestimmen.“)
6. Testen und trainieren (Verwendung standardisierter Testprotokolle; Validierung der entwickelten Informationen durch unbeteiligte Experten, Einüben der Kommunikation)
7. Kommunikation (durch geschulte Presseverantwortliche, glaubwürdige Personen und Institutionen und über ausgewählte Kanäle)

Ein wichtiger Schritt im Rahmen des „Message Mapping“ ist das „Übersetzen“ der antizipierten, oft komplexen Fragen in leicht verständliche Kernfragen. Darüber hinaus ist das Vorbereiten der dazugehörigen zentralen Informationen („key messages“) von Bedeutung, die dann im Krisenfall kommuniziert werden sollen. Umfangreiche Leitfäden beschreiben die praktische Umsetzung des „Message Mapping“, auch anhand von Fallbeispielen.

Für eine schnelle, präzise und konsistente Kommunikation ist nicht nur das „Was“ kommuniziert wird entscheidend, sondern auch das „Wie“ [Lofstedt, 2003; Renn, 2008; U.S. EPA, 2007]. Dafür sind für die involvierten Akteure und Institutionen klare Richtlinien für das Vorgehen und ein Kommunikationsplan (Standard Operation Procedures, SOPs) wichtig sowie ein systematisches Training. Insbesondere in Krisensituationen ist das Vertrauen („trust“)

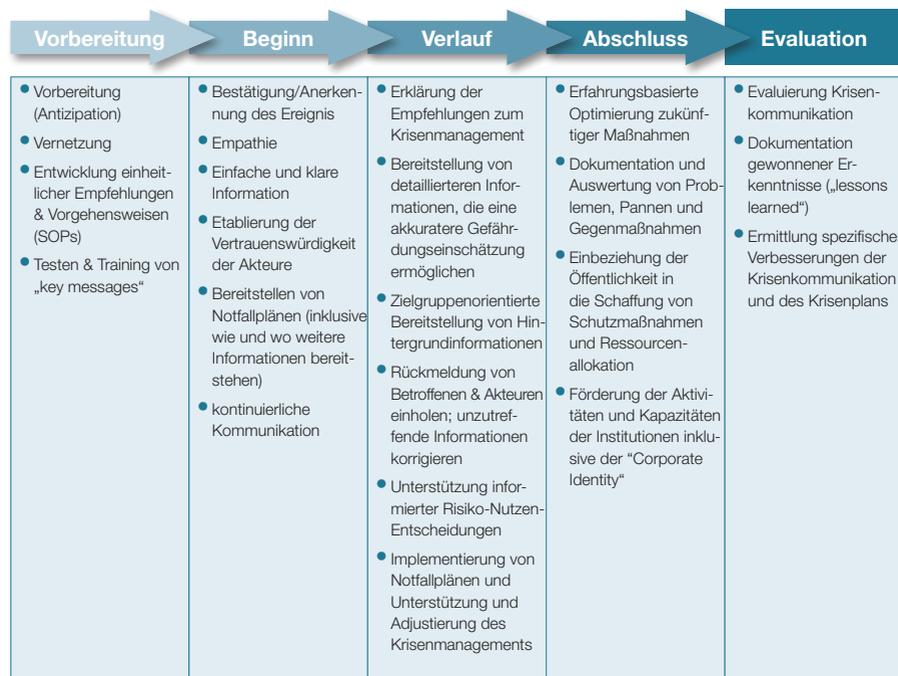


Abb. 6.7: Krisenkommunikationszyklus (nach Crisis and Emergency Risk Communication (CERC) Lifecycle, Centers of Disease Control and Prevention, 2012; aus Renner & Gamp, 2014a)

der Öffentlichkeit in die Akteure und Institutionen für das Krisenmanagement entscheidend. Das Vertrauen wiederum hängt eng mit der wahrgenommenen Kompetenz der Akteure und der Effizienz und Fairness der Maßnahmen zusammen [Lofstedt, 2003; Renn, 2008]. Die Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit und Kompetenz von Akteuren basiert jedoch nicht nur auf den kommunizierten „Fakten“, sondern auch auf schnellen und intuitiven Eindrücken aufgrund von behavioralen (z. B. Zuhören, Empathie) und nonverbalen, peripheren Reizen (z. B. Augenkontakt, Mimik, Gestik). Deshalb ist das Training von Kommunikationsszenarien ein wichtiger Baustein einer effektiven Vorbereitung von Krisenkommunikation

(s. dazu [Hyar & Covello, 2005]). Die Vorbereitung und das Training sollten darüber hinaus die verschiedenen Phasen eines Krisenverlaufes berücksichtigen, die mit verschiedenen Kommunikations- und Handlungsanforderungen einhergehen (s. Abbildung 6.7).

Leitfaden zur Risiko- und Krisenkommunikation⁵

Auch im Bereich der Trinkwasserversorgung wird die „Anspruchshaltung“ von Teilen der Kundschaft höher. Dies gilt vor allem für mikrobielle und chemische Kontaminationen des Trinkwassers. In solchen Fällen wird ein professionelles Krisenmanagement erwar-

tet. Dazu gehört eine Kommunikation, die auf Sorgen und Befürchtungen der Kunden eingeht und verständlich über Ursachen und Abhilfemaßnahmen im Kontaminationsfall aufklärt. Damit Krisenkommunikation im „Ernstfall“ ankommt, sind Wasserversorger gut beraten, wenn sie sich bereits in „Normalzeiten“ durch eine gute Öffentlichkeitsarbeit ein Reputationspolster verschaffen. Je mehr Vertrauen der Wasserversorger auch bei kritischen Teilen der Bürgerinnen und Bürger, bei den lokalen Medien und der Politik genießt, desto geringer ist die Gefahr, in einem tatsächlichen oder auch nur vermeintlichen Kontaminationsfall „unterzugehen“. Zunehmend zeichnet sich ab, dass im Hinblick auf mikrobielle Kontaminationen vermehrt auch Kommunikationskrisen zwischen Wasserversorgern und Gesundheitsämtern eskalieren. Im Rahmen des Verbundprojektes PRiMaT ist u. a. auf der Basis von drei Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern von Wasserversorgungsunternehmen und Gesundheitsämtern ein praxisorientierter Leitfaden zur Risiko- und Krisenkommunikation in der Trinkwasserversorgung entwickelt worden.

6.5 Konsultationen

Wesentlich für die erfolgreiche Umsetzung der aus RiSKWa resultierenden Maßnahmenvorschläge ist, dass sie den Bedarf der Rezipienten abdecken sowie Akzeptanz bei Anwendern und Entscheidungsträgern finden. Zu diesem Zweck ist ein frühzeitiger Kontakt mit Bürgern und Stakeholdern wichtig, um ihnen die Ziele und den Nutzen der Maßnahmen zu vermitteln oder gemeinsam Lösungen zu erarbeiten.

Bürgerbefragung

Eine repräsentative Bevölkerungsbefragung im Verbundprojekt **Sichere Ruhr** zum The-

ma Baden in der Ruhr in über 1.000 Haushalten in Essen und angrenzenden Städten zeigte, dass ausgewiesene Badestellen (42%) gegenüber Flussbädern (31%) und naturnahem Baden (22%) bevorzugt werden. Rund 55% der Befragten wären bereit, sich an der Finanzierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Wasserqualität an der Ruhr zu beteiligen. Die direkte Nutzung der Ruhr und ihrer Seen als Badegewässer ist dabei das meist genannte Motiv für die eigene Zahlungsbereitschaft. Ferner wurden das Vermächtnismotiv für nachfolgende Generationen und der Optionswert, also die Möglichkeit, die Ruhr als Badegewässer zu nutzen, genannt.

Stakeholder-Workshops

Das Verbundprojekt **SAUBER+** unter Federführung der RWTH Aachen, Institut für Siedlungswasserwirtschaft beschäftigte sich mit den Emissionen aus Arzneistoffen und Krankheitserregern aus Pflegeeinrichtungen, Seniorenresidenzen, Arzthäusern und Kliniken in den Wasserkreislauf. Vor dem Hintergrund, dass in einem transdisziplinären Dialog nicht nur die Ansprüche sondern auch das Praxiswissen relevanter Akteure das Verbundprojekt bereichern, wurden als Stakeholder Vertreter von Organisationen und Institutionen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Gesundheitswesen eingebunden. Gemeinsam entwickelten sie Ergebnisse und Handlungsmaßnahmen. Für deren Umsetzung können die Stakeholder teilweise direkt einen Beitrag leisten. Mit dieser frühzeitigen Integration verschiedener Stakeholder sollte vor allem das Erarbeiten handlungsorientierter, umsetzbarer Strategien vorangetrieben werden. Gleichzeitig dienen die Stakeholder als Multiplikatoren in ihre jeweiligen Wirkungsbereiche hinein.

⁵ Der Leitfaden ist verfügbar unter: /www.primat.tv/download/PRiMaT-Leitfaden_zur_Risiko_und_Krisenkommunikation.pdf

In der dreijährigen Laufzeit fanden regelmäßige Stakeholder-Workshops (6x) statt. Die Workshops umfassten moderierte Diskussionen, bei denen mittels Methoden wie Wertbaumanalyse, Gruppendelphi, partizipative Szenarioentwicklung und Wirkungsabschätzung das Wissen und die Interessen der Teilnehmenden abgefragt wurde. Informationen und Einschätzungen der Akteure flossen in die Entwicklung neuer Handlungskonzepte ein.

Durch die aktive Partizipation wurde für beide Seiten, die Forschenden und die Akteure aus der Praxis, neues Wissen generiert, das für die Weiterentwicklung von Lösungsvorschlägen im Forschungsthema wichtig war.

6.6 Bildungsmaßnahmen

Auch Bildungsmaßnahmen zählen zu den Kommunikationsmaßnahmen. Innovativ ist das Vorgehen, dass Bildungs- und Kommunikationsfragen nicht erst nach Einführung neuer, naturwissenschaftlicher bzw. technologischer Entwicklungen, sondern integrativ und projektbegleitend betrachtet werden. Bei der konzeptionellen Gestaltung und Umsetzung der Maßnahmen haben in RiSKWa Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bildungswissenschaften, der Psychologie sowie der Praxis zusammengearbeitet. Sowohl Lehrende als auch Lernende fungieren als Multiplikatoren. Die Ansätze, die in RiSKWa zum Einsatz kamen, decken ein breites Spektrum von Maßnahmen ab. Sie reichen von konzeptionellen Vorschlägen zur Anpassung von Curriculae für fachlich relevante Berufsgruppen über die Erarbeitung von Lernmaterialien bzw. -plattformen bis hin zur Unterrichtsgestaltung und Fortbildung.

E-Learning Module

Das Verbundprojekt **PRiMaT** entwickelte ein Lehr-/Lernportal (<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/primat/>). Die Internetseite (Gestaltung Universität Bayreuth) bietet einer allgemeinen Öffentlichkeit auf zeitgemäße Weise qualifizierte Informationen an und wurde mit verschiedenen Funktionen versehen: z. B. ermöglicht eine Up-/Download Funktion auch Externen, Unterrichtsvorschläge/Materialien auf das Portal zu laden. Diese Funktion ist nur über eine Registrierung auf der Portalseite möglich, um zu überprüfen, welche Inhalte auf das Portal geladen werden. Eine Kommentarfunktion ermöglicht es, Fragen zu stellen oder Unterrichtsvorschläge zu bewerten bzw. diskutieren. Die Unterrichtsvorschläge der Universität Bayreuth wurden auf das Portal geladen und sind nach der Registrierung frei verfügbar. Eine Analyse der Portalnutzerdaten zeigt die Bereitschaft und das Interesse an der Portalnutzung. Insgesamt lässt sich durch die „Bewegungen“ auf dem Portal ableiten, dass Externe zu Nutzern des Portals wurden. Zusammenfassend zeigt das Portal nach der Erstellung und der bislang kurzen Laufdauer bereits Erfolge und ist in der heutigen Zeit eine sinnvolle Methode, Informationen bereitzustellen.

Darüber hinaus wurde im Verbundprojekt **TransRisk** ein E-Learning-Modul für Studierende erarbeitet (<http://de.dwa.de/forschung-und-innovation.html>). In insgesamt 100 PowerPoint-Folien werden den Studierenden folgende Themen nahegebracht:

- Anthropogene Spurenstoffe
- Transformationsprodukte und deren Entstehung (Biotransformation, abiotische Bildung von Transformationsprodukten)

- Chemische Analytik (Target-/Non-Target-Analytik)
- Biologische Testverfahren
- Ökotoxikologische Bewertung von Spurenstoffen und Transformationsprodukten
- Toxikologische Relevanz von Transformationsprodukten, *in silico*-Toxikologie (Computer-gestützte Verfahren der Einschätzung der Toxizität von Spurenstoffen)
- Eliminierung von Spurenstoffen und Transformationsprodukten in der Abwasserreinigung
- Indikatorsubstanzen für die Bewertung von technischen Maßnahmen
- Bewertung von Abwassertechniken im Hinblick auf mikrobiologische Belastungen
- Gesetzliche Regelungen

Schulprojekt

Zahlreiche Situationen im Alltag sowie im Beruf erfordern Entscheidungen, die die differenzierte Betrachtung verschiedener Positionen und Lösungsansätze benötigen. Lernende sollten mit dieser Multidimensionalität umgehen können, um kompetent am gesellschaftlichen Diskurs teilzunehmen. Am Beispiel der Problematik der Spurenstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf wurde im Rahmen des Verbundprojektes **TransRisk** von der Technischen Universität Dresden ein Schülerprojekt für die Sekundarstufen I und II an allgemeinbildenden Schulen konzipiert und erprobt. Ziel dieses Projektes ist, die Bewertungskompetenz der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf naturwissenschaftliche Problemstellungen des Alltags zu fördern.

Im Schülerprojekt erarbeiten die Teilnehmenden in Form eines Rollenspiels ein Gutachten über die Problematik anthropogener Spurenstoffe im Wasserkreislauf und geben eine Handlungsempfehlung bezüglich der Einführung einer vierten Reinigungsstufe in der kommunalen Kläranlage. Bei der Auseinandersetzung mit dem Thema diskutieren die Lernenden intensiv verschiedene Eintragswege der Spurenstoffe in den Wasserkreislauf sowie Möglichkeiten zur Minimierung. Mithilfe von Schülerexperimenten, die Verfahren der erweiterten Abwasserreinigung modellhaft nachstellen, können die Lernenden die Wirkprinzipien der neuen Technologien nachvollziehen und deren Nutzen beurteilen. Alle gewonnenen Ergebnisse werden in der Lerngruppe unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte bewertet und in einem Gutachten zusammengefasst.

Vorschläge zu Curriculae Fachkraft Abwassertechnik, Abwassermeister

Die Etablierung neuer Verfahren in der Abwasserreinigung führt auch zu neuen Anforderungen an die Fachkräfte im technischen Umweltschutz. Um das in der Forschung generierte neue Wissen möglichst schnell in Aus- und Weiterbildung zu integrieren, wurden die Forschungsergebnisse des Verbundprojektes **TransRisk** didaktisch analysiert. Insbesondere die neuen Kenntnisse über die Charakterisierung von Spurenstoffen, deren Eintragswege in den Wasserkreislauf sowie die technischen Möglichkeiten zu deren Minimierung in der Kläranlage sind für die berufliche Bildung relevant.

Im Bereich der Ausbildung sind die „Verordnung über die Berufsausbildung in umwelttechnischen Berufen“ und der „Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Fachkraft für Abwassertechnik“ ausreichend offen for-

muliert, um neue Inhalte in die vorhandenen Lernfelder integrierten zu können. Beispielsweise ist es möglich, bei der Betrachtung ökologischer Stoffkreisläufe und hygienischer Aspekte im Bereich Abwassertechnik auch neue Erkenntnisse über Spurenstoffe und Krankheitserreger einzubinden. Die Thematisierung neuer Technologien in der Abwasserreinigung kann zudem unmittelbar an die Behandlung konventioneller Reinigungsverfahren angeschlossen werden. Die Stundenumfänge der einzelnen Lernfelder sind entsprechend anzupassen.

Im Rahmen einer Weiterbildung zum Abwassermeister setzen sich die Teilnehmenden vertieft mit Verfahren der Abwasser- und Umwelttechnik auseinander. Auch hier wäre die Integration der in der Forschung generierten Inhalte zu erweiterten Verfahren der Abwasserreinigung möglich.

Fortbildung für medizinisches Personal

Anknüpfend an eine Befragung von Ärztinnen und Ärzten sowie Pflegedienstmitarbeitenden zu deren Wissen über Arzneimittelrückstände im Wasserkreislauf und ihren Umgang damit wurden im Verbundprojekt **SAUBER+** maßgeschneiderte Bildungsmaßnahmen für die beiden Beschäftigtengruppen entwickelt und erprobt.

Für Ärztinnen und Ärzte wurde ein zeitlich und situativ adaptierbares Fortbildungskonzept „Antibiotikaresistenzen und pharmazeutische Wirkstoffe im Wasserkreislauf. Risikocharakterisierung und ärztliche Handlungsoptionen“ erarbeitet. Dieses zielt darauf ab, ein ärztliches Risikobewusstsein zu schaffen sowie aufzuzeigen, wie diese

wichtige Zielgruppe durch ihre (veränderten) Arbeits- und Verhaltensroutinen den Eintrag von pharmazeutischen Wirkstoffen und Krankheitserregern in die aquatische Umwelt reduzieren kann.

Für Pflegedienstbeschäftigte wurde unter dem Aspekt der projekt- und zielgruppenbezogenen Voraussetzungen (ohne Fortbildungspflicht für Pflegedienstbeschäftigte) angestrebt, die Thematik möglichst vielen potenziellen Adressaten zugänglich zu machen. Dazu wurde ein Übersichtsbeitrag mit dem Titel „Gefährliche Rückstände im Klinikabwasser?“ für Pflegedienstpersonal in der Zeitschrift CNE.magazin lanciert⁶, mit der zurzeit etwa 460 Kliniken ihre Mitarbeitenden im Bereich der Gesundheits- und Krankenpflege qualifizieren. Des Weiteren veröffentlichten Mitglieder des Projektkonsortiums regelmäßig Beiträge in der Mitarbeiterzeitschrift des Ortenau Klinikums OKplus, wodurch ca 5.000 Beschäftigte erreicht und über das Vorhaben sowie ihre individuellen Handlungsmöglichkeiten informiert wurden.

6.7 Literatur

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): UmweltWissen: Schadstoffe, Spurenstoffe im Wasser, 13 S., Augsburg, http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_125_spurenstoffe.pdf
- Brewer, N. (2011): Goals. In B. Fischhoff, N. Brewer, J. Downs (Eds.), *Communicating Risks and Benefits: An Evidence-Based User's Guide* (pp. 3–10). Washington, DC: Food and Drug Administration
- Brewer, N. T.; Chapman, G. B.; Gibbons, F. X.; Gerrard, M.; McCaul, K. D.; Weinstein, N. D. (2007): Meta-analysis of the relationship between risk perception and health behavior: The example of vaccination. *Health Psychology*, 26(2), 136–45
- Centers for Disease Control and Prevention (Ed.). (2012): *Crisis and emergency risk communication*. Retrieved from http://emergency.cdc.gov/cerc/resources/pdf/cerc_2012edition.pdf
- Fischhoff, B.; Brewer, N.; Downs, J. (2011): *Communicating risks and benefits: An evidence-based user's guide*. Washington, DC: Food and Drug Administration.
- Gigerenzer, G.; Gaissmaier, W.; Kurz-Milcke, E.; Schwartz, L. M.; Woloshin, S. (2007): Helping Doctors and Patients Make Sense of Health Statistics. *Psychological Science in the Public Interest*, 8(2), 53–96.
- Glik, D. C. (2007): Risk communication for public health emergencies. *Annual Review of Public Health*, 28, 33–54.
- Götz, K.; Birzle-Harder, B.; Sunderer, G. (2014): Ergebnisse einer Repräsentativbefragung zu Medikamentenrückständen im Wasserkreislauf und zur Medikamentenentsorgung. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, Nr. 12, 61. Jg., 1102–1105.
- Hyer, R. N.; Covello, V. T. (2005): *Effective media communication during public health emergencies: A WHO handbook*. World Health Organization.
- Loewenstein, G. F.; Weber, E. U.; Hsee, C. K.; Welch, N. (2001): Risk as feelings. *Psychological Bulletin*, 127(2), 267–286.
- Lofstedt, R. (2003): Risk communication: Pitfalls and promises. *European Review*, 11(03), 417–435.
- Renn, O. (2008): *Risk governance: Coping with uncertainty in a complex world*. London: Earthscan.
- Renner, B.; Gamp, M. (2014a): Krisen- und Risikokommunikation. *Prävention und Gesundheitsförderung*, 9(3), 230–238.
- Renner, B.; Gamp, M. (2014b): *Psychologische Grundlagen der Gesundheitskommunikation*. In K. Hurrelmann E. Baumann (Eds.), *Handbuch Gesundheitskommunikation* (pp. 64–80). Bern: Huber.
- Renner, B.; Gamp, M.; Schmälzle, R.; Schupp, H. T. (2015): Health risk perception. In J. Wright (Ed.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (2. Ed, pp. 702–709). Oxford, England: Elsevier.
- Renner, B.; Reuter, T. (2012): Predicting vaccination using numerical and affective risk perceptions: The case of A/H1N1 influenza. *Vaccine*, 30(49), 7019–26.
- Renner, B.; Schupp, H. (2011): The perception of health risks. In H. S. Friedman (Ed.), *Oxford handbook of health psychology* (pp. 637–665). New York: Oxford University Press.
- Schoenemann, B.; Jardin, N.; (2015): *Baden in Fließgewässern. Ein Handlungsleitfaden am Beispiel des Baldeneysees der Unteren Ruhr im Rahmen des BMBF-Projekts Sichere Ruhr*. Essen. www.sichere-ruhr.de/wp-content/uploads/2014/01/sichere_ruhr_handlungsleitfaden_final.pdf.
- Sheeran, P.; Harris, P. R.; Epton, T. (2013): Does heightening risk appraisals change people's intentions and behavior? A meta-analysis of experimental studies. *Psychological Bulletin*, 140(2), 511–543.
- Slovic, P. E. (2000): *The perception of risk*. London: Earthscan Publications.
- Slovic, P. E.; Peters, E. (2006): Risk perception and affect. *Current Directions in Psychological Science*, 15(6), 322–325.
- U.S. EPA (2007): *Effective risk and crisis communication during water security emergencies (EPA/600/R-07/027)*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- U.S. EPA (2012): *Need to know: Anticipating the public's questions during a water emergency (EPA/600/R-12/020)*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Wood, M. D.; Bostrom, A.; Bridges, T.; Linkov, I. (2012): Cognitive mapping tools: Review and risk management needs. *Risk Analysis*, 32(8), 1333–48.

⁶ Der Artikel ist verfügbar unter: https://www.thieme.de/statics/bilder/thieme/final/de/bilder/tw_pflge/022-023_CNEm_2014_05_Sauber_plus.pdf

Kapitelautoren (in alphabetischer Reihenfolge)

1 Einleitung

Kapitelverantwortliche:

Dr. Thomas Track, DECHEMA e.V., Frankfurt am Main

E-Mail: track@dechema.de

Weitere Autoren:

Friederike Bleckmann, Projektträger Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Dr. Verena Höckele, Projektträger Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

2 Vorkommen von Spurenstoffen, Krankheitserregern und Antibiotikaresistenzen im Wasserkreislauf

Kapitelverantwortliche:

Dr. Marion Letzel, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Wielenbach

Dr. Frank Sacher, TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

Prof. Dr. Thomas Ternes, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

E-Mail: marion.letzel@lfu.bayern.de

E-Mail: frank.sacher@tzw.de

E-Mail: ternes@bafg.de

Weitere Autoren:

Prof. Dr. Martin Exner, Universität Bonn

Prof. Dr. Thomas Schwartz, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

3 Risikocharakterisierung und Risikobewertung: Trinkwasser, Abwasser, Grund- und Oberflächenwasser

Kapitelverantwortliche:

Dr. Tamara Grummt, Umweltbundesamt, Bad Elster

Prof. Dr. Rita Triebkorn, Eberhard-Karls-Universität, Tübingen

E-Mail: tamara.grummt@uba.de

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

Weitere Autoren:

Prof. Dr. Martin Exner, Universität Bonn

Dr. Lars Jurzik, Ruhr-Universität Bochum

Dr. Marion Letzel, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Wielenbach

PD Dr. Tobias Licha, Georg-August-Universität, Göttingen

Prof. Dr. Jörg Oehlmann, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main

Prof. Dr. Thomas Schwartz, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Prof. Dr. Michael Wilhelm, Ruhr-Universität Bochum

4 Technologien zur Minderung von organischen Spurenstoffen und Krankheitserregern in der aquatischen Umwelt

Kapitelverantwortliche:

Prof. Dr. Martin Jekel, TU Berlin

Dr. Laurence Palmowski, RWTH Aachen

Prof. Dr. Johannes Pinnekamp, RWTH Aachen

E-Mail: martin.jekel@tu-berlin.de

E-Mail: sekretariat@isa.rwth-aachen.de

5 Managementkonzepte zum Umgang mit Spurenstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf

Kapitelverantwortliche:

Dr. Wolf Merkel, IWW Zentrum Wasser, Mülheim a.d. Ruhr

PD Dr. Traugott Scheytt, TU Berlin

E-Mail: w.merkel@iww-online.de

E-Mail: traugott.scheytt@tu-berlin.de

6 Kommunikation und Bildungsmaßnahmen

Kapitelverantwortliche:

Dr. Martina Gamp, Universität Konstanz

Prof. Dr. Britta Renner, Universität Konstanz

Sabine Thaler, DWA e.V., Hennef

E-Mail: martina.gamp@uni-konstanz.de

E-Mail: britta.renner@uni-konstanz.de

E-Mail: thaler@dwa.de

Weitere Autoren:

PD. Dr. Maik Adomßent, Leuphana Universität Lüneburg

Klaus Amler, Ökconsult GbR, Stuttgart

Prof. Dr. Nina Baur, TU Berlin

Prof. Dr. Franz Bogner, Universität Bayreuth

Nikolaus Geiler, regioWASSER e.V., Freiburg

Dr. Konrad Götz, ISOE, Frankfurt

Ulrike Krauß, TU Dresden

Dr. Wolf Merkel, IWW Zentrum Wasser, Mülheim a.d. Ruhr

Prof. Dr. Manuela Niethammer, TU Dresden

Dr. Regina Rhodius, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, regioWASSER e.V., Freiburg

Bea Schmitt, team ewen, Darmstadt

Jutta Schneider-Rapp, Ökconsult GbR, Stuttgart

Sebastian Sturm, TZW, Karlsruhe

Patrick Timpel, TU Dresden

Dr. Thomas Uhlendahl, regioWASSER e.V., Freiburg

Dr. Melanie Wenzel, TU Berlin

Herausgeber:

DECHEMA e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“ RiSKWa:

Beim BMBF:
Dr. Christian Alecke
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat 724 - Ressourcen und Nachhaltigkeit
Heinemannstraße 2
53175 Bonn
Tel.: +49 (0)228 9957-3890
Fax: +49 (0)228 9957-83890
E-Mail: christian.alecke@bmbf.bund.de

Beim Projektträger:
Dr. Verena Höcke
Projektträger Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel.: +49 (0)721 608-24932
Fax: +49 (0)721 608-924932
E-Mail: verena.hoecke@kit.edu

Editor:

Wissenschaftliches Begleitvorhaben der BMBF-Fördermaßnahme „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“ (RiSKWa)

Verantwortlich im Sinne des Presserecht:
Dr. Thomas Track
DECHEMA e.V.
Tel.: +49 (0)69 7564-427
Fax: +49 (0)69 7564-117
E-Mail: track@dechema.de

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 02WRS1271

ISBN: 978-3-89746-189-5

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren der einzelnen Beiträge. Die Broschüre ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.

Erschienen im November 2016
zum Abschluss der BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa

Bilder Titelseite – oben v.l.: © Bodenseewasserversorgung; © DECHEMA; unten v.l.: © J. Couillard; © Universität Tübingen

