

**Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Technische Universität Kaiserslautern**

**Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen
in Rheinland-Pfalz**

Fachtagung
Kaiserslautern, 25. November 2015

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. T. G. Schmitt und Dr.-Ing. H. Knerr

Vorwort

Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen (in Rheinland-Pfalz) – erstmalig werden „Mikroschadstoffe“ als eines der aktuellen Themen der Siedlungswasserwirtschaft bereits im Titel unserer Fachtagung adressiert. Gleichwohl hat die Thematik am Fachgebiet bereits eine gewisse „Historie“. Es sei erlaubt, dies hier kurz darzustellen. Bereits bei den Fachtagungen „siwawi 2030 – Themen und Lösungsansätze für die nächsten 25 Jahre“ zum 25-jährigen Bestehen des Fachgebietes 2006 und „Siedlungswasserwirtschaft 20..40..60“ im Jahr 2013 waren Beiträge zum Auftreten von Mikroschadstoffen im urbanen Wasserkreislauf enthalten. Die Analyse ihrer Herkunft und Verteilung in Abwassersystemen sowie die Bewertung ihres Verbleibs und daraus resultierender Gewässerbelastungen war langjähriger Forschungsgegenstand von Antje Welker mit ihrer Habilitation am Fachgebiet in 2005. Die Belastung des Niederschlagsabflusses von Siedlungs- und Verkehrsflächen mit Schadstoffen, damals vorrangig Schwermetalle und PAK, war auch schon Thema in der Antrittsvorlesung „Siedlungswasserwirtschaft an der Schwelle zum 21. Jahrhundert“ des Unterzeichners 1993.

Medienberichte über Arzneimittelrückstände in Trinkwasservorkommen und endokrine Substanzen in aquatischen Ökosystemen haben dem Thema „Mikroschadstoffe“ in den zurückliegenden Jahren zusätzliche Brisanz verliehen. Dabei besteht trotz der Erkenntnisse unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen zu Stoffeigenschaften, Umwandlungsprozessen und möglichen ökotoxikologischen Wirkungen weiterhin ein großer Forschungsbedarf. Dies spiegelt sich in einer großen Zahl auch internationaler Forschungsvorhaben wider. In Deutschland ist die BMBF-Fördermaßnahme „RiSKWa – Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“ ein besonders hervorgehobenes Beispiel. Darin hat sich die große Relevanz von Kläranlagenabläufen als Eintragspfad für abwasserbürtige Mikroschadstoffe in Oberflächengewässer bestätigt.

Entsprechend ist die Forderung nach Ausbau der Kläranlagen mit sogenannter „vierter Reinigungsstufe“ – trotz des immer noch begrenzten Kenntnisstandes und der Komplexität der Problemstellung – immer lauter hervorgetreten. Rechtliche Vorgaben zur gezielten Elimination von Mikroschadstoffen bestehen bislang nicht. Allerdings werden mit der europäischen Richtlinie 2013/39/EU neue Substanzen in der Liste der prioritären Stoffe ausgewiesen. Als Arzneimittel wurde der Wirkstoff Diclofenac in die Beobachtungsliste (‘watch list’) aufgenommen und soll in Oberflächengewässern regelmäßig überwacht werden. Für Diclofenac wurde in Rheinland-Pfalz an mehreren Gewässermessstellen bereits eine Überschreitung des Jahresdurchschnittswertes von 0,1 µg/l festgestellt, welcher der ökotoxikologisch abge-

leiteten „Null-Effekt-Konzentration“ entspricht. Dies verdeutlicht den Handlungsbedarf für einen verbesserten Gewässerschutz.

Der Bau vierter Reinigungsstufen wird in der Schweiz besonders stark vorangetrieben. In Deutschland zeigt sich in recht unterschiedlichen Bewertungen zur Notwendigkeit und Dringlichkeit der Nachrüstung von Kläranlagen in den Bundesländern auch der föderale Charakter der Wasserwirtschaft. Differenzierte Sichtweisen lassen auch die Beiträge in Fachzeitschriften und die inhaltliche Ausrichtung von Fachtagungen erkennen, die sich gerade in 2015 besonders zu häufen scheinen.

Hintergrund und Gegenstand der Fachtagung 2015 und der vorliegenden Schriftenreihe ist das Forschungsprojekt Mikro_N: *„Studie zu Relevanz, Möglichkeiten und Kosten einer Elimination von Mikroschadstoffen auf kommunalen Kläranlagen in Rheinland-Pfalz“*. Die Studie wurde vom Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Kaiserslautern in Verbindung mit tectraa, Zentrum für Innovative AbWassertechnologien, und gemeinsam mit WiW, Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH Wuppertal, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz (MULEWF) durchgeführt.

Darin wurde für das Referenzgewässer der Nahe mit dem Stoffflussmodell GREAT-ER die Belastungssituation analysiert und das Potenzial der Einführung von 4. Reinigungsstufen zur gezielten Elimination von Mikroschadstoffen bewertet. Über eine Szenarienbetrachtung wurde die Wirksamkeit von Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Reduzierung der Einträge von Mikroschadstoffen untersucht. Auf der Grundlage von Kosten-Wirksamkeits-Betrachtungen wurden Handlungsempfehlungen für Rheinland-Pfalz abgeleitet. Die Vorgehensweise mit den gewählten methodischen Ansätzen und die gewonnenen Erkenntnisse werden mit projektbezogenen Vorträgen vorgestellt.

Zur Einordnung der durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse des Vorhabens Mikro_N werden zur Thematik „Mikroschadstoffe im urbanen Wasserkreislauf und in Gewässern“ projektübergreifend Handlungsbedarf und Handlungsoptionen sowie Ziele und Rahmenbedingungen zur Reduzierung des Stoffeintrags in die Gewässer aus der Sicht des Landes Rheinland-Pfalz und weiterer Akteure der Wasserwirtschaft in jeweils eigenen Beiträgen beleuchtet.

Die Herausgeber bedanken sich bei den Referentinnen und Referenten sehr herzlich für die Bereitschaft zur Übernahme eines Tagungsbeitrages und ihre Aufgeschlossenheit, sich den thematischen Vorgaben zu widmen.

Inhalt

Mikroschadstoffe – Perspektiven und Rahmenbedingungen aus Sicht des Landes Rheinland-Pfalz	1
<i>Staatsministerin Ulrike Höfken, MULEWF</i>	
Ziele und Rahmenbedingungen zur Vermeidung des Eintrags von Mikroschadstoffen aus EU- und Bundessicht.....	7
<i>Ministerialdirigent Dr. Jörg Wagner, BMUB, Berlin</i>	
Strategien zur Verminderung anthropogener Spurenstoffe im Wasserkreislauf.....	17
<i>Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Firk, Wasserverband Eifel-Rur</i>	
Das Projekt Mikro_N – Motivation und Vorgehensweise.....	27
<i>H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel, TU Kaiserslautern G. Kolisch, Y. Taudien, WiW mbH Wuppertal</i>	
Situationsanalyse der Gesamtemissionen an Mikroschadstoffen im Einzugsgebiet der Nahe	51
<i>H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel, TU Kaiserslautern G. Kolisch, Y. Taudien, WiW mbH Wuppertal</i>	
Szenarienbetrachtung zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen.....	69
<i>Y. Taudien, G. Kolisch, WiW mbH Wuppertal H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel, TU Kaiserslautern</i>	
Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen	91
<i>G. Kolisch, Y. Taudien, WiW mbH Wuppertal H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel, TU Kaiserslautern</i>	
Optionen zur Verminderung der Einträge von Mikroschadstoffen an der Quelle.....	109
<i>Dr.-Ing. Issa Nafu und Dipl.-Ing. Ekkehard Pfeiffer, EmscherGenossenschaft/Lippeverband</i>	
Mikroschadstoffe in Gewässern – Bewertung aus Sicht der Kommunen	125
<i>Bürgermeister Aloysius Söhngen, GStB Rheinland-Pfalz</i>	

Mikroschadstoffe – Perspektiven und Rahmenbedingungen aus Sicht des Landes Rheinland-Pfalz

Ulrike Höfken

Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten, Mainz

Kurzfassung: Die Herausforderungen an die Abwasserwirtschaft sind vielfältig. Dabei rücken auch im (Ab)Wasser enthaltene Mikroschadstoffe immer mehr in den Vordergrund. Zunächst sind alle möglichen Ansätze zur Vermeidung von Einträgen an der Quelle auszuschöpfen. Grundlage für weitergehende Entscheidungen ist die Relevanzprüfung von Stoffen anhand geeigneter Qualitätskriterien. Bei gegebener Relevanz sind weitergehende Maßnahmen zu ergreifen. Zur Verbesserung des Kenntnisstandes und der Entscheidungsgrundlage hat das Land Rheinland-Pfalz mit der TU Kaiserslautern und der Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH (WiW) das Projekt „Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen am Beispiel der Nahe“ durchgeführt. Wichtig war dabei eine systematische Vorgehensweise mit der integralen Darstellung und Bewertung der Emissionen und den zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen. Neben möglichen Vermeidungsmaßnahmen an der Quelle wurden auch die Möglichkeiten und Kosten des Einsatzes von 4. Reinigungsstufen aufgezeigt und bewertet. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Studie und der Fachtagung wird die rheinland-pfälzische Strategie zum Umgang mit Mikroschadstoffen fortentwickelt werden.

Key-Words: Mikroschadstoffe, Herausforderungen Abwasserwirtschaft, Vermeidung von Einträgen, Kosten-Nutzen weitergehender Maßnahmen, Studie Mikro_N(ahe)

1 Zentrale Herausforderungen der Abwasserbeseitigung

Die dauerhafte Sicherstellung des in der Abwasserbeseitigung erreichten hohen Niveaus und die zielgerichtete Optimierung mit den erforderlichen umfangreichen Reinvestitionen und den betrieblichen Anforderungen sind zentrale wichtige Herausforderungen für die Zukunft – insbesondere auch vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklung. Bei einem Anlagenbestand von 8 Milliarden Euro ist alleine für

die Sanierung, die Erneuerung oder den Umbau der Systeme der rheinland-pfälzischen Abwassersysteme ein Investitionsvolumen von 160 – 200 Millionen Euro im Jahr erforderlich. Ein hoher Teil der Kosten wird dabei für die Sanierung oder den Ersatz von schadhafte Kanälen benötigt. Weitere bedeutende Aufgaben im Bereich der Abwasserbeseitigung sind die Umsetzung der WRRL, zum Beispiel die Reduzierung der Einträge von Phosphor an bestimmten Gewässern, die Sicherstellung einer effizienten und zukunftsfähigen Klärschlammentsorgung und auch das Thema Starkregenereignisse.

2 Mikroschadstoffe, deren Einordnung zu weiteren Herausforderungen der Wasserwirtschaft und Handlungsoptionen

Neben diesen bestehenden Aufgaben der Abwasserentsorgung sehen wir uns zudem bei der Frage der stofflichen Belastungen in Gewässern mit neuen Fragen konfrontiert. Die chemische Analytik ermöglicht heute den Nachweis von Schadstoffen in niedrigsten Konzentrationen. Im Mikro- und Nanogrammbereich finden wir heute in den Gewässern unter anderem

- Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, die von landwirtschaftlichen Flächen oder durch unsachgemäße Gerätereinigung über die Kläranlagen in die Gewässer gelangen. Bei einigen Pflanzenschutzmittelwirkstoffen kommt es dabei sogar zu Überschreitungen der gesetzlich festgelegten Umweltqualitätsnormen.
- Arzneimittelwirkstoffe aus der Human- oder Veterinärmedizin, die über Kläranlagen, über Mischwasserentlastungen oder auch über die Ausbringung von Gülle auf landwirtschaftliche Ackerflächen in die Gewässer gelangen.
- Östrogene und Röntgenkontrastmittel, die vom Körper nicht oder nicht vollständig aufgenommen werden und deren Wirkstoffe mit der herkömmlichen Kläranlagentechnik nicht abgebaut werden.
- Biozide und Korrosionsschutzmittel, die insbesondere über Niederschlagswasser in die Gewässer geschwemmt werden.

Diese Erkenntnisse haben dazu geführt, dass in den letzten Jahren einige Mikroschadstoffe als neue prioritäre Stoffe mit europaweit einheitlichen Umweltqualitätsnormen versehen wurden. Einige Werte sind dabei auch umstritten und die Festlegung weiterer Umweltqualitätsnormen ist zu erwarten.

Daher muss die erste Frage lauten: welche der sogenannten Mikroschadstoffe sind tatsächlich relevant? Das heißt, um welche Stoffe müssen wir uns kümmern, weil ihr Auftreten ein unmittelbares Risiko für die Gesundheit des Menschen darstellt? Aber auch schädliche Wirkungen auf Mikroorganismen und Fische können bedeutend sein für die Biodiversität, für die Nahrungskette und damit für das gesamte Ökosystem –

Auswirkungen, die auf lange Sicht auch Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen haben können.

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie erteilt in diesem Zusammenhang einen „Dauerauftrag“ zur Beobachtung und Bewertung neu identifizierter Schadstoffe. Sowohl die EU-Kommission ist aufgefordert, die Liste der prioritären Stoffe, die in allen Mitgliedsstaaten der EU auftreten, fortzuschreiben, als auch die einzelnen Mitgliedsstaaten sind gehalten, Stoffe die in ihrem Gebiet oder flussgebietspezifisch auftreten, zu überwachen und bei entsprechender Relevanz zu regulieren.

Die Risikobewertung von Stoffen ist äußerst vielschichtig. Nicht nur die Vorgaben der EG-Wasserrahmenrichtlinie und der Richtlinie über prioritäre Stoffe sowie entsprechender nationaler Regelungen sind hier heranzuziehen. Bewertungsmaßstäbe für Schadstoffe finden sich auch in der Chemikalienpolitik der EU mit der REACH-Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. Bewertungsmaßstäbe finden sich auch in den Vorgaben für das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und Bioziden, ebenso in den Vorgaben für die Zulassung und das Inverkehrbringen von Human- und Tierarzneimitteln.

Aber nicht nur die einzelnen Schadstoffe für sich müssen betrachtet werden, sondern auch ihr Zusammenwirken mit anderen Stoffen, wobei solche „Schadstoffcocktails“ besondere Gefahren darstellen können. Transformations- und Abbauprodukte aus biologischen und oxydativen Reinigungsverfahren, die in einigen Fällen sogar ein höheres ökotoxikologisches Wirkpotenzial haben können als der Ausgangsstoff, kommen hinzu.

Soweit am Ende die Bewertung von Substanzen zum Nachweis einer öko- bzw. humantoxikologischen Relevanz von Mikroschadstoffen führt, so gilt es, deren Eintrag in die Umwelt und speziell die Gewässer zu reduzieren oder zu verhindern.

Bevor man aber zu einer Handlungsoption „end of pipe“ greift, gilt es, Maßnahmen im Vorfeld der Einleitung von Schadstoffen in Kanalisation und Kläranlagen zu entwickeln.

Eine effiziente Herangehensweise an die Problematik der Mikroschadstoffe bedeutet, zunächst die Eintragungspfade zu ermitteln und dort anzusetzen, wo Schadstoffe entstehen, zum Einsatz kommen oder entsorgt werden müssen.

Eine Vielzahl von Handlungsoptionen im vorsorgenden Bereich ist denkbar:

- bei der Entwicklung, Zulassung und Produktion von Chemikalien und Arzneimitteln sollten die Umweltauswirkungen einzelner Wirkstoffe noch besser erforscht und insbesondere bei der Zulassung stärker berücksichtigt werden;
- die Substitution bestimmter Stoffe durch weniger umweltbelastende Wirksubstanzen müsste stärker ins Auge gefasst werden;

- Anwender in Medizin und chemischer Industrie, aber auch die Verbraucherinnen und Verbraucher sollten stärker sensibilisiert werden für die Umweltauswirkung von Chemikalien und Arzneimitteln und – gegebenenfalls durch entsprechende gesetzliche Anreize – zum Griff zu umweltfreundlicheren Einsatzstoffen und Produkten bewegt werden;
- in der Landwirtschaft muss der Einsatz von Arzneimitteln in der Veterinärmedizin aber insbesondere auch bei der Tierzucht reduziert und umweltfreundlicher werden, um z. B. den Eintrag von Mikroschadstoffen in die Gewässer beim Ausbringen von Gülle auf Äckern und Wiesen zu verhindern oder mindestens zu vermindern;
- eine Abtrennung von Abwasserströmen in „hot spots“ wie z. B. Krankenhäusern oder Pflegeheimen muss erfolgen, um hier gezielt und dezentral Abwasser mit hohen Konzentrationen von Mikroschadstoffen effizient vorreinigen zu können, damit anschließend in der Kläranlage kein zusätzlicher Aufwand entsteht;
- wir brauchen klare Strategien für die ordnungsgemäße Entsorgung ungenutzter Chemikalien und Arzneimitteln. Dazu setzt sich die Landesregierung beim Thema Altmedikamente bereits dafür ein, dass diese in den Apotheken zurückgegeben und von dort einer geordneten Beseitigung zugeführt werden können. Wo eine Müllverbrennung stattfindet, können Altmedikamente dem Restmüll zugeführt werden.

Soweit Mikroschadstoffe in die Kanalisation gelangen, so werden sie bei der Abwasserbehandlung bislang nur ungezielt durch Anlagerung an den Belebtschlamm oder durch biologischen Abbau bzw. biologische Umwandlung reduziert. Je nach Stoff verbleibt derzeit eine Restbelastung im gereinigten Abwasser.

Zur Vermeidung von Fehlinvestitionen sind vor der Nachrüstung von Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe folgende zentrale Fragen zu den Zielen zu beantworten:

- Welche Ziel-Werte sollen für welche Parameter erreicht werden? Ohne klare Zielsetzung ist die Umsetzung von Maßnahmen nicht vermittelbar. Sind UQN maßgebend für eine Relevanzprüfung/Nutzen-Bewertung?
- Welcher Zielwert ist anzusetzen, wenn noch keine UQN abgeleitet ist? Null-Emission ist nicht möglich => Welches sind die hinnehmbaren Restrisiken?
- Frachtansatz (große Kläranlagen) und/oder Konzentrationsansatz (kleine bzw. mittelgroße Kläranlagen an kleinen Gewässern)?
- Tragen die Maßnahmen zur Erreichung bzw. Erhaltung des „guten ökologischen Zustandes“ der EU-WRRL bei?

Die sogenannten 4. Reinigungsstufen sind anspruchsvolle Techniken zur Abwasserbehandlung. Bekannte und bewährte Verfahren sind die Ozonung bzw. der Einsatz von Aktivkohle.

Auch die Erfahrung aus bestehenden Anlagen wird für die zu entwickelnde rheinland-pfälzische Konzeption zu nutzen sein.

3 Projektintention Mikro_N(ahe)

Zur Verbesserung des Kenntnisstandes und der Entscheidungsgrundlage hat das Land Rheinland-Pfalz mit der TU Kaiserslautern und der Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH (WiW) vor 3 Jahren das Projekt „Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen in Rheinland-Pfalz am Beispiel der Nahe - kurz Mikro_N“ gestartet. Wichtig war dabei eine durchweg systematische Vorgehensweise mit der integralen Darstellung und Bewertung der Emissionen und den zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen inklusive dem Gewässerbezug. Das unterscheidet die Studie des Landes Rheinland-Pfalz von anderen Projekten, in denen zum Teil sehr einseitig mögliche Techniken einer 4. Reinigungsstufe bewertet werden, ohne dass der mögliche Erfolg sowie das Kosten-Nutzen-Verhältnis ausreichend bewertet werden. Auf der Grundlage von Messungen im Nahe-Einzugsgebiet wurden in dem Projekt Modellberechnungen und Bewertungen zu den Reduktionsmöglichkeiten und Kosten zu sehr unterschiedlichen Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen durchgeführt. Mit den Projektergebnissen wird deutlich, was die Einführung einer 4. Reinigungsstufe auf bestimmten ausgewählten Kläranlagen zu welchem Preis bewirken kann und wo die Grenzen eines solchen Ansatzes liegen. Dem gegenübergestellt werden die Möglichkeiten von dezentralen Maßnahmen bzw. Maßnahmen der Vermeidung sowie die Kombination der unterschiedlichen Ansätze.

Die Projektergebnisse sind eine wichtige Grundlage zur Fortentwicklung der Strategie zum Umgang mit Mikroschadstoffen im Wasser- und Abwasserpfad bzw. zur Vermeidung des Eintrages dieser Stoffe in die Umwelt. Ich lege großen Wert darauf, dass in diese Fortentwicklung auch die Kenntnisse und Erfahrungen der breiten Fachöffentlichkeit einfließen. Dazu dient die Fachtagung „Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen in Rheinland-Pfalz“ am 25.11.2015 in Kaiserslautern. Ich wünsche der Fachtagung daher einen guten Verlauf mit guten Ergebnissen. Ich bin mir sicher, dass dies gelingen wird.

4 Ausblick

Das Projekt Mikro_N hat für das Land Rheinland-Pfalz beim Thema Mikroschadstoffe einen hohen Erkenntnisgewinn erbracht. Mögliche Vermeidungsmaßnahmen an der Quelle wurden herausgearbeitet. Daneben werden auch die Möglichkeiten und Kosten des Einsatzes von 4. Reinigungsstufen aufgezeigt und bewertet. Auf der

Grundlage der Ergebnisse der Studie und der Fachtagung wird die rheinland-pfälzische Strategie zum Umgang mit Mikroschadstoffen fortentwickelt werden.

Dabei wird neben der Intensivierung der Vermeidungsmaßnahmen an der Quelle zwischen folgenden denkbaren Handlungsoptionen für eine künftige rheinland-pfälzische Vorgehensweise im weiteren Prozess sorgfältig abzuwägen sein:

- 4. Reinigungsstufe nur bei den größeren Kläranlagen (UBA-Ansatz)
- frachtbezogene Auswahl und Vorbehandlung von Schadstoffeinträgen an sogenannten „hot spots“, z. B. Krankenhaus
- immissionsbezogene Auswahl von Kläranlagen insbesondere in den leistungsschwachen Gewässern
- oder Kombination der verschiedenen Handlungsoptionen.

Korrespondenz an:

Herrn Thomas Jung

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten
Kaiser-Friedrich- Straße 1, 55116 Mainz

Tel.: 06131/16-4956

Fax: 06131/16-174956

E-Mail: Thomas.Jung@mulewf.rlp.de

Ziele und Rahmenbedingungen zur Vermeidung des Eintrags von Mikroschadstoffen aus EU- und Bundessicht

Ministerialdirigent Dr. Jörg Wagner
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Sehr geehrte Frau Staatsministerin Höfken,

sehr geehrter Herr Professor Schmitt,

vielen Dank für die Einladung und Ihre freundschaftliche Begrüßung.

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Sicht des Bundes auf die Mikroschadstoffe in Gewässern – und dies verknüpft mit den gegenwärtigen Regelungen der Europäischen Gemeinschaft zu ihrer Vermeidung –, so lautet mein Thema.

Wie groß das Problem der Mikroschadstoffe werden könnte, wissen wir im Moment noch nicht – vieles ist im Fluss, im übertragenen und im Wortsinn. Es gibt erste, sehr unterschiedliche Lösungsansätze in den Ländern. Wir als Bund haben uns noch nicht festgelegt. Um unser Wissen zu vergrößern, hat das Umweltbundesamt zunächst ein großes Forschungsvorhaben durchgeführt. Die Ergebnisse wurden Anfang Oktober auf einem Workshop im Bundespresseamt vorgestellt und mit den Ländern und Verbänden diskutiert.

Was wir als Bund jedoch wissen, ist, dass wir die Regelungen der Gemeinschaft erfüllen und an vielen Punkten auch ausfüllen müssen. So hat die Gemeinschaft 2008 in Konkretisierung von Art. 16 der Wasserrahmenrichtlinie die Richtlinie zu den Umweltqualitätsnormen erlassen und 2013 erstmals fortgeschrieben und erweitert und verschärft.

Erwägungsgrund 1 führt zum Problem der Mikroschadstoffe aus: „Die chemische Verschmutzung von Oberflächengewässern stellt eine Gefahr für die aquatische Umwelt dar, die zu akuter und chronischer Toxizität für Wasserlebewesen, zur Akkumulation von Schadstoffen in den Ökosystemen, zur Zerstörung von Lebensräumen und zur Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt führen kann, sowie für die menschliche Gesundheit dar.“

Unser Entwurf der fortgeschriebenen Oberflächengewässerverordnung, der diese Umweltqualitätsnormen-Richtlinie umsetzt, steht vor seiner Verabschiedung durch das Kabinett.

Auch die Länder sind aktiv geworden und wenden sich mit der Bitte um Unterstützung an den Bund. Die LAWA und dem folgend die Umweltministerkonferenz haben folgenden Beschluss formuliert – hier verkürzt wiedergegeben:

„es bedarf daher einer zwischen dem Bund und den Ländern abgestimmten Strategie zur Identifizierung und Priorisierung gewässerrelevanter Mikroschadstoffe“ und „es bedarf im Rahmen der gemeinsamen Strategie eines koordinierten Vorgehens beim Monitoring und Austausch von Ergebnissen (für Oberflächengewässer und Grundwasser).“

Die Aufforderung der Länder an uns als Bund lautet also: „Kümmere Dich“, entwickle zusammen mit uns als Ländern eine Strategie. Der Bund wird diese Bitte aufgreifen. Wir werden dabei sogar weiter gehen, als es der Beschluss der Länder nahe legt: Uns geht es nicht nur um eine Priorisierung der Mikroschadstoffe und um ein koordiniertes Vorgehen beim Austausch von Ergebnissen. Sondern, das legt der Begriff der Strategie nahe, wir wollen einen Plan, eine Strategie für Deutschland entwickeln:

Einen Plan, wie wir, aufbauend auf den Aktivitäten der LAWA und im Rahmen der Vorgaben des Gemeinschaftsrechts, mit den Mikroschadstoffen in unseren Gewässern umgehen wollen. Hierzu haben wir ein Projekt gestartet, über das ich Sie heute unterrichten möchte.

Um einen ganz zentralen Punkt vorab zu klären: Die von einigen als Allheilmittel empfohlene - verpflichtende - Einführung einer 4. Reinigungsstufe bei Kläranlagen erscheint uns zu kurz gesprungen. Die Aufrüstung von Kläranlagen wird allenfalls einen kleinen Baustein einer Strategie zum Umgang mit Mikroschadstoffen darstellen. Denn nicht alle Einträge von Mikroschadstoffen erfolgen über das Abwasser, nicht alle Mikroschadstoffe im Abwasser können über eine 4. Reinigungsstufe herausgefiltert werden, nicht alle Kläranlagen werden mit für den Bürger vertretbaren Investitionen aufrüstet werden können.

Umgekehrt werden wir das Problem der Mikroschadstoffe ganz ohne eine 4. Reinigungsstufe auch nicht lösen können. Allein auf das Verursacherprinzip abzustellen, wird kaum ausreichen. Auch wenn in der fortgeschriebenen UQN-Richtlinie festgehalten ist: „In erster Linie sollten die Verschmutzungsursachen ermittelt und die Emissionen von Schadstoffen in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht möglichst wirksam an ihrem Ursprung bekämpft werden.“

Wir halten einen kombinierten Ansatz für erforderlich. Einen Ansatz, der sowohl beim Verursacher an der Quelle ansetzt als auch eine end-of-pipe-Lösung integriert.

Meine nachfolgenden Überlegungen werde ich in drei Schritte gliedern:

1. Zunächst geht es um eine Bestandsaufnahme des Istzustands: Um welche Stoffe handelt es sich bei den Mikroschadstoffen und auf welche Weise gelangen sie in die Gewässer? Dabei beziehe ich mich auf einen aktuellen Bericht der LAWA „Mikroschadstoffe in Gewässern“, ausgearbeitet für die Umweltministerkonferenz.
2. Dann werde ich einen Sollzustand formulieren: Wie sollte der Gewässerzustand sein, den wir im Umgang mit den Mikroschadstoffen anstreben sollten? In der Sprache des Gemeinschaftsrechts geht es um den guten chemischen Zustand unserer Gewässer, den wir erreichen wollen.
3. Schließlich werde ich einen Weg skizzieren, auf welche Weise wir diesen Sollzustand erreichen können. Dies erfordert eine Zusammenarbeit und Arbeitsteilung aller Betroffenen in der Wasserwirtschaft in Deutschland. Auf welche Weise können wir die notwendigen Elemente einer vom Bund zusammen mit den Ländern initiierten, gemeinsamen Strategie erarbeiten und am Ende beschließen? Und wie könnten wir erste Umsetzungsschritte gehen?

Erstens: Der Istzustand

Um welche Stoffe handelt es sich bei den Mikroschadstoffen, die in unsere Gewässer gelangen?

Eine Definition der Mikroschadstoffe, wie sie eine Arbeitsgruppe der LAWA für den Bericht für die Umweltministerkonferenz aufgegriffen hat, lautet:

„Bei Mikroschadstoffen handelt es sich um Stoffe, die in sehr geringen Konzentrationen in unseren Gewässern vorkommen. Einige dieser Stoffe können bereits in sehr niedrigen Konzentrationen nachteilige Wirkungen auf die aquatischen Ökosysteme haben und/oder die Gewinnung von Trinkwasser aus dem Rohwasser negativ beeinflussen. Bei diesen Stoffen handelt es sich z. B. um Rückstände von Arzneimitteln, Körperpflegeprodukten, Pflanzenschutzmitteln, Industrie- und Haushaltschemikalien.“

Auf welche Weise gelangen diese Stoffe in unsere Gewässer hinein?

Arzneimittel für Menschen – und auch Körperpflegeprodukte – gelangen im Wesentlichen über das Abwasser und den Weg über die Kläranlage in unsere Gewässer, und zwar entweder über ihren Verbrauch oder über ihre Entsorgung über die Toilette, vereinzelt auch bereits bei der Produktion über Industrieabwässer. Das Grundwasser kann durch undichte Kanäle verunreinigt werden, welche die belasteten Abwässer in die Kläranlagen leiten sollen.

Tierarzneimittel gelangen dagegen über aufgebrachte Gülle und Jauche erst auf die Äcker und von dort in das Grundwasser, und bei Starkregen auch über Abschwemmungen in die Oberflächengewässer. Pflanzenschutzmittel gelangen in gleicher Weise in den Gewässerkreislauf.

Wieder anders ist es bei den Industrie- und Haushaltschemikalien. Sie können bereits im Verlauf der Produktion als Reststoffe unmittelbar über Industriekläranlagen in die Gewässer gelangen. Oder sie werden bei der Benutzung, Verwertung oder Entsorgung von Gebrauchsgegenständen etwa wie beim Abrieb von Autoreifen oder als Lacke freigesetzt und gelangen bei Regen in die Gewässer.

Zusammengefasst: Die Stoffe sind vielfältig – und ebenso ihre Wege in die Gewässer.

Zweitens: Der Sollzustand

Wie sollte der Gewässerzustand sein, den wir im Umgang mit diesen Mikroschadstoffen anstreben sollten? Warum erscheinen uns diese Stoffe problematisch, wieso sollten wir sie erst gar nicht in unsere Gewässer hineinlassen bzw. warum sollten wir sie so weit wie möglich wieder herausholen?

Für die Frage nach dem anzustrebenden Sollzustand, die auch immer mit einer wissenschaftlichen und einer rechtlichen Bewertung verknüpft ist, muss ich ein wenig ausholen.

Denn es gibt zwar, dankenswerterweise, auf der Ebene der Gemeinschaft einzelne Umweltqualitätsnormen zu Mikroschadstoffen. Normen bei denen eine wissenschaftliche und rechtliche Bewertung über Stoffe bereits vorgenommen wurde. Also ob sie, so die Bewertung der Wasserrahmenrichtlinie und ihrer Tochterrichtlinie, der Umweltqualitätsnormen-Richtlinie, als prioritäre bzw. prioritäre gefährliche Stoffe anzusehen sind. Hinzu treten, in Umsetzung der Vorgaben der UQN-Richtlinie, auf eigene Umweltqualitätsnormen für flussgebietspezifische Schadstoffe, diese dienen uns auf nationaler Ebene zur Beurteilung des ökologischen Zustands eines Gewässers; wir haben sie daher zusätzlich in der Oberflächengewässerverordnung erfasst.

Aber eigentlich wissen wir nur bei diesen in der UQN-Richtlinie und der OGewV gelisteten, und damit bei relativ wenigen Stoffen, um ihr Risiko- und Gefährdungspotenzial. Mit der rechtlichen Folge, dass die UQN-Werte für diese Schadstoffe in Gewässern nicht überschritten werden dürfen und deren Eintrag daher schrittweise von den Mitgliedstaaten zu reduzieren bzw. deren Einleitung zu beenden ist.

Bei zahlreichen anderen Mikroschadstoffen tappen wir aber noch im Dunkeln, sie werden bislang nicht erfasst oder sind uns noch gar nicht bekannt. Wir wissen also gar nicht, ob weitere Stoffe dauerhaft eine Gefahr darstellen oder sie für uns möglicherweise, zumindest in begrenztem Umfang, in Gewässern akzeptabel sind.

Dies ist der Grund, weshalb die UQN-Richtlinie regelmäßig fortgeschrieben wird – sobald neuere Erkenntnisse aus den Mitgliedstaaten vorliegen. Aus diesem Grund hat die Kommission auch mittlerweile für Arzneimittel eine Beobachtungsliste eingeführt. Weil sie erst später entscheiden will, ob diese Mittel gefährlich für die Gewässer und bei Aufnahme über das Trinkwasser oder die Nahrung für die menschliche Gesundheit sind.

Der anzustrebende, normierte Sollzustand lässt sich auf der Ebene der Gemeinschaft also wie folgt beschreiben: Wir haben ein gestaffeltes und zugleich dynamisches, sich verschärfendes Verbotssystem, und dies wiederum verknüpft mit einem Beobachtungssystem und Berichtswesen der Mitgliedstaaten gegenüber der Kommission, um diese Verschärfungen sukzessive vornehmen zu können. Es basiert auf der Vorgabe des Gemeinschaftsrechts, einen guten chemischen Gewässerzustand zu erreichen.

Den Sollzustand eines in Deutschland angestrebten guten Zustands unserer Gewässer hieraus abzuleiten, ist, weil dieser dynamisch ist, folglich gar nicht so leicht.

Dementsprechend führt die Untersuchung der LAWA hierzu aus: Für einen Teil der Industrie- und Haushaltschemikalien gibt es auf europäischer Ebene Umweltqualitätsnormen, deren Überschreitung nachgewiesen bzw. zu erwarten ist. Für die übrigen in den Gewässern gefundenen Chemikalien sind noch keine Werte geregelt, allerdings werden hier auch keine nachteiligen Auswirkungen auf aquatische Organismen erwartet. Untersuchungen für das Grundwasser gibt es kaum.

Nur für wenige Arzneimittel, die in den Gewässern gefunden werden, liegen bislang Bewertungsmaßstäbe vor. Bekannt ist aber, dass die gefundenen Stoffe nur schwer in der Trinkwasseraufbereitung zu entfernen sind und bis in das Trinkwasser gelangen können. Ein erhöhtes Eintragsrisiko besteht dort, wo Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung verwendet wird.

In einem besonderen Bericht zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln führt die LAWA schließlich aus, dass anders als in den vergangenen Jahren, wo ein Rückgang zu verzeichnen war, die Belastung des Grundwassers durch Pflanzenschutzmittel stagniert und sich außerdem die Absatzmengen in den letzten 10 Jahren deutlich erhöht haben.

Zusammengefasst: Es gibt aufgrund der UQN-Richtlinie einen klar eingegrenzten, aber relativ kleinen Bereich prioritärer und/oder gefährlicher Stoffe, die ab einer bestimmten Konzentration in unseren Gewässern zu einem schlechten chemischen Zustand führen. Der anzustrebende Sollzustand ist hingegen der gute Gewässerzustand, was zur Folge hat, dass der Eintrag dieser gelisteten Stoffe von uns entsprechend zu reduzieren ist.

Und es gibt eine deutlich größere Grauzone von Stoffen, die wir in unseren Gewässern finden, wo wir den Einfluss auf den Sollzustand guter chemischer Zustand aber noch gar nicht definieren können, weil uns das nötige Wissen über die Auswirkungen der Stoffe fehlt. Und es werden täglich neue Stoffe von der Industrie entwickelt, von denen wir dann natürlich auch nicht wissen, wie sie sich auf den Gewässerzustand auswirken.

Drittens: Die Strategie

Gerade dieses Wissen um unser Nichtwissen führt dazu, dass wir hierauf unsere Strategie ausrichten sollten.

Wir sollten also einerseits, genau wie es die LAWA anregt, unser Wissensfundament um die Mikroschadstoffe und deren Wirkungen in Gewässern systematisch erweitern. Und wir sollten uns andererseits, aus einer übergreifenden Sicht, um deren guten chemischen Zustand kümmern. Hierzu sollten wir in Deutschland, veranlasst durch das Gemeinschaftsrecht, ein Maßnahmenpaket entwickeln, welches über die erst vereinzelt Länderstrategien hinausgeht.

Formaler Anknüpfungspunkt für uns ist der Vorsorgegrundsatz. Die Wasserrahmenrichtlinie führt hierzu plakativ aus: „Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss.“

Im Bundesumweltministerium haben wir hierzu vor einigen Tagen ein Projekt initiiert, welches ich Ihnen nachfolgend vorstellen möchte:

Erstes Projektziel: Systematischer Erwerb von Wissen

Um den Prozess der Fortschreibung der UQN-Richtlinie zu unterstützen, aber auch um ihn unsererseits zu beeinflussen, bedarf es zunächst des Erwerbs von mehr Wissen über die Mikroschadstoffe – insbesondere ihres Vorkommens und ihrer Wirkungen in unseren Gewässern. Auf diese Zielrichtung hebt der Beschluss der Umweltministerkonferenz auf Vorschlag der LAWA ab, nämlich auf „die Identifizierung und Priorisierung gewässerrelevanter Mikroschadstoffe“ und „eines koordinierten Vorgehens beim Monitoring und Austausch von Ergebnissen.“ Dabei sollten wir uns auch um solche Stoffe kümmern, die von der UQN-Richtlinie noch nicht erfasst sind, insofern sollten wir also über deren Ansatz hinausgehen.

Die Koordinierung des in Deutschland an verschiedenen Stellen bereits jetzt auffindbaren Wissens können wir ergänzen um einzelne Forschungsprojekte, die wir untereinander abstimmen. Gelingt es uns so, unser Wissensfundament systematisch zu verbreitern, können wir als Deutschland nicht nur den Berichtspflichten, wie sie in der UQN-Richtlinie beschrieben sind, besser als bisher Folge leisten. Sondern wir würden zugleich in die Lage versetzt, mit einer eigenen Priorisierung die Auswahl weiterer prioritärer und/oder gefährlicher Stoffe bei der Fortschreibung der UQN-Richtlinie aktiv zu beeinflussen.

Zweites Projektziel: Maßnahmenmix

Mit einem solchen Priorisierungsvorschlag, wie ihn die UMK und die LAWA anspricht, wäre indes noch nicht geklärt, mit welchen Maßnahmen die Länder in Deutschland den schlechten chemischen Zustand unserer Gewässer wieder in einen

guten Zustand überführen wollen. Zumal sich dieser durch die sukzessive Verschärfung der UQN-Anforderungen zwangsläufig ebenfalls weiter verschlechtern wird.

Nun könnte sich der Bund hier auf die formale Position fehlender Zuständigkeit zurückziehen und sagen: Wir verschärfen im Anschluss an eine Novelle der UQN-Richtlinie jeweils die Oberflächengewässerverordnung, deren Umsetzung obliegt dann aber dem Vollzug in den Ländern. Ob end-of-pipe-Lösung, diese freiwillig und auf der Grundlage von Fördermitteln oder zwingend per landesweiter Regelung, ob zusätzliche Maßnahmen an der Quelle, das überlassen wir allein unseren 16 Ländern. Vollzugsprobleme sind Länderprobleme, drohende Vertragsverletzungsverfahren interessieren uns heute noch nicht, die Länder werden es letztlich richten müssen.

Aber 16 divergierende Teilstrategien, verbunden mit entsprechendem Aufwand, möglicherweise dazu parallele Forschungsvorhaben, sind einfach nur ineffizient. Und ob, wenn sich die Teilstrategien nicht sinnvoll ergänzen, sondern möglicherweise sogar widersprechen, damit am Ende ein guter Zustand unserer Gewässer erreicht wird, erscheint uns zweifelhaft. Eine Gesamtkoordination erscheint uns daher geboten, die gerade auch die Auswirkungen dieser Teilstrategien auf Nord- und Ostsee und damit über die Binnengewässer hinaus in den Blick nimmt. Denn am Ende sind es die Meere, in denen sich die Mikroschadstoffe ganz überwiegend sammeln werden.

Zudem grenzt die UQN-Richtlinie die Fragestellung auf relativ wenige Stoffe ein. Obwohl wir jetzt schon wissen, dass es am Ende um zahlreiche weitere Mikroschadstoffe und Arzneimittel gehen wird, die die Qualität unserer Gewässer gefährden. Vermutlich ist die Konzeption eines Maßnahmenmixes also doch eine gesamtstaatliche Angelegenheit: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.“

Wir meinen daher, dass der Bund, natürlich in Kooperation und Absprache mit den Ländern, vieles bewegen könnte, so etwa Gespräche und Vereinbarungen mit der Wirtschaft zur Reduzierung der Mikroschadstoffe an der Quelle, mit gleicher Zielrichtung natürlich auch mit der Pharma-Industrie oder den Vertretern der Ressorts Landwirtschaft und Gesundheit. Oder etwa die Konzeption einer Informationskampagne für die Öffentlichkeit zum Umgang mit Arzneimitteln. Und natürlich auch die Beauftragung von weiteren ergänzenden Forschungsvorhaben oder Modellvorhaben über das Umwelt-Bundesamt. Und vermutlich verbleibt dem Bund am Ende auch die Aufgabe, die Vollzugsaktivitäten mit Hilfe seiner Zuständigkeit für die Rechtsetzung zu flankieren – freilich nur, sofern eine gemeinsame Strategie von Bund und Ländern in diese Richtung gehen sollte.

Dort, wo die Länder ihre Stärken haben, etwa bei regionalen Kooperationen oder bei der Förderung von einzelnen praktischen Vorhaben, könnten diese aus einer gemeinsamen Strategie abgeleitet und im Bedarfsfall flussgebietsbezogen untereinander

synchronisiert werden. Bereits die gemeinsame Arbeit an der Strategie sollte daher dazu dienen, relevante Informationen unter einem einheitlichen Dach auszutauschen.

Zusammengefasst: Das Ziel des Projektes ist es, den künftigen Prozess zum Umgang mit den Mikroschadstoffen in Gewässern in Deutschland durch systematischen Wissenserwerb und die Entwicklung einer übergreifenden Strategie zu einem sinnvollen Mix an Maßnahmen zu koordinieren. Wo es indes geboten ist, werden wir über eine Koordination der Länderinitiativen hinausgehen und steuern. Und mit zunehmender Entwicklung dieser Strategie und der Rückendeckung der Länder wollen wir auch in Europa den weiteren Prozess zum Umgang mit den Mikroschadstoffen aktiv mitgestalten.

Projektstruktur und –verlauf

Wie wird das Projekt, in dessen Verlauf wir eine Mikroschadstoffstrategie für Deutschland entwickeln wollen, nun im Detail aussehen?

Unser Projekt soll in drei Abschnitten verlaufen:

- Analyse der Ist-Situation bis Ende 2015,
- Erarbeitung einer übergreifenden Strategie bis Mitte 2017 (also vor der nächsten Bundestagswahl) und
- Beginn mit den ersten Umsetzungsschritten gemeinsam mit den Ländern ab 2018.

Um zunächst möglichst viel an Wissen zusammenzuführen und auch die nötige Akzeptanz für einen Maßnahmenmix zu gewährleisten, wird von uns ein moderierter Partizipationsprozess mit allen Verantwortlichen in der Wasserwirtschaft in Deutschland organisiert: Wie wollen wir in Deutschland mit den Mikroschadstoffen umgehen und welchen Mix an Maßnahmen halten wir für sinnvoll, um einen Eintrag in die Gewässer von vornherein durch Maßnahmen an der Quelle zu vermeiden bzw. sie wieder mit end-of-pipe-Lösungen herauszuholen?

Einerseits wird das Gemeinschaftsrecht und die bislang erkennbare EU-Strategie in Form der Wasserrahmenrichtlinie und der UQN-Richtlinie einen Bezugsrahmen bilden – den wir künftig unsererseits aber zugleich mit beeinflussen wollen.

Um das Projekt nicht zu überfrachten, bedarf es andererseits jedoch vermutlich auch einer Fokussierung. Vermutlich können wir die Strategie auf Stoffgruppen aggregieren, um uns nicht ins Klein-Klein der Betrachtung einzelner Stoffe zu begeben. Möglicherweise können wir sogar bestimmte Gruppen an Stoffen ganz ausklammern oder uns darauf beschränken, beispielhaft nur jeweils bestimmte Stoffe aus den verschiedenen Stoffgruppen zu untersuchen.

Dies sind aber schon Detailfragen, die wir mit den für die Wasserwirtschaft Verantwortlichen im Rahmen des moderierten Dialogs ab Anfang 2016 als erstes klären

werden. Die Untersuchungen der LAWA und des Umwelt-Bundesamtes werden uns hier sicherlich gute Hinweise geben. Als nächstes geht es aber jetzt bis Ende 2015 daran, unsere interne Bestandaufnahme abzuschließen und den Kreis der „stakeholder“ festzulegen, mit dem wir diese Fragen dann kooperativ besprechen wollen.

Sehr geehrte Damen und Herren,

der Vorsorgegrundsatz des Wasserrechts verlangt von uns, uns aktiv mit dem Problem der Mikroschadstoffe auseinanderzusetzen. Deshalb haben wir im BMUB ein Projekt gestartet, dessen Inhalt und Verlauf ich Ihnen, sehr geehrte Damen und Herren, gerne skizziert habe.

Wir benötigen dazu die Unterstützung aller wesentlichen in der Wasserwirtschaft tätigen Institutionen, in erster Linie der Länder, aber auch die der befreundeten Bundesressorts und der Verbände. Um in einem Dialog zunächst bis Mitte 2017 einen Mix an Maßnahmen von der Quelle bis zur Mündung zu beschreiben, die in ihrem Zusammenwirken dazu beitragen, den guten chemischen Zustand unserer Gewässer herbeizuführen.

Und um danach auf der Grundlage dieser bundesweit abgestimmten Strategie ab 2018 gemeinsam erste Umsetzungsschritte anzugehen, zwar jeder für sich, aber koordiniert und flankiert durch den Bund in einem gemeinsam zuvor festgelegten Rahmen – damit am Ende das Ganze mehr wird als die Summe seiner Teile.

Natürlich erhoffen wir uns, dass eine solche Vorgehensweise auch in Europa ihre Resonanz finden wird. Wir wollen mit unserem gemeinsamen Projekt die Voraussetzungen schaffen, künftige Entwicklung auf der Ebene der Gemeinschaft mit zu beeinflussen.

Korrespondenz an:

Ministerialdirigent Dr. Jörg Wagner

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Robert-Schuman-Platz 3, 53175 Bonn

Tel.: 0228 99 305 3805 /3806

E-Mail: joerg.wagner@bmub.bund.de

Strategien zur Verminderung anthropogener Spurenstoffe im Wasserkreislauf

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Firk
Vorstand des Wasserverbandes Eifel-Rur

Unter anthropogenen Spurenstoffen werden in der aktuellen wasserwirtschaftlichen Diskussion Mikroverunreinigungen verstanden, die im Konzentrationsbereich von wenigen $\mu\text{g/l}$ oder darunter im Wasserkreislauf beobachtet werden und aus punktförmigen sowie diffusen Quellen stammen (vgl. Abb. 1). Dabei handelt es sich um synthetisch erzeugte und von Menschen in Umlauf gebrachte Substanzen verschiedenster Stoffgruppen. Es sind Haushalts- und Industriechemikalien, Körperpflegemittel, Hormone, Röntgenkontrastmittel, Human- und Veterinärpharmaka sowie Biozide und Pestizide. Eine Quantifizierung bzw. Bilanzierung der verschiedenen Einträge ist wegen der enormen Vielfalt der Spurenstoffe, der aufwändigen Analytik und ihrer verschiedenen Eintragspfade extrem schwierig.

Vor Erarbeitung von Verminderungsstrategien ist die Datenlage zur Bewertung von anthropogenen Spurenstoffen und ihren Abbauprodukten im Wasserkreislauf weiter zu vergrößern. Es ist gesichert zu ermitteln, welche Stoffe bzw. Stoffkonzentrationen die ökologischen Verhältnisse in den Gewässern verschlechtern und welche Stoffe bzw. Stoffkonzentrationen keine oder eine erträgliche Belastung für die aquatische Umwelt darstellen. Dabei ist zu betrachten, wie sich permanente und saisonale Belastungen auf die Gewässersituation auswirken. Zur Feststellung der Bedeutung der verschiedenen Einträge von anthropogenen Spurenstoffen in die Gewässer und vor einer Umsetzung von Maßnahmen sind Eintragsbilanzen, zumindest für die wesentlichen Spurenstoffe, zu erarbeiten.

Bei der Erarbeitung von Verminderungsstrategien sind folgende Maßnahmen zu diskutieren:

1. Quellenorientierte Maßnahmen:
 - Nutzungsverbote, Importverbote, Eintragsverbote
 - Anwendungsbeschränkungen
 - Substitution und Entwicklung harmloserer Ersatzstoffe
 - Umweltgerechtere Entsorgungswege
 - Informelle Maßnahmen für Verbraucher

2. Dezentrale Maßnahmen:
 - Separation der Stoffe und Behandlung an der Quelle
 - Vor- oder Endbehandlung von Abwässern aus Gewerbe, Industrie sowie Gesundheitseinrichtungen
 - Verbessertes Erosionsschutz in der Landwirtschaft
3. „End-of-Pipe“-Maßnahmen:
 - Weitergehende Schmutzwasserbehandlung in kommunalen und industriellen Kläranlagen (vierte Reinigungsstufe)
 - Verbesserte Misch- und Regenwasserbehandlung

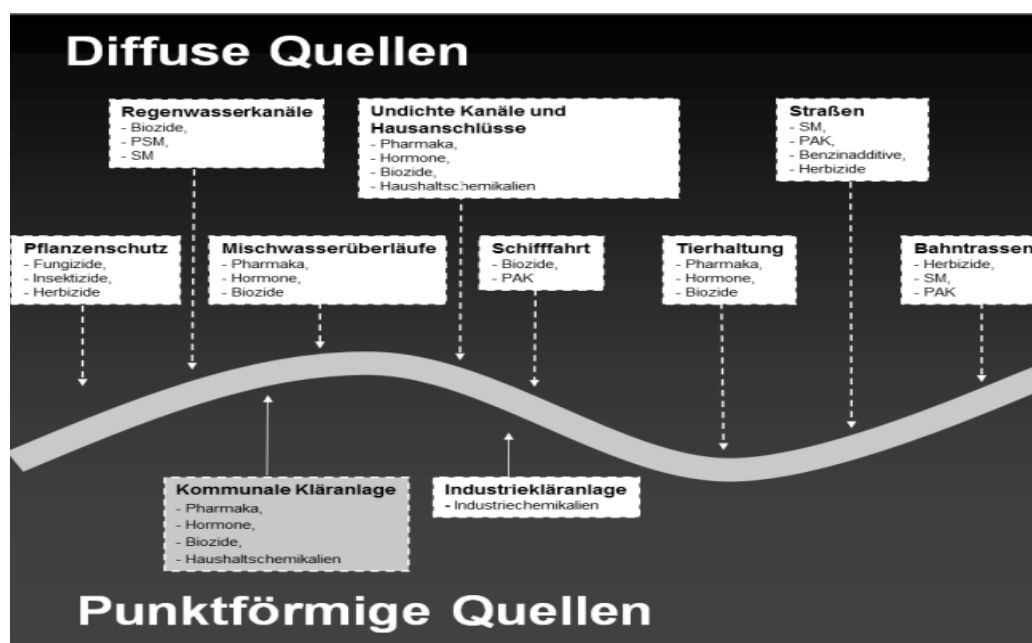


Abbildung 1: Diffuse und punktförmige Quellen der anthropogenen Spurenstoffe im Gewässer

Spurenstoffelimination auf konventionellen Kläranlagen

Vor der Installation einer vierten Reinigungsstufe auf Kläranlagen ist zu bedenken, dass selbst mit den bisher entwickelten weitergehenden Abwasserreinigungstechniken nicht alle Spurenstoffe entfernt werden können und einige Spurenstoffe dagegen schon mit einer konventionellen Abwasserreinigung eliminierbar sind.

Die biologische Abwasserreinigung nach dem heutigen Stand der Technik ist nicht darauf ausgelegt, Spurenstoffe zu eliminieren. Dennoch werden einige Stoffe, u. a. Hormone oder Schmerzmittel wie Ibuprofen, auf konventionellen Kläranlagen in der Regel gut entfernt. Vereinfacht sind folgende Entfernungspfade für diese Stoffe auf Kläranlagen möglich:

- Strippung
- Biologischer Abbau
- Adsorption an die Schlammmatrix

Die Elimination einiger Spurenstoffe in der biologischen Reinigung nach dem Belebungsverfahren hängt vom Schlammalter ab.

Ein Beispiel für die Bedeutung des Schlammalters für die Entfernung von anthropogenen Spurenstoffen in Kläranlagen ist die Anpassung einer Großkläranlage von einer Hochlastanlage ($t_{RS} = 2$ d) an den Stand der Technik (Stickstoffentfernung; $t_{RS} = 17$ d) im Jahr 2005. In Abbildung 2 ist die Entfernung ausgewählter Spurenstoffe auf dieser Kläranlage vor (Stand der Technik vor ca. 25 Jahren) und nach dem Ausbau auf Stickstoffentfernung dargestellt. Die Reihung erfolgte gemäß der Entfernung in der Hochlastanlage vor dem Ausbau. Die Substanzen rechts von Roxithromycin wurden vor dem Ausbau nicht eliminiert.

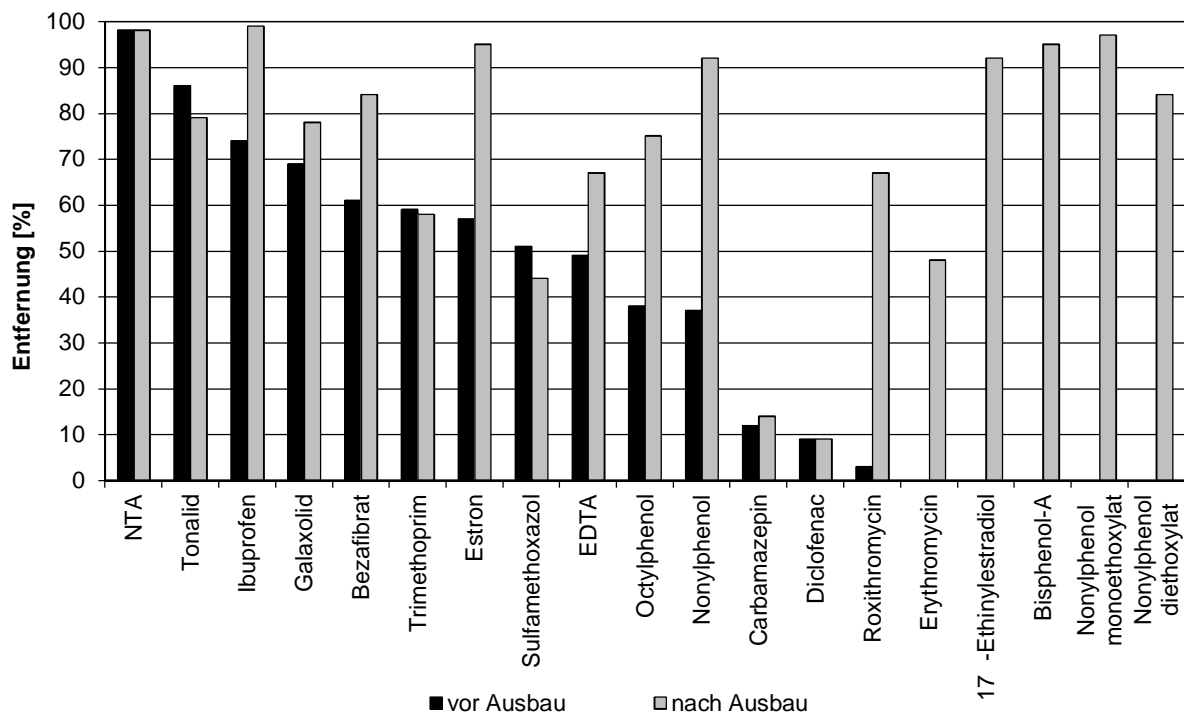


Abbildung 2: Beispiele für die Abhängigkeit der Entfernraten (Zu - Ab) auf derselben Kläranlage in Abhängigkeit vom Schlammalter. „vor Ausbau“: Hochlast Biologie ($t_{RS} = 2$ d); „nach Ausbau“: (Nitrifikation / Denitrifikation) $t_{RS} = 17$ d /Adequad (2007)/

Weitergehende Abwasserreinigungsverfahren zur gezielten Spurenstoffentfernung

Wenn keine Verringerungsmaßnahmen im Einzugsgebiet möglich sind, können für eine gezielte Spurenstoffentfernung die kommunalen Kläranlagen mit weiteren Technologien ergänzt werden. In Betracht kommen bisher vor allem Verfahren, die für andere Anwendungen (z. B. Trinkwasseraufbereitung) schon zum Einsatz kommen und somit Erfahrungen vorliegen. Hierzu zählen:

- Chemische Oxidation/Desinfektion: z. B. Ozonung, AOPs, UV-Bestrahlung bzw. Kombinationen
- Sorption an spezielle Adsorbentien: z. B. granuliert oder pulverförmige Aktivkohle
- Stofftrennung mittels Nanofiltration oder Umkehrosmose

Für die Anwendung dieser Verfahren in der Abwasserreinigung existieren derzeit kein Stand der Technik oder einschlägige Regelwerke (DIN, DWA) für die sichere Auslegung, Bemessung und den Betrieb. Erste Erfahrungen liegen aus Untersuchungen im halb- und großtechnischen Maßstab für die Ozonung und die Aktivkohlebehandlung in Kläranlagen vor.

Ozonung

Das Verfahren der Ozonung wird der biologischen Abwasserreinigung nachgeschaltet (Abb. 3) und besteht aus vier Komponenten:

- Ozonerzeugung
- Eintragsvorrichtung
- Reaktionsraum
- Ozonvernichter, in dem noch verbliebenes, ausgegastes Ozon im Luftraum katalytisch zur Reaktion gebracht wird.

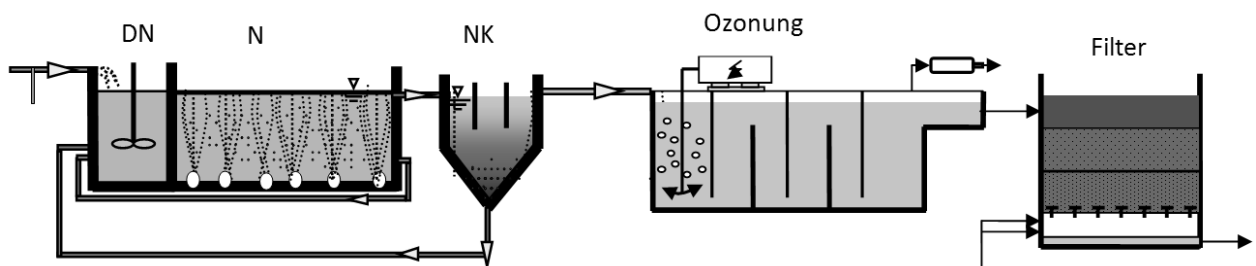


Abbildung 3: Prinzipskizze für das Verfahren der Ozonung

Bei der Ozonung können biologisch abbaubare Produkte entstehen, die den BSB₅ bis auf 150 % /KREUZINGER ET AL. (2010)/ erhöhen. Des Weiteren entstehen Transformationsprodukte, über deren weiteres Verhalten im Wasserkreislauf und vor allem bezüglich deren Toxizität bisher sehr wenig bekannt ist. Daher ist es sinnvoll, eine nachgeschaltete biologische Stufe (z. B. Biofilter) vorzusehen.

Advanced Oxidation Processes (AOP)

Um einen besseren oxidativen Abbau von persistenten Wasserinhaltsstoffen zu erreichen, können weitergehende Oxidationsverfahren (Advanced Oxidation Processes, (AOPs)) eingesetzt werden, die sich durch eine verstärkte Bildung von Hydroxylradikalen auszeichnen. Zu den AOP-Verfahren zählen z. B. die Verfahrenskombinationen:

- Ozonung + UV-Bestrahlung
- Zugabe von Wasserstoffperoxid + UV-Bestrahlung
- Ozonung + Zugabe von Wasserstoffperoxid
- Zugabe von Titandioxid + UV-Bestrahlung

Pulveraktivkohledosierung

Ein erfolgreicher Einsatz der Pulveraktivkohle (PAK) wird durch eine nachgeschaltete Dosierung in einen Kontaktreaktor mit anschließender Abtrennung der Aktivkohle in einer Sedimentationsstufe oder technischen Abscheideeinheit und Rückführung in den Kontaktreaktor, sowie einer anschließenden Filtration erreicht /METZGER (2010)/.

Zur Flockenbildung und damit besseren Abscheidung der Pulveraktivkohle wird Fällmittel (FM) in den Kontaktreaktor hinzugegeben. Zusätzlich wird zum besseren Abtrennen des Kohleschlammes im anschließenden Sedimentationsbecken am Ende des Kontaktreaktors Flockungshilfsmittel (FHM) zudosiert. Die Abscheidung der PAK erfolgt über ein ausreichend großes Sedimentationsbecken. Die abgesetzte Kohle wird als "Rücklaufkohle" in das Reaktionsbecken zurückgeführt, um die Verweilzeit zu erhöhen und eine zusätzliche Beladung zu erreichen (vgl. Abb. 4), damit werden TS-Gehalte von ca. 4 g/l im Kontaktreaktor erzielt. Da die Aktivkohle im Sedimentationsbecken nicht dauerhaft und betrieblich sicher weitestgehend abgetrennt werden kann, sollte eine Filtrationsstufe nachgeschaltet werden, in der zum einen die Kohlepartikel hinreichend zurückgehalten werden und zum anderen auch eine weitere Beladung erfolgen kann /METZGER UND KAPP (2012)/. Die „Überschusskohle“ wird in das Belebungsbecken geführt, um dort bei höheren Konzentrationen weiter beladen zu werden. Die Entfernung der beladenen Aktivkohle aus dem System erfolgt über den Überschussschlammabzug.

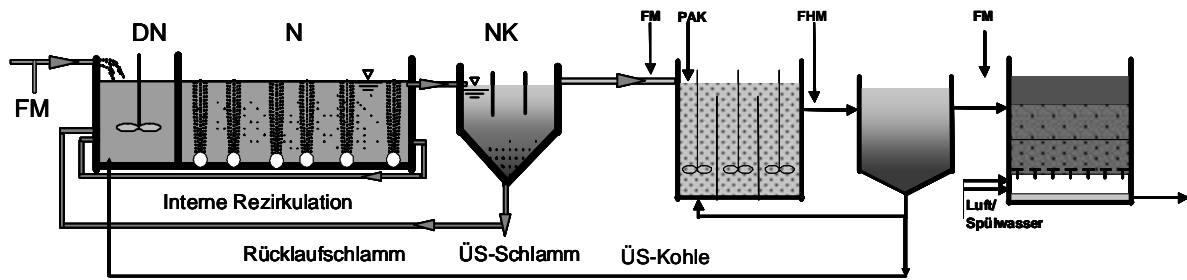


Abbildung 4: Verfahrensschema der Aktivkohlebehandlung mittels nachgeschalteter PAK-Dosierung, Sedimentation und Filtration

Granulierte Aktivkohle (GAK)

Es gibt zwei mögliche Varianten der GAK-Adsorption. Einerseits kann die GAK als Adsorptionsmaterial in Druckkesseln verwendet werden, andererseits besteht die Möglichkeit, bereits vorhandene Flockungsfiler auf GAK-Adsorption umzurüsten (Abb. 5).

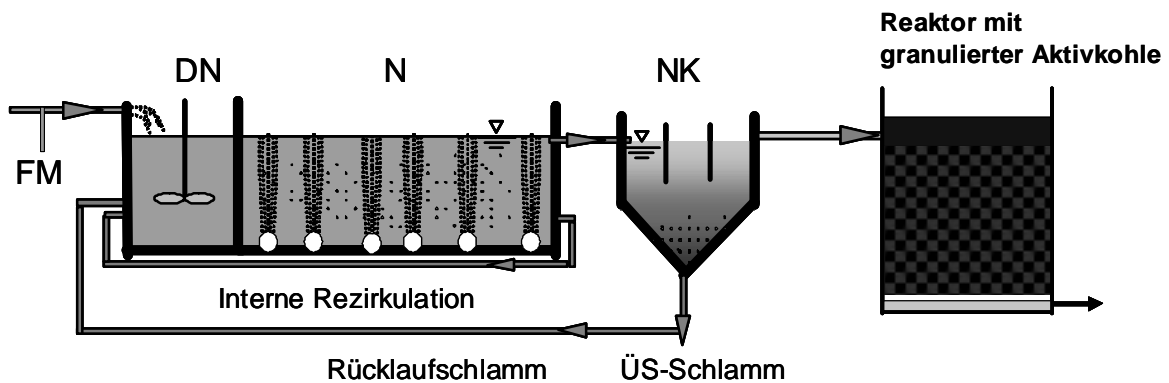


Abbildung 5: Verfahrensschema eines nachgeschalteten Reaktors mit granulierter Aktivkohle

Beim Einsatz von granulierter Aktivkohle als Filtermaterial sind nach den bisherigen Erfahrungen die notwendigen Regenerierungen der granulierten Aktivkohle aufwändig. Praktikabel erscheint das Verfahren bei geringen Feststoffgehalten im Ablauf der Nachklärung und großem Filterbettvolumen.

Kombinierte Verfahren

Um ein möglichst breites Spektrum an Spurenstoffen zu eliminieren, bieten sich Kombinationen der beschriebenen Verfahren an. Einige davon werden gegenwärtig untersucht, z. B. die Kombination von Ozonung und Pulveraktivkohleadsorption /nach GRÜNEBAUM (2011)/.

Kosten und Wirtschaftlichkeit der gezielten Spurenstoffentfernung

Die in Abbildung 6 dargestellten Kosten entstammen Literaturlauswertungen, die auf Basis bereits erstellter und abgerechneter Anlagen, aus Planungsdaten und Vergleichsstudien sowie aus spezifischen Projektstudien entnommen wurden. Sie stellen eine breite Basis dar, die allerdings aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen und Annahmen nur begrenzt vergleichbar sind.

Die Auswertung der Jahreskosten zu den Verfahren GAK sowie PAK und Ozon, je mit und ohne Sandfilter, gibt je nach Ausbaugröße der Kläranlage Orientierungswerte wieder. Diese streuen für sehr kleine Anlagen < 10.000 E sehr stark und können hierfür mit bis zu 75 Eurocent/m³ behandeltem Abwasser angegeben werden. Für Anlagen bis 50.000 E verdichten sich die Jahreskosten etwas und kommen noch auf Höchstwerte von bis zu 40 Eurocent /m³. Anlagen mit einer Ausbaugröße von über 50.000 E haben mit Jahreskosten von unter 10 Eurocent bis zu 25 Eurocent/m³ für die gezielten Verfahren zu rechnen.

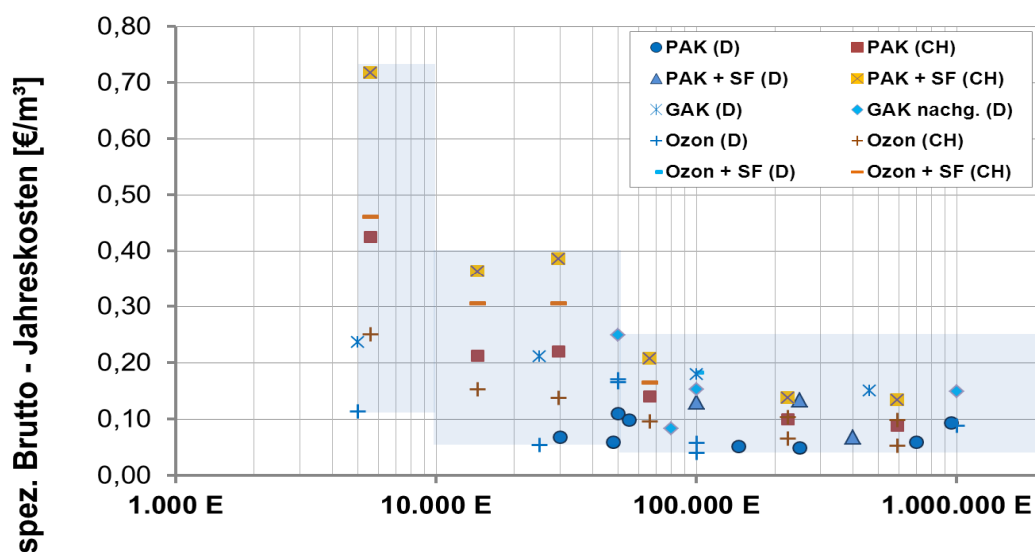


Abbildung 6: Jahreskosten für die Ozonung und die Aktivkohleadsorption mit und ohne Neubau Sandfilter (SF) /DWA (2015)/.

Kritische Betrachtungen zu den Oxidations- und Adsorptionsverfahren

Die bisherigen Erkenntnisse zu den Oxidations- und Adsorptionsverfahren zeigen, dass mit beiden Verfahren eine unselektive Elimination von Spurenstoffen erreicht wird.

Bei den Oxidationsverfahren ist die Bildung von Transformationsprodukten zu bewerten und nach den bisherigen Erkenntnissen ist eine biologische Nachreinigung, zum Beispiel durch eine (biologisch aktivierte) Raumfiltration des behandelten Abwassers vorzunehmen.

Belastungsschwankungen (Tag/Nacht, Wochenende, saisonal) lassen sich bei der Ozonung und bei der Pulveraktivkohlebehandlung mit einer jeweiligen Dosieranpassung begegnen.

Die Verfahren zur Spurenstoffelimination sind mit zusätzlichen Kosten für die Abwasserreinigung verbunden, wobei die Pulveraktivkohlebehandlung tendenziell höhere Kosten erwarten lässt, was sich vor allem durch die zusätzliche Dosierung von Fäll- und Flockungsmitteln zur gesicherten Abtrennung der Pulveraktivkohle und die notwendige Behandlung und Entsorgung der höheren Klärschlammengen erklären lässt.

Die Eliminationswirkung der Adsorptions- und Oxidationsverfahren ist bezüglich bestimmter Spurenstoffe effektiv, das heißt, es können Eliminationen von teilweise über 90 % erreicht werden. Einige Spurenstoffe können aber selbst mit diesen Verfahren nicht wesentlich eliminiert werden. Daher sind weitere Untersuchungen mit Kombinationen der Verfahren hilfreich. Auch über die Prozessstabilität sind bisher wenig Aussagen getroffen worden.

Ob die zusätzlichen Kosten, der Energiebedarf und die CO₂-Emissionen in einem zweckmäßigen Kosten/Nutzen-Verhältnis zur Elimination von Spurenstoffen stehen, ist noch unklar, da bisher noch nicht nachgewiesen ist, dass eine Eliminierung von Spurenstoffen im Ablauf von kommunalen Kläranlagen tatsächlich die ökologischen Parameter im Gewässer verbessert. Die anthropogenen Spurenstoffe in einem Gewässer werden je nach Stoff auch im hohen Maße diffus und oft mit saisonalen Spitzen eingetragen.

Bei einer vierten Reinigungsstufe ist der Nutzen gegenüber dem erweiterten Kosten- und Ressourcenverbrauch zu bewerten. Es sollten daher großtechnische Demonstrationsanlagen vorerst an Vorflutern errichtet werden, die in der Wasserführung einen hohen Abwasseranteil besitzen. Mit begleitenden Gewässeruntersuchungen könnte der bisher noch nicht geführte Beweis erbracht werden, dass eine vierte Reinigungsstufe die ökologischen Parameter im Gewässer überhaupt verbessert oder ob nicht diffuse Einleitungen oder andere Defizite maßgeblich bleiben.

Ausblick

Risikobetrachtungen zu den anthropogenen Spurenstoffen sind für den Menschen und die aquatischen Ökosysteme sowie die Biodiversität weiter zu untersuchen.

Vor bzw. zur Umsetzung sinnvoller Strategien zur Minderung anthropogener Spurenstoffe im Wasserkreislauf ist die Datenlage zur Bewertung von anthropogenen Spurenstoffen und ihren Abbauprodukten zu vervollständigen und eine Bilanzierung der vielfältigen Einträge vorzunehmen.

Für den zu betrachtenden Wasserkörper ist der Kausalzusammenhang zwischen Gewässerdefizit und anthropogenen Spurenstoffen herzustellen und sinnfällige Maßnahmen zur Minderung der Belastung beim Produzenten und Anwender der Produkte als auch gegebenenfalls bei der Abwasserreinigung zu ergreifen. Eine gesellschaftliche Akzeptanz für Nutzungsverzicht aber auch für zusätzliche Kosten, Energiebedarf und Ressourcenverbrauch ist herzustellen.

Im Sinne der europäischen Wasserrahmenrichtlinie sollten unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Kriterien nur die effizientesten Kombinationen von quellenorientierten, dezentralen und „End of Pipe“-Maßnahmen angewendet werden.

Hinweis auf DWA-Themenband „Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen“

Der vorliegende Text enthält Auszüge aus dem umfangreichen DWA-Themenband mit dem Titel „Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen“, der im April 2015 veröffentlicht wurde (DWA-Themen T3/2015).

Dieser Themenband ist von den Mitgliedern des DWA-Fachausschusses KA-8 „Weitergehende Abwasserreinigung“ verfasst. Der Vortragende ist Obmann des Fachausschusses. Der Themenband enthält detaillierte Darlegungen zu:

- der Problematik der anthropogenen Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt
- der derzeitigen rechtlichen Situation in Deutschland, der europäischen Union und der Schweiz
- einer sinnvollen Probenahme und Analytik
- den Abwasserreinigungsverfahren zur gezielten Spurenstoffentfernung
- einer Bewertung der Eliminationsrate der Spurenstoffe auf Kläranlagen mit den verschiedenen biologischen Tests im gereinigten Abwasser
- den Kosten und der Wirtschaftlichkeit der gezielten Spurenstoffentfernung.

Der Themenband beinhaltet darüber hinaus einen umfangreichen Leistungsvergleich der bisher untersuchten verschiedenen Verfahren zur Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf Kläranlagen.

Literatur

- ADEQUAD (2007). Auswirkungen der Erweiterung der HKA und des Kanalnetzes von Wien auf die betroffenen Gewässer Donau, Donaukanal und Liesing. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien. EU INTERREG III-A Projekt Nr.866/2005.
- DWA (2005): DWA-Fachausschuss KA-7 Membranbelebungsverfahren 2. Arbeitsbericht, Hennef.
- DWA (2015): Themenband T3/2015 „Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen“, Hennef
- Grünebaum, T. (2011): Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Abwasser des MKULNV NRW zum Themenschwerpunkt Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren, Vergabenummer 08-058/1, Schlussbericht Phase 1 „Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen“
<http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/abwasser.htm>.
- Kreuzinger, N.; Schaar, H., Kroiss, H., Elimination von Mikroschadstoffen aus dem Ablauf kommunaler Anlagen durch nachgeschaltete Ozonung; Ergebnisse eines Forschungsprojektes in Österreich, 2010
- Metzger, S. (2010): Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Oldenburg Industrieverlag.

Korrespondenz an:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Firk
Vorstand des Wasserverbandes Eifel-Rur
Eisenbahnstraße 5
52353 Düren
Tel.: 02421 494-1000
Fax: 02421 494-1009
E-Mail: firk@wver.de

Das Projekt Mikro_N – Motivation und Vorgehensweise

H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel

tectraa - Zentrum für innovative AbWassertechnologien an der TU Kaiserslautern

G. Kolisch, Y. Taudien

Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft (WiW)

Kurzfassung: Mikroschadstoffe werden in vielen Fließgewässern nachgewiesen. Die Angaben über Vorkommen und Verbleib der Stoffe aus Monitoringprogrammen sind jedoch zeitlich und räumlich limitiert. Für das Einzugsgebiet der Nahe (Nebenfluss des Rheins) wurde daher ein georeferenziertes Stoffflussmodell angewendet, welches eine Vorhersage der Gewässerbelastung aus Anlagen der Siedlungsentwässerung und von landwirtschaftlich genutzten Flächen ermöglicht.

Der vorliegende Artikel beschreibt das Vorgehen bei der Projektbearbeitung „Relevanz, Möglichkeiten und Kosten einer Elimination von Mikroschadstoffen auf kommunalen Kläranlagen in Rheinland-Pfalz, aufgezeigt am Beispiel der Nahe“, kurz Mikro_N. Das Projekt wurde vom Zentrum für innovative AbWassertechnologien an der Technischen Universität Kaiserslautern (tectraa) in Zusammenarbeit mit der Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft (WiW) im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MULEWF) des Landes Rheinland-Pfalz bearbeitet.

Key-Words: Mikroschadstoffe, Stoffflussmodellierung, Projekt Mikro_N

1 Ausgangssituation

Als Mikroschadstoffe werden organische Substanzen bezeichnet, die in den Gewässern im Konzentrationsbereich von wenigen Nanogramm bis Mikrogramm pro Liter anzutreffen sind. Darunter fallen synthetische Substanzen, wie z. B. Arzneimittelwirkstoffe, Lebensmittelzusatzstoffe, Inhaltsstoffe von Kosmetika und Körperpflegemittel, aber auch Stoffe natürlichen Ursprungs, wie z. B. Hormone. Diese Stoffe gelangen punktuell über Anlagen der Siedlungsentwässerung und über diffuse Einträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer (Abeggen und

Siegrist, 2012). Metzger et al. (2003) weisen Kläranlagenabläufe als Haupteintragspfad von Arzneimittelrückständen in die Oberflächengewässer aus.

In den bestehenden Reinigungsstufen konventioneller Kläranlagen kommt es zu einer teilweisen Elimination von Mikroschadstoffen durch Verflüchtigung, biochemischen Abbau und Sorption. Ein hohes Schlammalter in der biologischen Stufe, ein hoher Konzentrationsgradient sowie eine möglichst weitgehende Suspensaentnahme wirken sich positiv auf eine Mikroschadstoffelimination aus (Bode et al., 2010, Ivashechkin, 2006; Siegrist et al., 2003; Ternes et al., 2004 etc.). Die Entnahmeleistung der auf die Elimination von Feststoffen, sauerstoffzehrenden Stoffen und die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor ausgelegten kommunalen Kläranlagen reicht jedoch nicht für eine weitergehende, vor allem aber nicht für eine zielgerichtete Elimination von Mikroschadstoffen aus. Insbesondere persistente Substanzen – hierzu zählen eine Vielzahl von Humanarzneimitteln und Diagnostika – gelangen so in die als Vorfluter genutzten Oberflächengewässer. Einige Stoffe liegen dabei bereits in Konzentrationen deutlich über den ökotoxikologisch abgeleiteten, substanzspezifischen Null-Effekt-Konzentrationen (PNEC = predicted no effect concentration) vor. Negative Auswirkungen auf die aquatische Umwelt können damit nicht ausgeschlossen werden.

Rechtliche Vorgaben für eine Nachrüstung der kommunalen Kläranlagen mit weitergehenden Reinigungsverfahren auf Basis stoff- oder stoffgruppenspezifischer Anforderungswerte bestehen bisher nicht. Allerdings sind in der EU-Richtlinie 2008/105/EG Umweltqualitätsnormen (UQN) genannt, die als Maßstab für den bis zum Jahr 2015 geforderten guten chemischen Zustand der Gewässer dienen sollen. Mit der Richtlinie 2013/39/EU wurden 12 neue Stoffe in die Liste der prioritären Stoffe aufgenommen und die bisherigen UQN teilweise angepasst. Die UQN für diese Substanzen treten ab dem Jahr 2018 in Kraft. Für Arzneimittel gibt es allerdings nach wie vor keine UQN. Lediglich die Östrogene 17α -Ethinylestradiol und 17β -Estradiol sowie das Schmerzmittel Diclofenac wurden in die sogenannte Beobachtungsliste aufgenommen und sollen in den nächsten Jahren regelmäßig in Oberflächengewässern überwacht werden. Mit dem Durchführungsbeschluss 2015/495/EU wurden zudem die Makrolid-Antibiotika Erythromycin, Clarithromycin und Azithromycin in die Beobachtungsliste aufgenommen.

Um den Zustand der Gewässer in Rheinland-Pfalz hinsichtlich der Mikroschadstoffe ermitteln und bewerten zu können, werden die rheinland-pfälzischen Gewässer im Rahmen der operativen Fließgewässerüberwachung seit 2010 auch auf Arzneimittelrückstände untersucht. Insbesondere an Gewässermessstellen in dicht besiedelten Einzugsgebieten wurde dabei eine Überschreitung des Jahresmittelwertes der als UQN für das Analgetikum Diclofenac diskutierten Konzentration von $0,1 \mu\text{g/L}$ festgestellt (LUWG 2012). Um einen Überblick über die Belastungsschwerpunkte hinsichtlich der Mikroschadstoffe für das Land Rheinland-Pfalz zu bekommen, wurde auf Grundlage von Modellrechnungen eine Abwasserlastkarte für die rheinland-

pfälzischen Gewässer entwickelt. Für eine fundierte fachliche Beurteilung der Gesamtbelastungssituation und der Notwendigkeit für eine Einführung von weitergehenden Reinigungsstufen zur Elimination von Mikroschadstoffen und der damit letztlich erreichbaren Reduzierung der Belastungen fehlt jedoch eine bilanzielle Gesamtbetrachtung.

Aufgrund der Stoffvielfalt und der unterschiedlichen Eintragspfade ist die Abschätzung der Gesamtemissionen an Mikroschadstoffen und eine flächendeckende Bewertung der Gewässerbelastung bzw. der gewässerbezogenen Erfordernis der Einführung von weitergehenden Reinigungsstufen für größere Gewässersysteme allein durch Monitoringprogramme nicht praktikabel. Vor diesem Hintergrund ist das übergreifende Ziel des Projektes „Mikro_N“ die Erarbeitung einer fundierten Diskussions- und Bewertungsgrundlage zur Beurteilung der Belastungssituation rheinland-pfälzischer Gewässer durch Anwendung eines Stoffflussmodells. Ausgehend vom Status quo soll für ausgewählte Mikroschadstoffe die Wirksamkeit von verschiedenen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Reduzierung der Einträge von Mikroschadstoffen über die verschiedenen Pfade mit Blick auf die resultierenden Gewässerkonzentrationen für ein Referenzgewässer analysiert und in Verbindung mit Kostenschätzungen bewertet werden. Neben der bilanziellen Gesamtbetrachtung von Stoffeinträgen sollen die verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von Mikroschadstoffen aufgezeigt und Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Mikroschadstoffen in Rheinland-Pfalz abgeleitet werden.

2 Referenzgewässer Nahe

Als Referenzgewässer wurde die Nahe ausgewählt. Die Nahe ist ein 125 km langer linker Nebenfluss des Rheins. Sie entspringt im Saarland in den südlichen Ausläufern des Hunsrücks und durchfließt nacheinander den saarländischen Landkreis St. Wendel sowie die rheinland-pfälzischen Kreise Birkenfeld, Bad Kreuznach sowie Mainz-Bingen und mündet bei Bingen in den Rhein.

Das Einzugsgebiet der Nahe hat eine Gesamtfläche von 4.062 km². Davon liegen 3.950 km², also 97 %, auf rheinland-pfälzischem Gebiet. Die räumliche Lage des Nahe-Einzugsgebietes ist in Abbildung 1 dargestellt.

Mit etwa 50 % landwirtschaftlicher Nutzfläche ist das Naheinzugsgebiet überwiegend ländlich geprägt. Hiervon entfallen rd. 26 % auf Ackerbaukulturen, rd. 18 % auf Grünland und rd. 3,5 % auf Sonderbaukulturen (Weinbau). Das Einzugsgebiet weist einen hohen Waldanteil auf, der etwa ein Drittel der Bodenfläche einnimmt. Siedlungsflächen haben einen Anteil von rd. 9 %, Verkehrsflächen von rd. 2 % an der Gesamteinzugsgebietsfläche.



Abbildung 1: Räumliche Lage des Nahe-Einzugsgebietes

Der Verlauf der Nahe, deren wesentliche Nebengewässer, die Einzugsgebietsfläche, die im Einzugsgebiet gelegenen Kläranlagen und die WRRL-Wasserkörper sind kartografisch in Abbildung 2 dargestellt.

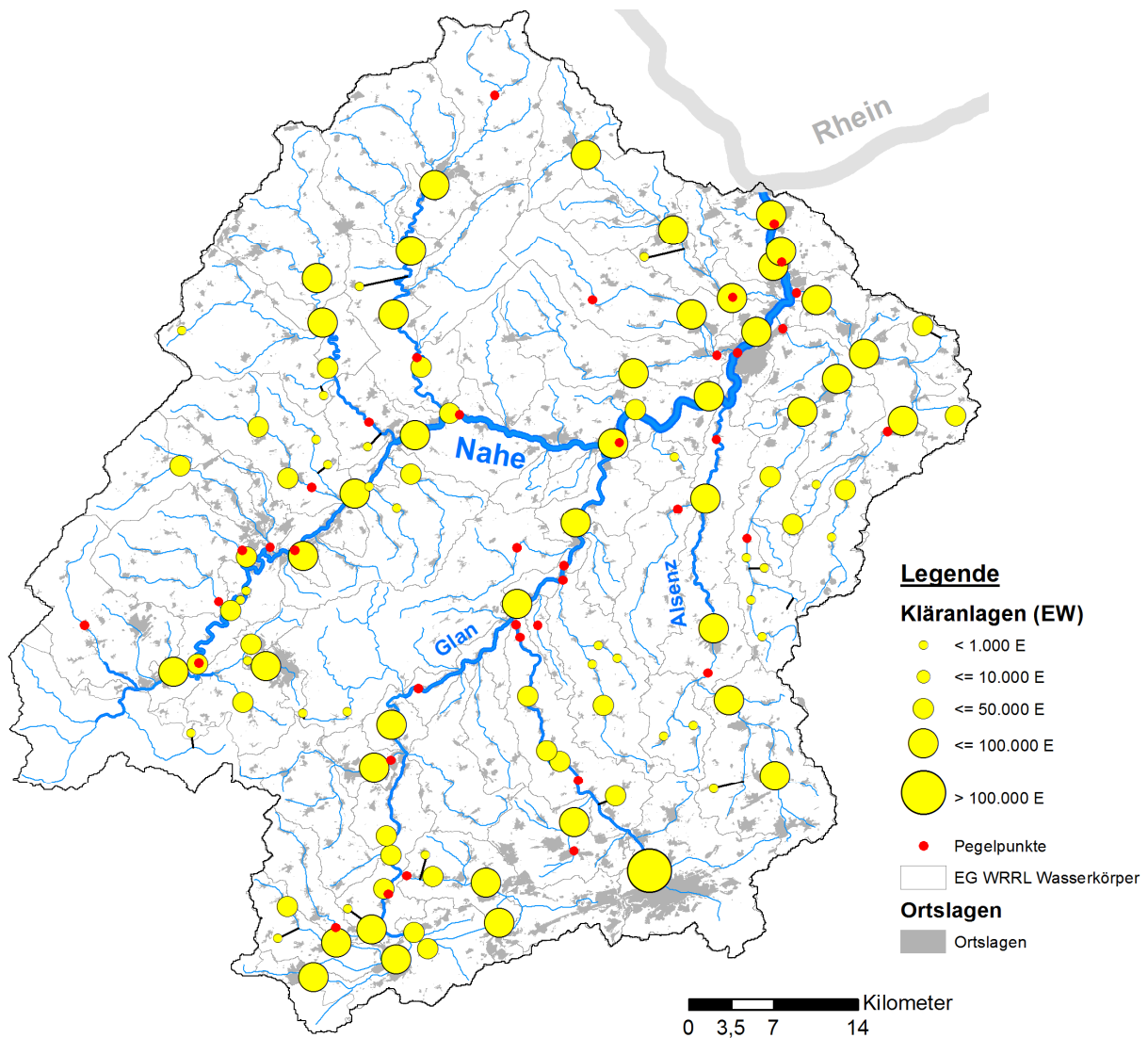


Abbildung 2: Einzugsgebiet der Nahe mit Kläranlagen und Wasserkörpern

Zurzeit wird das Abwasser von etwa 660.000 Einwohnern (E) und etwa 272.000 Einwohnergleichwerten (EGW) in 104 kommunalen Kläranlagen behandelt. Die Ausbaugröße der kommunalen Kläranlagen beträgt rd. 1,26 Mio. Einwohnerwerte (EW). Bei rd. 88 % der Ausbaupkapazität ist eine gezielte Stickstoff- und Phosphorelimination vorhanden. Die Entwässerung der Siedlungsgebiete erfolgt überwiegend im Mischsystem.

3 Auswahl gebietsspezifischer Referenzsubstanzen

Grundlage für die Bilanzierung stellen Messdaten aus Messkampagnen zu einzelnen Stoffen im Ablauf von fünf ausgewählten Kläranlagen sowie an Gewässerpunkten im Bilanzraum dar. Hierzu wurden über einen Zeitraum von 12 Monaten 14 d-Mischproben entnommen und auf insgesamt 78 Einzelsubstanzen analysiert. Die 14 d-Mischproben wurden täglich aus 24 h-Mischproben gewonnen und, bis zur Analyse durch die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer, tiefgekühlt in einer Glasflasche gelagert. Die Analyse umfasste sieben Arzneimittelwirkstoffe, ein Röntgenkontrastmittel, 69 Pestizide und die Industriechemikalie Perfluor-octansulfonat. Unter den Pestiziden finden sich auch Substanzen, die als bauchemische Zusatzstoffe in Fassadenanstrichen und -putzen zum Einsatz kommen.

Ergänzend wurden Daten aus Mess- bzw. Monitoringprogrammen des Landes Rheinland-Pfalz verwendet, um die Datengrundlage für maßgebende punktuelle Einleiter sowie bzgl. der Gewässerbelastung zu vergrößern und die Abschätzung der Einträge innerhalb des Bilanzraumes in ihrer Genauigkeit zu verbessern.

Bei den Analysen war eine Vielzahl der untersuchten Stoffe in den Proben nicht nachweisbar ($< NG$) oder die Messergebnisse lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze ($< BG$). Zur Berücksichtigung dieser Sachverhalte wurden die Messwerte nach folgenden Kriterien ausgewertet:

- Für Parameter, für die mehr als 50 % der Messwerte unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NG) lagen, wurde keine statistische Auswertung durchgeführt.
- Für Parameter, für die weniger als 50 % der Messwerte unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG) bzw. Nachweisgrenze (NG) lagen, wurde eine statistische Auswertung durchgeführt. Dabei wurden die Messwerte mit Konzentrationen $< BG$ bzw. $< NG$ mit 50 % BG bzw. 50 % NG in die Berechnung der statistischen Kenngrößen miteinbezogen.

Basierend auf den Ergebnissen der Messdatenauswertung (entspricht Präsenz im aquatischen Milieu) und weiterer Auswahlkriterien (Datenverfügbarkeit bzgl. Verbrauch, Gewässerbewertung, Elimination und Abbau, Relevanz für den Eintrag über die verschiedenen Pfade etc.), die zum Teil auf bereits in der Literatur angewendete Kriterien zurückgehen (u. a. Götz et al., 2010; Götz et al., 2011; Welker, 2015; Welker, 2013), wurden für bestimmte Stoffgruppen (Arzneimittelwirkstoffe, Herbizide, Fungizide, Insektizide etc.) 14 repräsentative Einzelsubstanzen, sogenannte Referenzparameter für den Bilanzraum identifiziert (Tabelle 1). Enthalten sind neben sechs pharmazeutischen Wirkstoffen und Diagnostika der Humanmedizin die Stoffe Car-bendazim, Diuron, Isoproturon und Mecoprop, die im urbanen Bereich sowohl als Biozide als auch als Schutzmittel in verschiedenen Baumaterialien (Fassadenfarben, Dachmaterialien etc.) und im Sanitärbereich (Anti-Schimmelmittel) Anwendung fin-

den, aber auch über landwirtschaftlich genutzte Flächen in die Gewässer eingetragen werden. Ebenso enthalten ist das im privaten und öffentlichen Bereich (Gehwege, Plätze etc.) sowie in der Landwirtschaft eingesetzte Herbizid Glyphosat.

Tabelle 1: Referenzsubstanzen für das Einzugsgebiet der Nahe (kursiv: Referenzsubstanzen anderer Projekte bzw. Bundesländer, Auswahl)

Arzneimittel/ Diagnostika	Pestizide/ Biozide	Bau-Chemikalien	Sonstige
<i>Amidotrizoesäure</i> ^{1), 3)} (Röntgenkontrastmittel)	Carbendazim (Fungizid)	Carbendazim ⁴⁾ (Bad, Fassaden)	<i>Perfluorooctan- sulfonat</i> ¹⁾ (Tensid)
<i>Bezafibrat</i> ²⁾ (Lipidsenker)	Diuron (Herbizid)	Diuron (Fassaden)	
<i>Carbamazepin</i> ^{1), 2), 3), 4)} (Antiepileptikum)	Glyphosat (Herbizid)	Glyphosat (Schienen, Geh- wege)	
<i>Diclofenac</i> ^{1), 2), 3), 4)} (Analgetikum)	Isoproturon (Herbizid)	Isoproturon (Fassaden)	
<i>Metoprolol</i> ^{1), 3)} (Betablocker)	<i>Mecoprop</i> ²⁾ (Herbizid)	<i>Mecoprop</i> ²⁾ (Flachdächer, Fundament)	
<i>Sulfamethoxazol</i> ^{1), 2), 3)} (Antibiotikum)	Diethyltoluamid ⁴⁾ (Insektizid)	Terbutryn ⁴⁾ (Bad, Fassaden)	

¹⁾ Referenzsubstanzen in Nord-Rhein-Westfalen, in: Metzger et al. (2012)

²⁾ Referenzsubstanzen in der Schweiz, in: Metzger et al. (2012)

³⁾ Referenzsubstanzen in Baden-Württemberg, in: Metzger (2012)

⁴⁾ Launay et al. (2015)

Der Vergleich der für das Naheinzugsgebiet ausgewählten Referenzsubstanzen mit Referenzsubstanzen anderer Projekte bzw. Bundesländer zeigt, dass der Schwerpunkt bisheriger Untersuchungen auf Belastungen aus Kläranlagenabläufen lag. Die Belastung der Gewässer aus diffusen Quellen spielte hierbei keine bzw. nur eine untergeordnete Rolle.

4 Stoffflussmodell

Die Notwendigkeit bzw. die Begründbarkeit der Einführung einer weitergehenden Reinigungsstufe hängt maßgeblich von der Relevanz der Stoffeinträge, die über den Eintragspfad Kläranlagenabläufe in die Oberflächengewässer gelangen, und der zu erwartenden Reinigungsleistung der verfahrenstechnischen Erweiterung ab. Hierzu wurde im Rahmen des Projektes die Emissionen ausgewählter Mikroschadstoffe für

das Referenzgewässer Nahe anhand einer Szenarienbetrachtung über Stoffflusssimulationen bilanziert.

4.1 Modellbeschreibung

Die Stoffflussmodellierung erfolgte mit dem Modellsystem GREAT-ER, welches an der Universität Osnabrück zur Abschätzung und Risikobewertung von Umweltkonzentrationen chemischer Stoffe in Oberflächengewässern entwickelt wurde und für die Verwendung im Projekt adaptiert wurde. Den Kern des Systems bildet ein Emissions- und Gewässermodell, welches die Eintragspfade und den Verbleib von Chemikalien in Oberflächengewässern georeferenziert mit einer räumlichen Auflösung von maximal zwei Kilometern Flusslänge abbildet. Die Modellgleichungen verfolgen dabei die Chemikalien von den Emissionsquellen über die Verbreitungspfade in die Fließgewässer. Neben Verlust- und Abbauprozessen in den Gewässern wird im Modell die Elimination der Substanzmenge während der Abwasserbehandlung berücksichtigt und der Anteil einer Substanz, der nach Anwendung tatsächlich ins Abwasser gelangt (Klasmeier et al., 2011; Kehrein et al., 2014; Knerr, 2015b).

Als Emissionsquellen können neben punktuellen Einträgen, z. B. Kläranlagenabläufe und Mischwasserüberläufe, auch diffuse Einträge, z. B. Abschwemmungen von landwirtschaftlich genutzten Flächen berücksichtigt werden. Auch Krankenhäuser und Industriebetriebe, die ihre Abwässer über die Kanalisation an Kläranlagen weiterleiten, sind im Modell integriert (Klasmeier et al., 2011; Kehrein et al., 2014; Knerr 2015b).

Die Stoffeinträge werden im Emissionsmodul als Frachten berechnet und dienen als Grundlage für das Gewässermodell. Die georeferenzierten Gewässerkonzentrationen (PEC = predicted environmental concentration) werden unter Annahme eines Fließgleichgewichts mit Massenerhaltung berechnet. Die Konzentrationen werden jeweils am Ende eines Gewässerabschnitts berechnet aus der Konzentration zu Beginn des Abschnitts zuzüglich der Veränderung (Abbau im Gewässer) während des Aufenthalts.

Die Berechnung der Gewässerbelastung kann für verschiedene Abflusssituationen erfolgen und stellt für den jeweiligen Abfluss eine durchschnittliche Belastung dar (Klasmeier et al., 2011; Kehrein et al., 2014; Knerr 2015b). Eine schematische Darstellung des Modellansatzes von GREAT-ER ist in Abbildung 3 dargestellt.

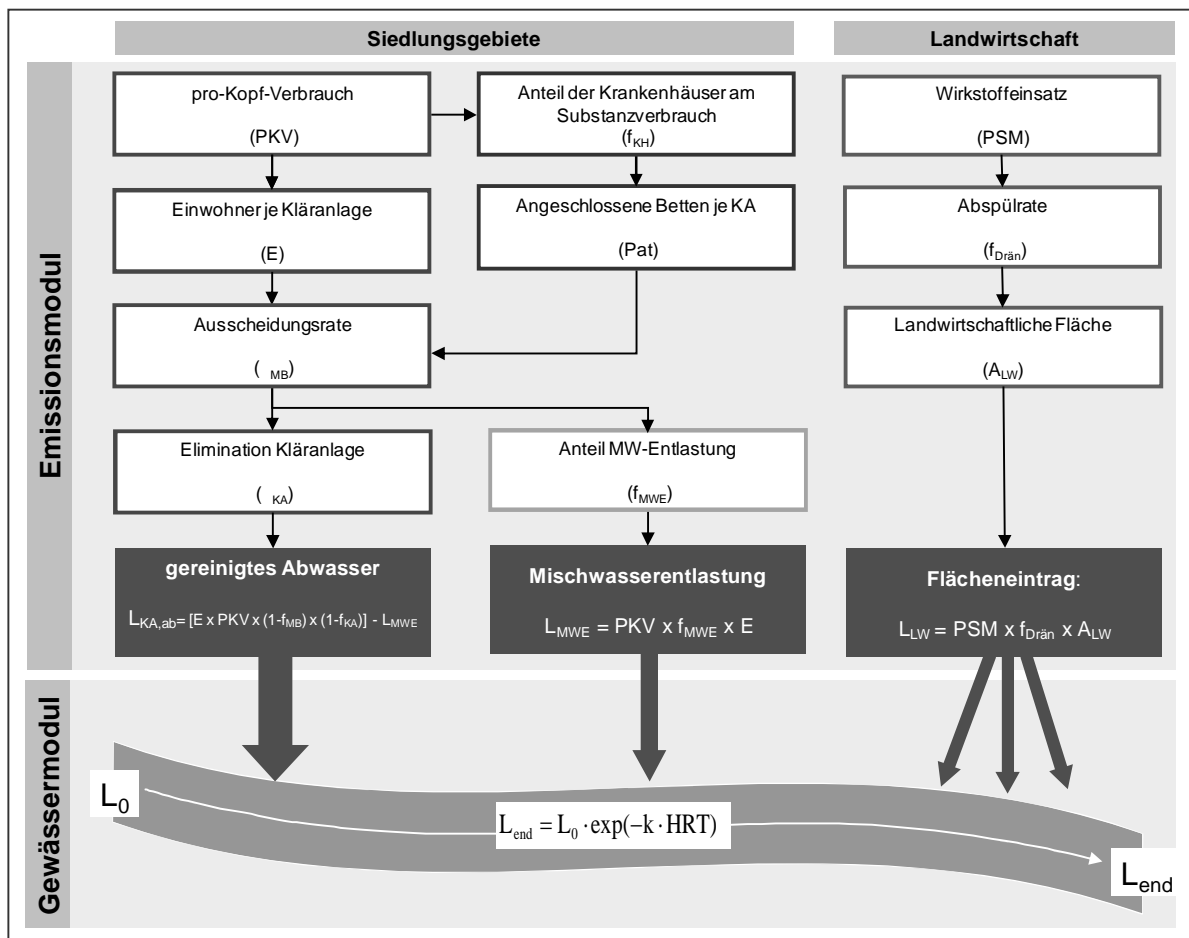


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Emissions- und Gewässermoduls

4.2 Emissions- und Gewässermodell der Nahe

Das für den Bilanzraum in ARC-GIS erstellte Emissions- und Gewässermodell zeigt Abbildung 4.

Insgesamt wurde ein Gewässernetz mit einer Fließlänge von 1.515 km abgebildet, das in 991 Einzelabschnitte unterteilt wurde. Das Flussnetz wurde als gerichtetes topologisches Netzwerk erstellt. An allen Verzweigungspunkten und an Einleitstellen von Punkteinleitern wie kommunalen Kläranlagen (die Mischwasserentlastungen wurden lagemäßig vereinfacht den Kläranlagen zugeordnet), wurden die Flussläufe durch Knoten in Segmente mit einer maximalen Fließlänge von 2,0 km unterteilt. Für jedes Segment wurde aus den vorhandenen topologischen Daten die Teileinzugsgebietsfläche ermittelt und in GIS dargestellt.

Weiterhin wurden alle 104 im Einzugsgebiet gelegene Kläranlagen mit den zugehörigen Mischwasserentlastungen und die im Einzugsgebiet gelegenen Krankenhäuser, die ihr Schmutzwasser über die kommunalen Kläranlagen in die Gewässer einleiten sowie die Flächennutzung im Einzugsgebiet abgebildet.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die Teilsegmente der Fließgewässer mit einem langjährigen mittleren Abfluss (MQ) und mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) versehen. Dazu wurden die abflusswirksamen Niederschläge im Jahresmittel sowie bei Niedrigwasser als Rasterdaten aus dem Kartenmaterial des Hydrologischen Atlas Deutschland entnommen und mit den Teileinzugsgebieten der Fluss-Segmente verschnitten.

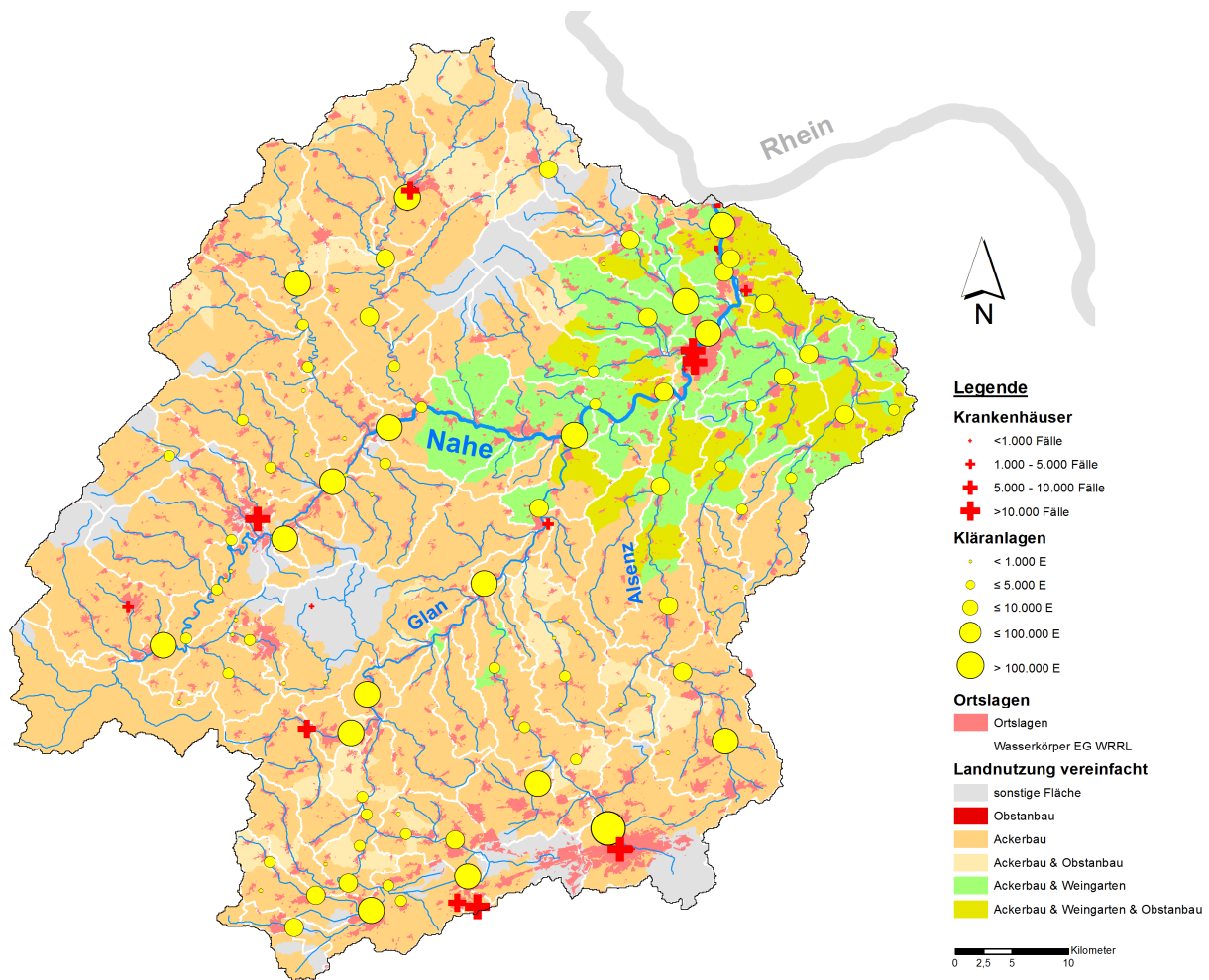


Abbildung 4: Emissions- und Gewässermodell der Nahe

Die auf diese Weise ermittelten Abfluss-Inkrementale der jeweiligen Abschnitte wurden in Fließrichtung aggregiert und so MQ und MNQ abgeschätzt. Mit Hilfe von langjährigen Pegelständen an 38 Pegelmessstellen wurden die Abflusswerte einer Plausibilitätskontrolle unterzogen und gegebenenfalls kalibriert.

4.3 Eingangsdaten und Kenngrößen

Als Eingangswerte des Modells dienen substanzspezifische Kenngrößen (spezifischer Substanzverbrauch, Abbauraten, Abspülrate etc.). Neben diesen Kenngrößen werden zusätzliche gebietspezifische Parameter benötigt (angeschlossene Einwohner, Anteil

der Mischwasserentlastung an der emittierten Fracht, Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche etc.).

Die Herleitung der einzelnen für die Berechnung erforderlichen Eingangsdaten erfolgt nachfolgend getrennt für die jeweiligen Emissionen.

4.3.1 Pro-Kopf-Verbrauch

Als Eingangswert des Modells zur Berechnung punktueller Einträge für schmutzwasserbürtige und niederschlagsbürtige Mikroschadstoffe aus Siedlungsgebieten dient der Pro-Kopf-Verbrauch einer Substanz. Dieser wurde für die ausgewählten Referenzparameter anhand der Messwerte der Kläranlagenmessprogramme abgeschätzt und auf den Referenzraum hochgerechnet. Hierzu wurden aus den ermittelten Konzentrationen und den korrespondierenden Abflussmengen mittlere Tagesfrachten und über die an die jeweilige Kläranlage angeschlossene Einwohnerzahl einwohnerspezifische Frachten berechnet.

Für die Rückrechnung des Pro-Kopf-Verbrauchs aus den Messdaten ist zudem der Anteil der in einer konventionellen Kläranlage eliminierten Stofffracht entscheidend. Weiterhin ist der Anteil der Substanz zu beachten, der tatsächlich ins Abwasser gelangt. Im Rahmen des Projektes wurden empirisch ermittelte Ausscheidungsraten herangezogen, abgeschätzt aus Literaturangaben.

Im Einzugsgebiet der Nahe wird derzeit das Abwasser zu 97 % in Belebtschlamm-anlagen gereinigt. Vereinfacht wurden daher die substanzspezifischen Eliminationsraten für das Belebtschlammverfahren für den gesamten Bilanzraum zu Grunde gelegt. Bei vielen Stoffen werden in der Fachliteratur jedoch große Bandbreiten angegeben (Abegglen und Siegrist, 2012; Götz et al., 2012; Klasmeier et al., 2011; Schrader 2007 etc.). Einige Faktoren wie das Schlammalter oder die hydraulische Verweilzeit beeinflussen die mögliche Abbauleistung (Siegrist et al., 2003). In solchen Fällen wurde für die Berechnung ein Mittelwert aus den verfügbaren Daten verwendet.

Bei Arzneimitteln wird der nicht resorbierte Anteil der mit den Medikamenten applizierten Wirkstoffe als Ausgangssubstanz direkt mit den Fäzes wieder ausgeschieden. Der größere Teil der Wirkstoffe wird nach Resorption in den Blutkreislauf teilweise metabolisiert und in Form von Transformationsprodukten ausgeschieden. Aus der Literatur (Götz et al., 2012; Klasmeier et al., 2011; Lienert et al., 2007 etc.) wurde der prozentuale Anteil an ausgeschiedenem Wirkstoff bezogen auf die applizierte Menge abgeschätzt.

In Abhängigkeit der Kläranlagengröße wurde der so ermittelte substanzspezifische Pro-Kopf-Verbrauch zu einem gewichteten Mittelwert umgerechnet und auf den Referenzraum umgelegt.

Zur Validierung der Ergebnisse wurden die ermittelten einwohnerspezifischen Verbräuche mit Literaturdaten abgeglichen (Tabelle 2). Es zeigt sich, dass die im Projekt berechneten einwohnerspezifischen Verbrauchsmengen gut mit den eruierten Literaturwerten übereinstimmen. Es stehen jedoch insbesondere zu den Biozid-Einträgen aus Siedlungsflächen kaum Vergleichsdaten zur Verfügung. Lediglich der Pro-Kopf-Verbrauch für Amidotrizoessäure ist im Vergleich zur Literatur erhöht. Dies lässt sich mit dem im Betrachtungsgebiet überproportionalen Anteil von Kläranlagen mit Krankenhausabwasser-Zuflüssen zurückführen.

Tabelle 2: Vergleich des ermittelten Pro-Kopf-Verbrauchs mit Literaturdaten (Auswahl)

Stoffgruppe	Substanz	Einheit	Nahe	Klasmeier et al. (2011)	Götz et al. (2012)	Bergmann et al. (2011)
Arzneimittel/ Diagnostika	Amidotrizoessäure	mg/(E·d)	3,40	1,27	1,28	2,14
	Bezafibrat		1,24	0,89		
	Carbamazepin		2,58	1,94	1,82	2,15
	Diclofenac		4,49	3,10	4,03	3,06
	Metoprolol		8,64	5,23	6,85	5,12
	Sulfamethoxazol		0,72	1,19	1,43	1,17
Pestizide/ Biozide	Carbendazim	mg/(E·d)	0,02	0,02		
	Diethyltoluamid		0,25	0,13		
	Diuron		0,05	0,03		
	Glyphosat		0,98	1,06		
	Isoproturon		0,25	0,10		
	Mecoprop		0,07	0,04		
	Terbutryn		0,03	0,02		
	Perfluorooctansulfonat	mg/(E·d)	0,07			

4.3.2 Mischwasserüberläufe

Die Mischwasserüberläufe aus Regenentlastungsbauwerken sind sowohl für schmutzwasserbürtige als auch für niederschlagsbürtige Mikroschadstoffe eine wesentliche Eintragsquelle in die Gewässer.

Der Anteil der Mischwasserentlastung für niederschlagsbürtige Mikroschadstoffe wurde im Rahmen des Projektes anhand der mittleren Entlastungsrate für die Mischsysteme nach Meißner berechnet.

Mit 44 % liegt die ermittelte Entlastungsrate in einem für ländliche Gebiete typischen Größenbereich. Das bedeutet, dass im langjährigen Jahresmittel ca. 44 % des Jahresniederschlagsabflussvolumens als Mischwasserüberlauf in die Gewässer gelangt. Damit kann näherungsweise – unter der Annahme einer homogenen Verteilung im Mischwasser – angenommen werden, dass 44 % der niederschlagsbürtigen Mikroschadstofffrachten über die Mischwasserüberläufe direkt in die Gewässer gelangen.

Der Anteil der Mischwasserentlastung für schmutzwasserbürtige Mikroschadstoffe wurde als Quotient des entlasteten Schmutzwasservolumens und des Trockenwetterabflusses abgeschätzt. Hierbei wurde angenommen, dass der Anteil des entlasteten Schmutzwasservolumens 10 % am gesamt entlasteten Volumen beträgt. Die schmutzwasserbürtigen Abflüsse und somit insbesondere die Arzneimittel und Diagnostika gelangen nach dieser Abschätzung zu einem Anteil von 6 % über Mischwasserüberläufe direkt in die Gewässer, womit keine Behandlungsoption auf der Kläranlage besteht.

Da im Einzugsgebiet der Nahe Mischsysteme dominieren (> 95 %), wurde auf eine gesonderte Bewertung der Stoffeinträge aus der Trennkanalisation verzichtet.

4.3.3 Emissionen aus Krankenhäusern

Eine Reihe von Substanzen, vor allem Röntgenkontrastmittel, werden zu einem erheblichen Anteil aus Krankenhausabwässern indirekt über Kläranlagen in die Gewässer eingeleitet, sodass es zu einer regionalen Umverteilung der Emissionen kommt. Kläranlagen mit angeschlossenen Krankenhäusern weisen dabei, in Abhängigkeit von der betrachteten Substanz, deutlich höhere Frachten im Zu- und Ablauf auf als solche ohne (Knerr et al., 2014; Knerr et al., 2015a).

Im Einzugsgebiet der Nahe befinden sich 15 Krankenhäuser mit insgesamt rd. 3.600 Betten. Des Weiteren liegen 13 Reha-Einrichtungen mit insgesamt rd. 1.900 Betten im Bilanzraum. Das Abwasser dieser Einrichtungen wird in 13 der 104 Kläranlagen behandelt.

Zur Berücksichtigung der Krankenhäuser als Indirekteinleiter wurden im Modell den betroffenen Kläranlagen als zusätzlicher Parameter die Anzahl der stationären Patienten (Betten) zugeordnet. Die indirekt eingeleitete Fracht wurde so aus der Bettenzahl und einem spezifischen „Pro-Bett(Patient)-Verbrauch“ berechnet. Letzterer Wert wurde über den Gesamtverbrauch des Wirkstoffes im jeweiligen Einzugsgebiet sowie einem Krankenhaus-Anteil am Wirkstoffverbrauch, bezogen auf die Gesamtzahl der Betten über alle Krankenhäuser im Gebiet, abgeschätzt. Der Anteil der Krankenhäuser am Wirkstoffverbrauch wurde über die Verbrauchsmengen, welcher bei den

Krankhausapotheken angefragt wurde, berechnet (Knerr et al., 2014; Knerr et al., 2015a).

4.3.4 Flächeneinträge aus der Landwirtschaft

Für die Berechnung des Flächeneintrages aus der Landwirtschaft über diffuse Quellen wurde im Modell für jeden Gewässerabschnitt eine abflusswirksame, landwirtschaftlich genutzte Fläche definiert. D. h. im Modell wird jedem Gewässerabschnitt die zugehörige landwirtschaftliche Fläche als Attribut vorgegeben. Dabei wird unterschieden zwischen Ackerland sowie Obst- und Weinbau. Die übrigen Flächennutzungen, wie Grünland und Wald, wurden nicht betrachtet, da der Stoffeintrag aus diesen Flächen eher gering und damit vernachlässigbar ist.

Die mittlere jährliche Eintragsfracht wurde aus dem Produkt der landwirtschaftlich genutzten Fläche mit dem mittleren Wirkstoffeinsatz pro Fläche und der Abspülrate abgeschätzt. Zur Berechnung des spezifischen Wirkstoffeinsatzes wurden die statistischen Daten des Julius Kühn-Instituts (JKI, 2013) verwendet. Hier wird für die wichtigsten Wirkstoffgruppen (Herbizide, Fungizide, Insektizide etc.) ein Behandlungsindex angegeben, welcher die Anwendungsintensität (Vollanwendungen pro Jahr) beschreibt.

4.3.5 Abbauvorgänge im Gewässer

Das Gewässermodul des verwendeten Modellsystems GREAT-ER berücksichtigt substanzspezifische Abbauraten im Gewässer. In Abhängigkeit der chemischen Eigenschaften (Wasserlöslichkeit, Persistenz, Sorptionseigenschaften etc.) werden die folgenden Prozesse berücksichtigt: biologischer Abbau, Hydrolyse, Photolyse, Sedimentation und Ausgasung. Diese Prozesse werden für jeden Gewässerabschnitt modelliert. Dazu wird die Eingangsfracht des Abschnittes bis zum Ende des Abschnittes entsprechend der Abbaurate und der Aufenthaltszeit reduziert.

Die substanzspezifischen Abbauraten wurden anhand einer Literaturrecherche ermittelt. Dabei konnten nur wenige Faktoren als eindeutig persistent identifiziert werden. Für viele Substanzen fehlt es an einer ausreichenden Datengrundlage, um hierzu eindeutige Aussagen treffen zu können. Bei substanzspezifisch fehlenden Kenntnissen zum Abbau wurden die Abbauraten im Modell als „konservativer Ansatz“ zu null gesetzt.

4.4 Modellvalidierung

4.4.1 Vergleich Simulation und Messwerte

Der Modellabgleich erfolgte über den Vergleich der simulierten Gewässerkonzentrationen mit Messwerten der Messkampagnen und den langjährigen Messdaten der Monitoringprogramme des Landes Rheinland-Pfalz. Insgesamt standen für die 14

Referenzparameter 3.636 Messwerte zur Verfügung, verteilt auf 12 Gewässermessstellen.

In Abbildung 5 ist der Vergleich der simulierten und gemessenen mittleren Gewässerkonzentrationen beispielhaft für die Pestizide Isoproturon und Mecoprop und die Arzneimittel Carbamazepin und Diclofenac an unterschiedlichen Messstellen im Bilanzraum dargestellt.

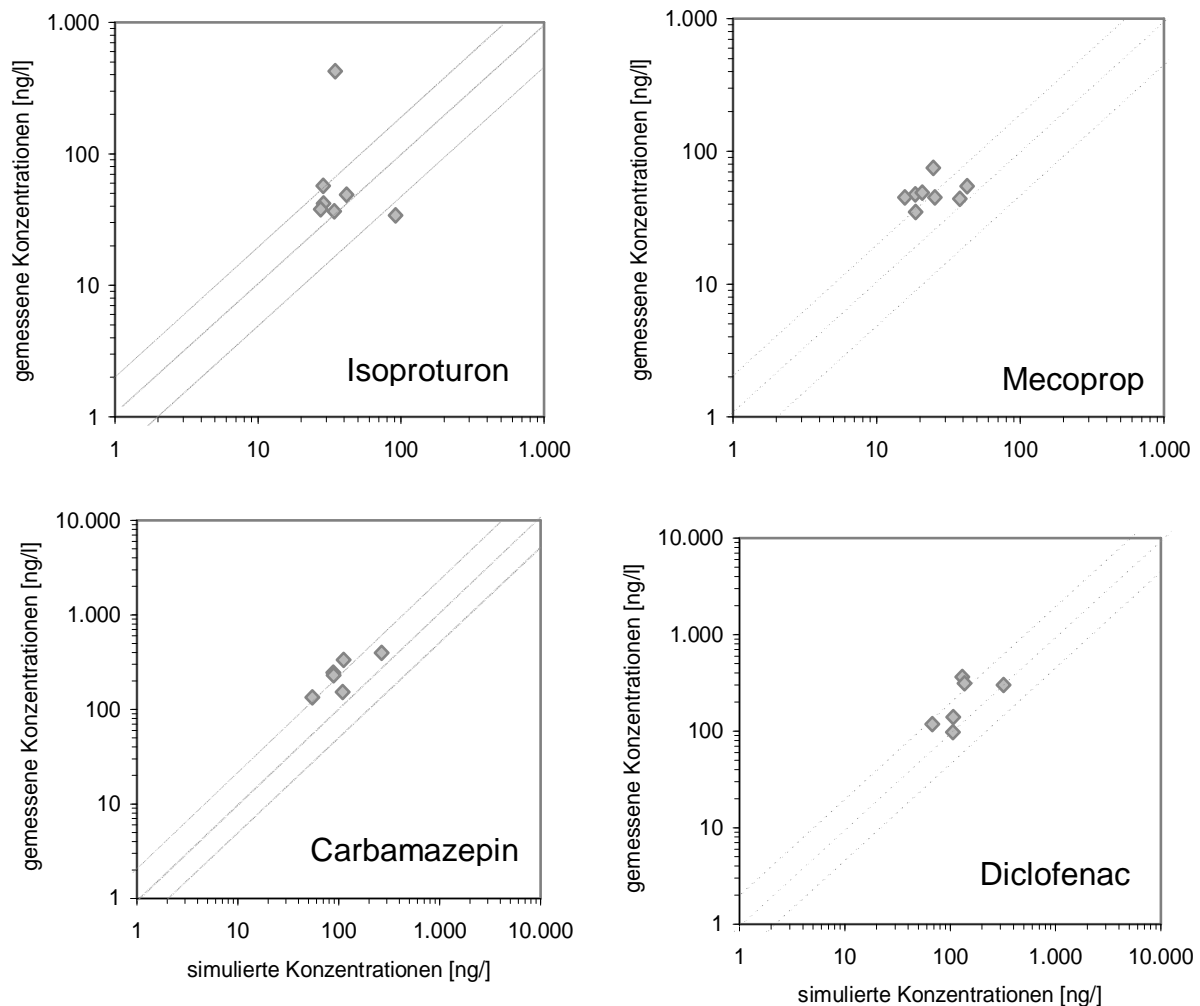


Abbildung 5: Modellabgleich für Isoproturon, Mecoprop, Carbamazepin und Diclofenac

Mit Ausnahme von Sulfamethoxazol (Antibiotikum) und Bezafibrat (Lipidsenker) können Mikroschadstoffkonzentration, die punktuell über Anlagen der Siedlungsentwässerung und über diffuse Einträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen in das Gewässersystem der Nahe eingetragen werden, zuverlässig vorausgesagt werden. Für Bezafibrat ergab sich eine Überschätzung. Daher wurde hier anstelle des berechneten Pro-Kopf-Verbrauchs der Wert aus Klasmeier et al. (2011) für die weiteren Berechnungen gewählt. Das Antibiotikum Sulfamethoxazol wurde in seinem Aufkommen dagegen unterschätzt. Auch bei der Wahl eines höheren Pro-Kopf-Verbrauchs konnte keine gute Anpassung an die Gewässermesswerte erzielt werden.

Ebenso ermöglichte die Änderung einzelner substanzspezifischer Parameter (Abbau in der Kläranlage, Metabolisierungsrate, Photolyse etc.) keine zufriedenstellende Annäherung an die Messwerte. Auf eine aufwändige Kalibrierung wurde daher verzichtet.

4.4.2 Festlegung der Modelleingangsdaten

Die abschließend für die Simulation gewählten Eingangsdaten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 3: Übersicht über die festgelegten Modelleingangsdaten

		Substanzparameter			Emissionsparameter für MQ						Emissionsparameter für MNQ					
		spez. Verbrauch	MW-Entlastung	ausgeschieden	Kläranlagen input	Hospital Input	Wash Off Landwirtschaft	Wash Off Obst, Wein	Belebtschlamm	4. Reinigungsstufe	Kläranlagen input	Hospital Input	Wash Off Landwirtschaft	Wash Off Obst, Wein	Belebtschlamm	4. Reinigungsstufe
		[g/(E*a)]	[%]	[%]	[g/(E*a)]	[%]	[g/(ha*a)]	[g/(ha*a)]	[%]	[%]	[g/(E*a)]	[%]	g/(ha*a)	g/(ha*a)	[%]	[%]
Pharmaka	DIATR	1,24	6	99	1,154	90	-	-	4,7	9,4	1,23	90	-	-	5,0	10,0
	CBZ	0,94	6	15	0,133	-	-	-	4,7	84,6	0,14	-	-	-	5,0	90,0
	DCF	1,64	6	27	0,416	-	-	-	51,7	79,9	0,44	-	-	-	55,0	85,0
	MTP	3,15	6	11	0,326	-	-	-	21,6	84,6	0,345	-	-	-	23,0	90,0
	SMX	0,26	6	35	0,086	-	-	-	56,4	56,4	0,091	-	-	-	60,0	60,0
	BZF	0,33	6	50	0,153	-	-	-	57,3	70,5	0,163	-	-	-	61,0	75,0
Pestizide	CBD	0,006	47	100	0,004	-	0,050	0	2,2	39,8	0	-	-	-	4,0	75,0
	DEET	0,094	47	100	0,053	-	0	0	30,8	39,8	0	-	-	-	55,0	75,0
	DRN	0,017	47	100	0,009	-	0	0	11,2	34,5	0	-	-	-	20,0	65,0
	GPS	0,329	47	100	0,185	-	0,070	1,32	28	15,9	0	-	-	-	50,0	30,0
	IPT	0,011	47	100	0,006	-	0,190	0	8,4	31,8	0	-	-	-	15,0	60,0
	MCP	0,021	47	100	0,012	-	0,050	0	12,3	31,8	0	-	-	-	22,0	60,0
	TBT	0,012	47	100	0,007	-	0	0	24,6	34,5	0	-	-	-	44,0	65,0

5 Maßnahmenzenarien, Bewertung und Kosten

Ziel des Projektes Mikro_N ist die Erarbeitung einer fundierten Diskussions- und Bewertungsgrundlage zur Beurteilung der Belastungssituation rheinland-pfälzischer Gewässer und der Notwendigkeit bzw. des Potenzials der Einführung von 4. Reinigungsstufen zur gezielten Elimination von Mikroschadstoffen.

Neben der bilanziellen Gesamtbetrachtung von Stoffeinträgen durch Nutzung eines Stoffflussmodells für das Referenzgewässer Nahe wurden zunächst die verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur Elimination von Mikroschadstoffen recherchiert. Die hierbei ermittelten Kenndaten zur erreichbaren Reinigungsleistung gingen in das Simulationsmodell ein und auch die in verschiedenen Studien ermittelten Kosten wurden für eine Kosten/ Nutzen-Bewertung herangezogen.

Mittels Szenarienbetrachtung wurde die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge von Mikroschadstoffen mit Blick auf resultierende Gewässerkonzentrationen analysiert und in Verbindung mit Kostenschätzungen für das Untersuchungsgebiet bewertet. Die Ergebnisse wurden zudem auf das gesamte Bundesland übertragen.

Die Vorgehensweise ist in nachfolgender Abbildung zusammenfassend dargestellt.

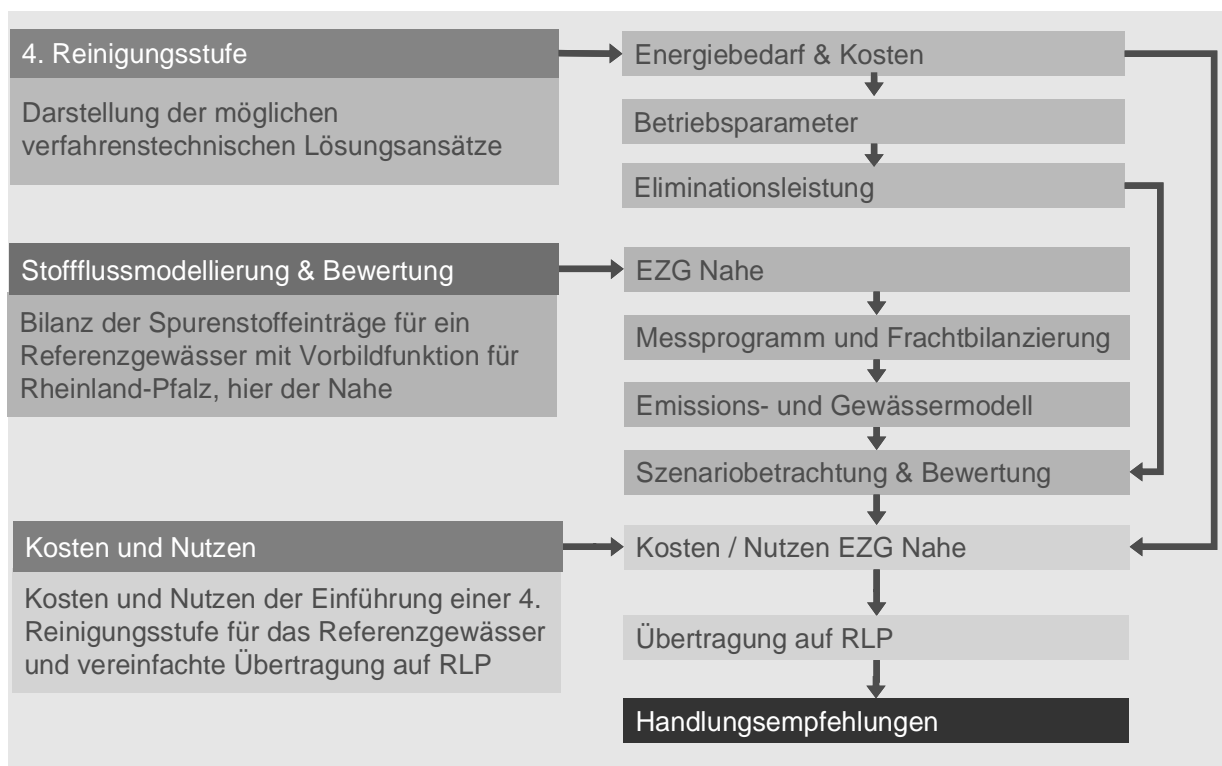


Abbildung 6: Vorgehensweise im Projekt Mikro_N

5.1 Risikoabschätzung

Um die Ergebnisse der betrachteten Einzelstoffe in Bezug auf die Gewässersituation miteinander vergleichen zu können, wurde der sogenannte Risikoquotient (RQ) herangezogen. Hierzu wird der Quotient aus der simulierten Gewässerkonzentration und dem Qualitätskriterium gebildet, bei dem nach derzeitigem Stand der Wissenschaft eine chronische Schädigung von Wasserorganismen ausgeschlossen werden kann. Ist $RQ < 1$, bedeutet dies, dass die simulierte Gewässerkonzentration kleiner als

das substanzspezifisch angesetzte Qualitätskriterium ist. Negative Langzeitfolgen für die Gewässerorganismen sind entsprechend des Verständnisses der Qualitätskriterien nicht zu erwarten. Ein $RQ > 1$ zeigt dagegen die Überschreitung des substanzspezifisch angesetzten Qualitätszieles an. Es kann folglich ein (je nach Zahlenwert des RQ erhöhtes) Risiko für die Gewässerorganismen angenommen werden, z. B. durch kontinuierlichen Eintrag von gereinigtem Abwasser.

Tabelle 4: Für die Risikoabschätzung verwendete Qualitätskriterien (grau markiert)

Stoffgruppe	Substanz	Abk.	PNEC [µg/L]	AA-EQS* [µg/L]	GOW** [µg/L]	UQN [µg/L]
Arzneimittel/ Diagnostika	Amidotrizoesäure	DIATR	0,01		1,0	
	Bezafibrat	BZF		0,46		
	Carbamazepin	CBZ	0,5	0,5	0,3	
	Diclofenac	DCF	0,1	0,05	0,3	
	Metoprolol	MTP	8,0	64		
	Sulfamethoxazol	SMX	0,1	0,6		
Pestizide/ Biozide	Carbendazim	CBD		0,34		
	Diethyltoluamid	DEET		41		
	Diuron	DRN		0,02		0,2
	Glyphosat	GPS		108		
	Isoproturon	IPT		0,32		0,3
	Mecoprop	MCP				0,1
	Terbutryn	TBT		0,65		0,65
	Perfluoroctansulfonat	PFOS		0,23		0,00065

* Zulässige durchschnittliche Jahreskonzentration (Ökotoxzentrum, 2013)

** Gesundheitlicher Orientierungswert (UBA 2014)

Da als Ergebnis der Stoffflussmodellierung nicht nur für die Eintragsorte, sondern für alle abgebildeten Gewässerabschnitte berechnete Konzentrationen vorliegen, kann der Risikoquotient für jeden Stoff flächendeckend ermittelt und georeferenziert für alle Gewässerabschnitte dargestellt werden.

Grundlage für die Risikobewertung der Gewässerbelastung sind Konzentrationswerte, die zum Teil als UQN in Form eines Jahresdurchschnittswertes festgelegt sind. Für die untersuchten Referenzsubstanzen werden, in Abhängigkeit der herangezogenen

Quelle, teilweise unterschiedliche Qualitätsziele angegeben (Tabelle 4). Die im Projekt verwendeten Konzentrationen sind in Tabelle 4 grau markiert.

Im Wesentlichen wurden die Vorschläge des Schweizerischen Zentrums für angewandte Ökotoxikologie (Ökotoxzentrum), Dübendorf herangezogen. Dort wo bereits rechtliche Vorgaben existieren, z. B. aus der EU-WRRL oder der Oberflächengewässerverordnung (OGewV), wurden diese Werte angesetzt. Für Amidotrizoesäure wurde ersatzweise der Gesundheitliche Orientierungswert (GOW) verwendet, für Diclofenac der als UQN diskutierte PNEC-Wert und für Diuron, Isoproturon und Terbutryn die jeweilige UQN. Für Perfluorooctansulfonat (PFOS) wurde die zulässige jährliche Durchschnittskonzentration AA-EQS anstelle UQN angesetzt, da der UQN-Wert der EU-WRRL deutlich unterhalb der Nachweisgrenze für PFOS liegt.

5.2 Szenarienbetrachtung zum Status quo und möglichen Maßnahmen

Um eine gute Diskussionsgrundlage zu schaffen, wurde die aktuelle Gewässerbelastung sowohl im Hinblick auf den Abfluss im Jahresdurchschnitt (MQ) als auch bei Niedrigwasser (MNQ) bewertet (Szenario 1). Die Simulation von MNQ stellt dabei eine Extremsituation dar, bei der die schmutzwasserbürtigen Substanzfrachten auf einen niedrigen Abfluss im Gewässer treffen und damit zu erhöhten Gewässerkonzentrationen führen.

Zusätzlich wurden verschiedene Maßnahmenzenarien untersucht, die Einfluss auf die Stoffeinträge der untersuchten Substanzen besitzen. Dies betrifft auch die demografische Entwicklung im Referenzraum, bei der für die Prognosejahre 2030 und 2050 der altersgruppenspezifische Medikamentenverbrauch berücksichtigt wurde (Szenario 2).

Als zentrale emissionsorientierte Maßnahme wurde der Ausbau der Kläranlagen mit erweiterten Reinigungsstufen analysiert (Szenario 3). Die Kriterien zur Auswahl der ausgebauten Anlagen sind hierbei entscheidend. In drei Unterszenarien wurden daher verschiedene Abstufungen bzw. Herangehensweisen bei der Anlagenauswahl betrachtet.

Des Weiteren wurden auch quellenorientierte Vermeidungsmaßnahmen, die Einfluss auf die Eingangsdaten der Simulation haben, betrachtet (Szenario 4). Eine Sensibilisierung im Umgang mit den Substanzen oder deren Substitution kann beispielsweise zu reduzierten Verbrauchsmengen führen. Durch Maßnahmen an relevanten Punktquellen (z. B. Krankenhäuser) können Schwerpunkte entlastet werden und durch Reglementierungen ist eine Einflussnahme auf die diffusen Stoffeinträge denkbar.

Im abschließenden Szenario 5 wurde eine Kombination eines zielorientierten Kläranlagenausbaus mit quellenorientierten Maßnahmen betrachtet, um so den Eintrag von Mikroschadstoffen in die aquatische Umwelt zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

5.3 Kosten und Nutzen der Einführung weitergehender Reinigungsstufen

Die Bewertung von Kosten und Nutzen einer Einführung der 4. Reinigungsstufe ist ein weiteres zentrales Anliegen des Projektes. Ziel war es, belastbare Aussagen als Diskussionsgrundlage für den weiteren Umgang mit Mikroschadstoffen in Rheinland-Pfalz herzuleiten.

Der Nutzen einer punktuellen Verringerung der Stoffeinträge durch den Kläranlagenausbau entspricht grundsätzlich der Veränderung gegenüber dem Referenz-Zustand (Status quo). Die Bewertung dieser Differenz erfolgt über zwei Ansätze, zum einen quantitativ über die verringerten emittierten Stofffrachten und zum anderen qualitativ über die Verbesserung der flächendeckenden Gewässersituation. Auch Synergieeffekte durch eine Verringerung anderer Schmutzstofffrachten (Phosphor) werden zusätzlich hinzugezogen.

Demgegenüber stehen die Kosten für den Bau und Betrieb der zusätzlichen Reinigungsstufen. Diese sind grundsätzlich abhängig von der gewählten Verfahrensvariante und der Anlagengröße bzw. der zu behandelnden Wassermenge. Auf Basis von Pilotprojekten, realisierten Anlagen und Machbarkeitsstudien können diese Kosten abgeschätzt und auf die betrachteten Kläranlagen übertragen werden. Im Rahmen dieses Projektes wurde dazu auf zwei Metastudien zurückgegriffen.

Im Ergebnis kann der durch unterschiedliche Ausbauszenarien bewirkte qualitative bzw. quantitative Nutzen den dabei entstehenden Kosten gegenübergestellt werden, um Aussagen zur Kosteneffizienz zu erhalten.

Die Gesamtbetrachtung für das Einzugsgebiet berücksichtigt jedoch noch nicht die inhomogene Situation der Abwassergebühren, hervorgerufen durch die große Zahl an Kläranlagenbetreibern. Um die Auswirkung der betrachteten Ausbauszenarien auf den Bürger einzuschätzen, wurden dazu die resultierenden Kosten einerseits nach einem Solidarprinzip auf alle Betreiber umgelegt und andererseits im direkten Vergleich nach dem Verursacherprinzip nur den ausgewählten Kläranlagen zugeordnet.

6 Literatur

- Abbelgen C. und Siegrist H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Hrsg. Bundesamt für Umwelt BAFU der Schweiz. Bern (Umwelt-Wissen Nr. 1214). (<http://www.bafu.admin.ch>, 09.03.2013)
- Bergmann A., Fohrmann R. und Weber F.-A. (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. Hrsg. Umweltbundesamt. UBA. Dessau-Roßlau.
- Bode H., Grünebaum T., und Klopp R. (2010): Anthropogene Spurenstoffe aus Kläranlagen, Teil 2: Maßnahmen bei der Abwasserbehandlung-Möglichkeiten, Notwendigkeiten und Voraussetzungen. In: Korrespondenz Abwasser 2010 (57) Nr. 3, 240–244.
- Götz C., Stamm C., Fenner K., Singer H., Schärer M. und Hollender J. (2010): Targeting aquatic microcontaminants for monitoring: exposure categorization and application to the Swiss situation. *Environ Sci Pollut Res* 17, S. 341–354.
- Götz C., Kase R. und Hollender J. (2011): Mikroverunreinigungen - Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU. Hrsg. Eawag, Dübendorf.
- Götz C., Kase R., Ort C., Singer H. und Bergmann S. (2012): Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser. Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nord-Rhein-Westfalen. Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.
- Ivashechkin P. (2006): Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser, Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen,
- JKI (2013): Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Hrsg. Julius Kühn-Institut. (<http://www.papa.jki.bund.de>)
- Kehrein N., Berlekamp J. und Klasmeier J. (2014): Modeling the fate of down-the-drain chemicals in whole watersheds: New version of the GREAT-ER software. *Environ. Modell. Softw.*, 2014(64), 1-8
- Klasmeier J., Kehrein N., Berlekamp J., und Matthies M. (2011): Mikroverunreinigungen in oberirdischen Gewässern: Ermittlung des Handlungsbedarfs bei kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht. USF - Institut für Umweltsystemforschung Universität Osnabrück. Osnabrück.

- Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G., Kolisch G., Jung T. und Angerbauer F. (2014): Der Einfluss der Siedlungscharakteristik auf die Emissionen von Spurenstoffen aus kommunalen Kläranlagen, Tagungsband Aqua Urbanica 2014 „Misch- und Niederschlagswasserbehandlung im urbanen Raum“, 23. und 24. Oktober 2014, Innsbruck, Österreich
- Knerr H., Kolisch G. und Jung T. (2015a): Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen in Rheinland-Pfalz, Wasser und Abfall, 2015, 17(1-2), 23-28
- Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G., Kolisch G. und Taudien Y. (2015b): Stoffflussmodellierung zur Abschätzung der Gesamtemissionen an Mikroschadstoffen in Oberflächengewässern, Tagungsband Aqua Urbanica 2015 und 90. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium, „Wasser - Schutz - Mensch“, 07. und 08. Oktober 2015, Stuttgart, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 225, 157-164
- Launay M., Droste F., Dittmer U. und Steinmetz H. (2015): Emittierte Spurenstoffströme von Kläranlage und Mischwasserentlastungen im Vergleich, Tagungsband Aqua Urbanica 2015 und 90. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium, „Wasser - Schutz - Mensch“, 07. und 08. Oktober 2015, Stuttgart, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 225, 143-156
- LUWG (2012): Pflanzenschutzmittel und Arzneimittelwirkstoffe in rheinland-pfälzischen Fließgewässern 2010, Summarische Betrachtung der Wirkstoffgruppen, Hrsg. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz, 2012
- Metzger J. W., Kuch B., Schneider C. (2003): Pharmaka und Hormone in der aquatischen Umwelt. In: Abschlussbericht - Förderkennzeichen UVM ONR. 53-00.01, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg.
- Metzger S., Rößler A. und Kapp H. (2012): Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung. Spurenstoffbericht. (<http://www.koms-bw.de>, 03.06.2013)
- Metzger S. (2012): Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg: Ergebnisse zur Spurenstoffeleimination auf kommunalen Kläranlagen durch den Betrieb einer Adsorptionsstufe. Tagungsband Mikroschadstoffe und Nährstoffrückgewinnung, „Praxiserfahrungen und Umsetzungspotenziale in der Abwasserreinigung“, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 211, 39–48.
- Oekotoxzentrum (2013): Vorschläge für akute und chronische Qualitätskriterien für ausgewählte schweizrelevante Substanzen (<http://www.oekotoxzentrum.ch>, 05.06.2013).

- Schrader C. (2007): Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Entfernung von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser. Dissertation, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 190.
- Siegrist H., Joss A., Alder A., McCardell C., Göbel A., Keller E. und Ternes T. (2003): Mikroverunreinigungen - Abwasserentsorgung vor neuen Anforderungen? Eawag-News, (57), 7–10.
- Ternes T. A., Janex-Habibi M.-L., Knacker T., Kreuzinger N. und Siegrist H. (2004): Assessment of Technologies for the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse – Poseidon. Detailed Project Report
- UBA (2014): Liste der nach GOW bewerteten Stoffe. Hrsg. Umweltbundesamt. (<http://www.umweltbundesamt.de>, 13.10.2014).
- Welker A. (2005): Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf - Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Habilitation, Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet für Siedlungswasserwirtschaft, Schriftenreihe des Fachgebiets für Siedlungswasserwirtschaft, Band 20.
- Welker A. (2013): Schadstoffminimierung im urbanen Wassersystem. Tagungsband Siedlungswasserwirtschaft 20..40..60. Herausforderungen und Perspektiven 'insight outside K'town'. Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet für Siedlungswasserwirtschaft, Schriftenreihe des Fachgebiets für Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 36, 67–90.

Korrespondenz an:

Dr.-Ing. Henning Knerr
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern
Tel.: +49 631 205 3947
Fax: +49 631 205 3905
E-Mail: henning.knerr@bauing.uni-kl.de

Situationsanalyse der Gesamtemissionen an Mikroschadstoffen im Einzugsgebiet der Nahe

H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel

tectraa - Zentrum für innovative AbWassertechnologien an der TU Kaiserslautern

G. Kolisch, Y. Taudien

Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft (WiW)

Kurzfassung: Mikroschadstoffe werden in vielen Fließgewässern nachgewiesen. Die Angaben über Vorkommen und Verbleib der Stoffe sind jedoch zeitlich und räumlich limitiert. Für das Einzugsgebiet der Nahe wurde daher eine flächendeckende Situationsanalyse für ausgewählte Mikroschadstoffe mittels eines georeferenzierten Stoffflussmodells durchgeführt. Im Beitrag werden die Ergebnisse der Simulation des Ist-Zustands für ausgewählte Mikroschadstoffe und die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Gewässerbelastung beschrieben. Diese zeigen einen deutlichen Handlungsbedarf für die Arzneimittel Bezafibrat, Carbamazepin und Diclofenac sowie für das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure auf.

Key-Words: Mikroschadstoffe, Stoffflussmodellierung, Demografie

1 Einleitung

Eine Vielzahl von Untersuchungen zeigt, dass die aquatische Umwelt zunehmend durch Mikroschadstoffe belastet wird (Bergmann und Götz, 2013; UBA, 2014 etc.). Einige Stoffe liegen bereits in Konzentrationen deutlich über den ökotoxikologisch abgeleiteten, substanzspezifischen Null-Effekt-Konzentrationen (PNEC = predicted no effect concentration) vor. In Rheinland-Pfalz wurde an Gewässermessstellen in dicht besiedelten Einzugsgebieten eine Überschreitung des Jahresmittelwertes der als Umweltqualitätsnorm (UQN) für das Analgetikum Diclofenac diskutierten Konzentration von 0,1 µg/L festgestellt. Aufgrund der Stoffvielfalt und der unterschiedlichen Eintragspfade sind die Abschätzung der Gesamtemissionen an Mikroschadstoffen und eine flächendeckende Bewertung der Gewässerbelastung für größere Gewässersysteme allein durch Monitoringprogramme nicht praktikabel. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten, Rheinland-Pfalz (MULEWF) wurden daher im Rahmen des Projektes „Mikro_N“, beispielhaft

für das Gewässereinzugsgebiet der Nahe, die Gesamtemissionen an ausgewählten Mikroschadstoffen anhand einer Bilanz überprüft (Knerr et al., 2015a).

Das Projekt verfolgt das Ziel, die Belastungssituation der Fließgewässer im Bilanzraum flächendeckend und nach vergleichbaren Kriterien zu beurteilen, Maßnahmenoptionen anhand einer Szenarienbetrachtung und -analyse abzuschätzen und Handlungsempfehlungen für Rheinland-Pfalz abzuleiten. Zur Bilanzierung wurde ein georeferenziertes Stoffflussmodell verwendet. Im vorliegenden Manuskript werden die Ergebnisse der Simulation des Ist-Zustands für ausgewählte Mikroschadstoffe und die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Gewässerbelastung dargestellt und diskutiert.

2 Methodik

Grundlage der Bilanzierung stellen Messdaten aus Messkampagnen zu einzelnen Stoffen im Ablauf von fünf Kläranlagen sowie an Gewässerpunkten im Bilanzraum dar. Ergänzend wurden Daten aus Mess- bzw. Monitoringprogrammen des Landes Rheinland-Pfalz ausgewertet (Knerr et al., 2015b). Basierend auf den Ergebnissen der Datenauswertung (Präsenz im aquatischen Milieu) und weiterer Auswahlkriterien (Datenverfügbarkeit bzgl. Verbrauch, Gewässerbewertung, Elimination und Abbau, Relevanz für den Eintrag über die verschiedenen Pfade etc.) wurden 14 Referenzsubstanzen identifiziert, die über Punktquellen und diffuse Quellen in die Gewässer eingetragen werden: fünf Arzneimittel (Bezafibrat (BZF), Carbamazepin (CBZ), Diclofenac (DCF), Metoprolol (MTP) und Sulfamethoxazol (SMX)), ein Röntgenkontrastmittel (Amidotrizoesäure (DIATR)), die Pestizide Carbendazim (CBD), Diethyltoluamid (DEET), Diuron (DRN), Glyphosat (GPS), Isoproturon (IPT), Mecoprop (MCP) und Terbutryn (TBT)) sowie die Industriechemikalie Perfluoroctansulfonat (PFOS) (Knerr et al., 2015a).

Zur Stoffflussmodellierung wurde das Modellsystem GREAT-ER verwendet, welches an der Universität Osnabrück zur Abschätzung und Risikobewertung von Umweltkonzentrationen chemischer Stoffe in Oberflächengewässern entwickelt wurde und für die Verwendung im Einzugsgebiet der Nahe adaptiert wurde. Eine ausführliche Beschreibung des Modells kann u. a. Klasmeier et al. (2011), Kehrein et al. (2014) und Knerr et al. (2015a) entnommen werden.

Als Referenzgewässer wurde die Nahe, ein linker Nebenfluss des Rheins, gewählt. Es wurden insgesamt 1.515 Fließkilometer im Bilanzraum abgebildet. Das Hauptgewässer im Bilanzraum, die Nahe, hat eine Gesamtlängelänge von 125 Kilometer (Abbildung 1).

Für die ausgewählten Referenzsubstanzen standen insgesamt 3.636 Messwerte zur Verfügung, verteilt auf 12 Gewässermessstellen. Die Kalibrierung des Modells erfolgte bei mittlerem Abfluss (MQ). (Knerr et al., 2015a)

3 Ergebnisse der Stoffflussmodellierung

3.1 Bewertungsgrundlage

Zur Bewertung der Gewässerbelastung wird der sogenannte Risikoquotient (RQ) herangezogen, d. h. es wird der Quotient aus der simulierten Gewässerkonzentration (PEC = predicted environmental concentration) und einem substanzspezifisch festgelegten Qualitätskriterium gebildet. Als Qualitätskriterium wurde die Konzentration gewählt, bis zu der nach derzeitigem Wissensstand eine chronische Schädigung der Gewässerorganismen ausgeschlossen werden kann. Als Bewertungsskala wurde eine 6-stufige Einteilung mit einer entsprechenden farbigen Abstufung festgelegt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bewertungsskala der Gewässerbelastungssituation durch Mikroschadstoffe

Farbeinteilung	Risikoquotient	Erläuterung	Einhaltung Qualitätsziel
	0	Keine Belastung, da in diesem Abschnitt keine Einleitung bzw. kein Eintragspfad	Kriterium eingehalten
	$RQ < 1,0$	Maximal einfaches Qualitätskriterium	
	$1,0 \leq RQ < 2,0$	Maximal zweifaches Qualitätskriterium	Kriterium nicht eingehalten
	$2,0 \leq RQ < 4,0$	Maximal vierfaches Qualitätskriterium	
	$4,0 \leq RQ < 10$	Maximal zehnfaches Qualitätskriterium	
	$RQ \geq 10$	Mehr als zehnfaches Qualitätskriterium	

Grundlage für die Bewertung sind Konzentrationswerte, die zum Teil in der EU-Richtlinie 2013/39/EU und der Oberflächengewässerverordnung (OGewV, 2011) als Umweltqualitätsnorm (UQN) in Form eines Jahresdurchschnittswertes (JD-UQN) festgelegt sind. Die Mehrzahl der für den Bilanzraum identifizierten Referenzsubstanzen ist jedoch nicht gesetzlich geregelt, weswegen Ersatzwerte herangezogen wurden. Für DIATR wurde der Gesundheitliche Orientierungswert (GOW) von $1,0 \mu\text{g/L}$ angesetzt, für DCF der als UQN diskutierte PNEC-Wert ($0,1 \mu\text{g/L}$) und für BZF ($0,46 \mu\text{g/L}$), CBZ ($0,5 \mu\text{g/L}$), MTP ($64 \mu\text{g/L}$), SMX ($0,6 \mu\text{g/L}$), CBD ($0,34 \mu\text{g/L}$), DEET ($41 \mu\text{g/L}$) sowie für GPS ($108 \mu\text{g/L}$) wurde auf die Vorschläge des Schweizerischen Zentrums für angewandte Ökotoxikologie (Ökotoxzentrum), Dübendorf (Ökotoxzentrum, 2013) zurückgegriffen. Dort werden zulässige durchschnittliche

Jahreskonzentrationen (AA-EQS = annual average environmental quality standard) angegeben, um Organismen vor den Folgen von Langzeitbelastungen zu schützen. Für DRN ($0,2 \mu\text{g/L}$), IPT ($0,3 \mu\text{g/L}$), MCP ($0,1 \mu\text{g/L}$) und TBT ($0,65 \mu\text{g/L}$) wurde die jeweilige UQN gemäß EU-WRRL und Oberflächengewässerverordnung angesetzt. PFOS wurde anstelle mit UQN ($0,00065 \mu\text{g/L}$) ebenfalls anhand AA-EQS ($0,23 \mu\text{g/L}$) bewertet, da die in der EU-WRRL festgelegte UQN deutlich unterhalb der Nachweisgrenze für PFOS liegt (Knerr et al. 2015a).

3.2 Ist-Zustand

3.2.1 Analyse und Bewertung der Belastungssituation

In Abbildung 1 sind die im Ist-Zustand resultierenden Risikoquotienten exemplarisch für DCF bei hinterlegtem MQ dargestellt.

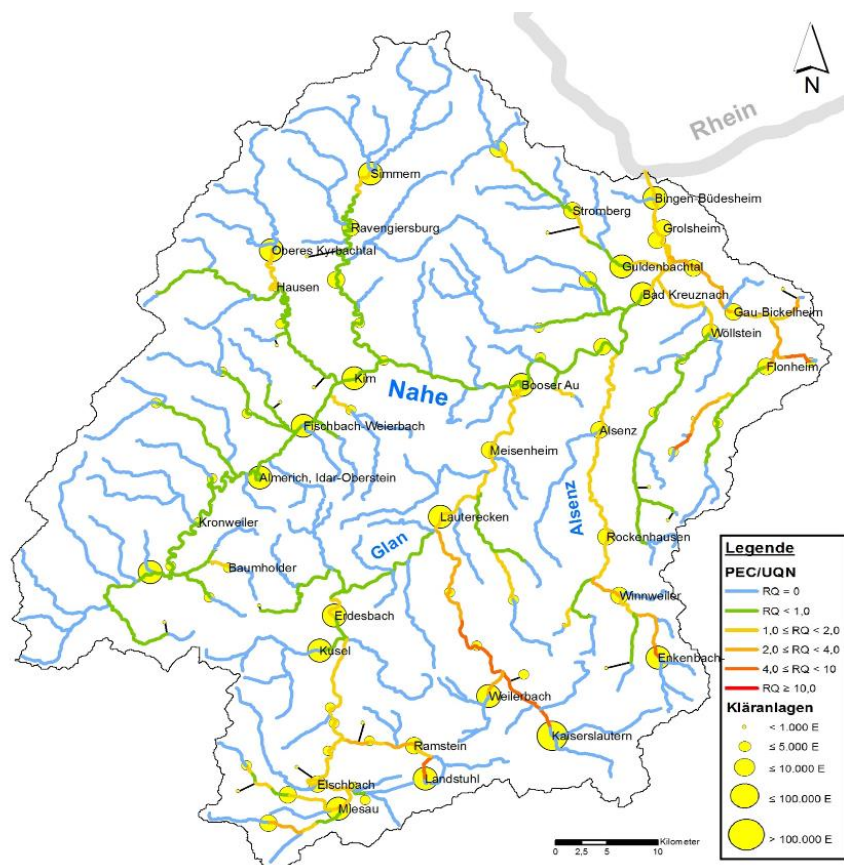


Abbildung 1: RQ-Karte für das Naheinzugsgebiet für DCF bei MQ

Die Ergebnisse für DCF zeigen, dass im nördlichen Bilanzraum nur kurze Abschnitte stark belastet sind, während im südlichen und östlichen Einzugsgebiet insbesondere die Lauter, der Oberlauf des Glan und die Alsenz über viele Fließkilometer deutliche Überschreitungen des angesetzten Qualitätskriteriums erwarten lassen.

In Abbildung 2 ist das Profil der simulierten DCF-Konzentration für die Nahe von der Quelle bis zur Mündung in den Rhein dargestellt. Diese wird während der Fließstrecke durch Abbau im Gewässer, Emissionen von Kläranlagen und Mischwasserentlastungen sowie Verdünnung durch Zusammenfluss von Nebengewässern verändert. Erst unmittelbar vor der Mündung in den Rhein wird das angesetzte Qualitätskriterium überschritten. Im Ist-Zustand resultiert für DCF eine Emission in den Rhein von 98,8 kg/a.

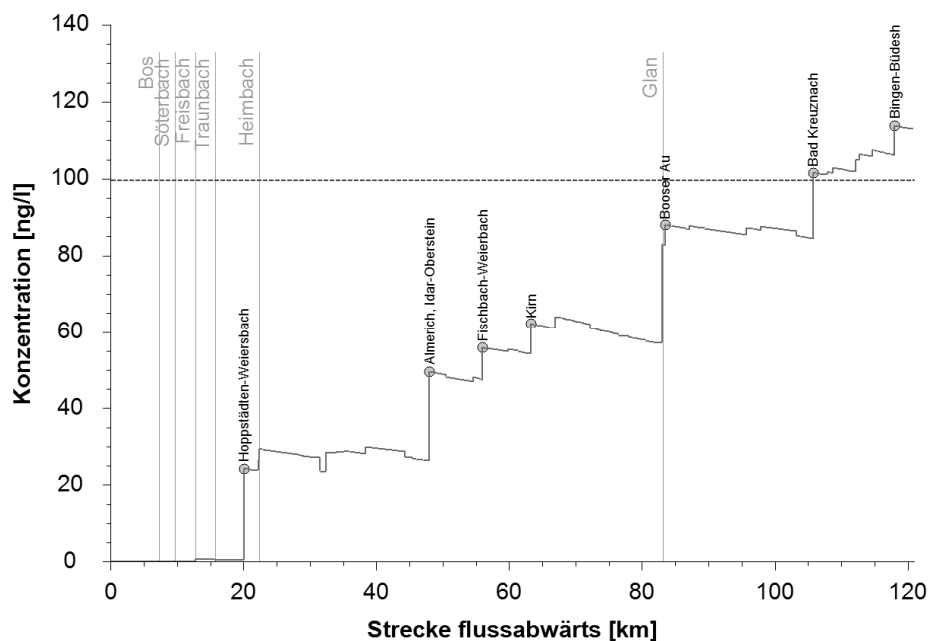


Abbildung 2: Profil der simulierten DCF-Konzentration für die Nahe bei MQ

Die relative Verteilung der resultierenden Risikoquotienten bei MQ, bezogen auf die insgesamt abgebildeten Fließkilometer, ist zusammenfassend in Abbildung 3 dargestellt.

Für die Arzneimittel und Diagnostika ergibt sich in den abwasserbeeinflussten Gewässerabschnitten (39 % bzw. 590 Fließkilometer des abgebildeten Gewässernetzes) durchgängig ein $RQ > 0$. Pestizide sind dagegen in nahezu dem gesamten abgebildeten Gewässernetz feststellbar, mit Konzentrationswerten, die von der Flächennutzung und der einzelnen Substanz abhängen. Infolge Abschwemmung nach Niederschlagsereignissen wird bspw. der prioritäre Stoff IPT, der in der Landwirtschaft als Herbizid und im urbanen Bereich als Fassadenschutz eingesetzt wird, bei hinterlegtem MQ in 91 % der betrachteten Gewässerabschnitte nachgewiesen. TBT dagegen,

ein Algizid, welches in Dispersionsfarben zum Einsatz kommt, wird nur im abwasserbeeinflussten Gewässernetz nachgewiesen.

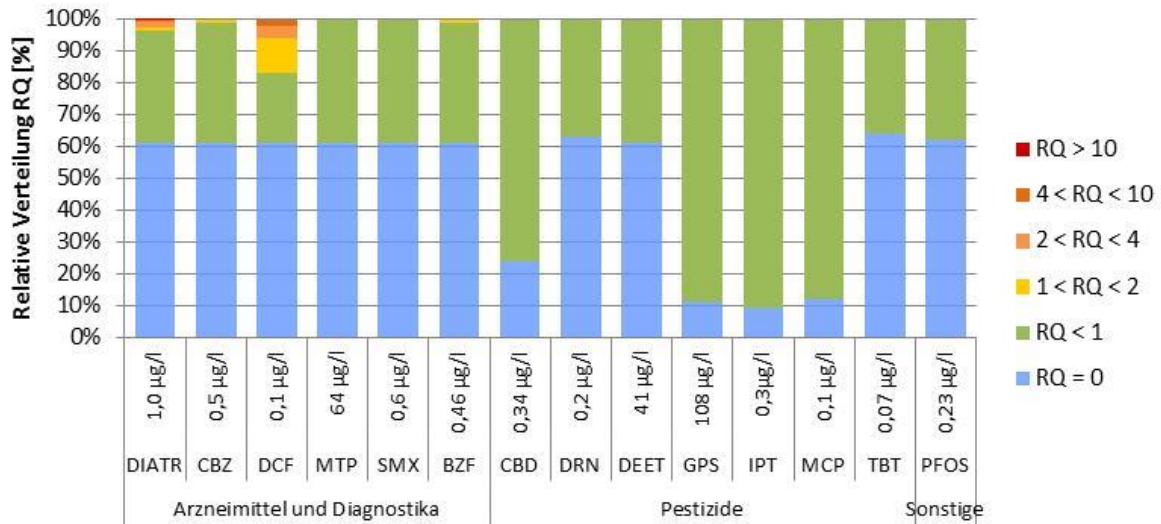


Abbildung 3: Relative Verteilung von RQ auf die abgebildeten Fließkilometer bei MQ

Die RQ-Karte für DCF bei mittlerem Niedrigwasserabfluss (MNQ) (Abbildung 4) zeigt flächendeckende Belastungen der Gewässer mit $RQ > 1$ auf. Nahezu alle Nebengewässer der Nahe mit Kläranlageneinleitung sind davon betroffen.

Das DCF-Konzentrationsprofil des Nebengewässersystems Lauter, Glan (Abbildung 5) weist zwar einen kontinuierlich abnehmenden Verlauf auf, die DCF-Konzentration beträgt allerdings entlang der gesamten Fließstrecke $> 0,1 \mu\text{g/L}$. Auch die Nahe hat bei MNQ über weite Strecken Konzentrationen, die deutlich über $0,1 \mu\text{g/L}$ liegen. An der Mündung der Nahe in den Rhein wird das angesetzte Qualitätsziel um den Faktor 3 überschritten.

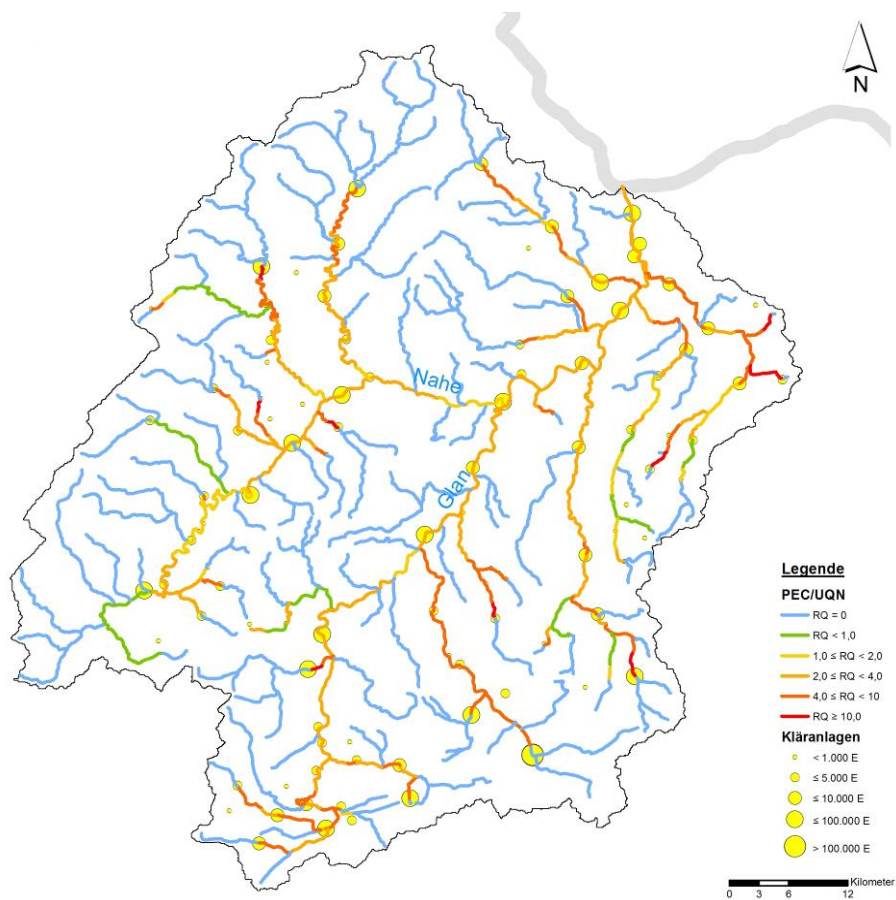


Abbildung 4: RQ-Karte für das Naheinzugsgebiet DCF bei MNQ

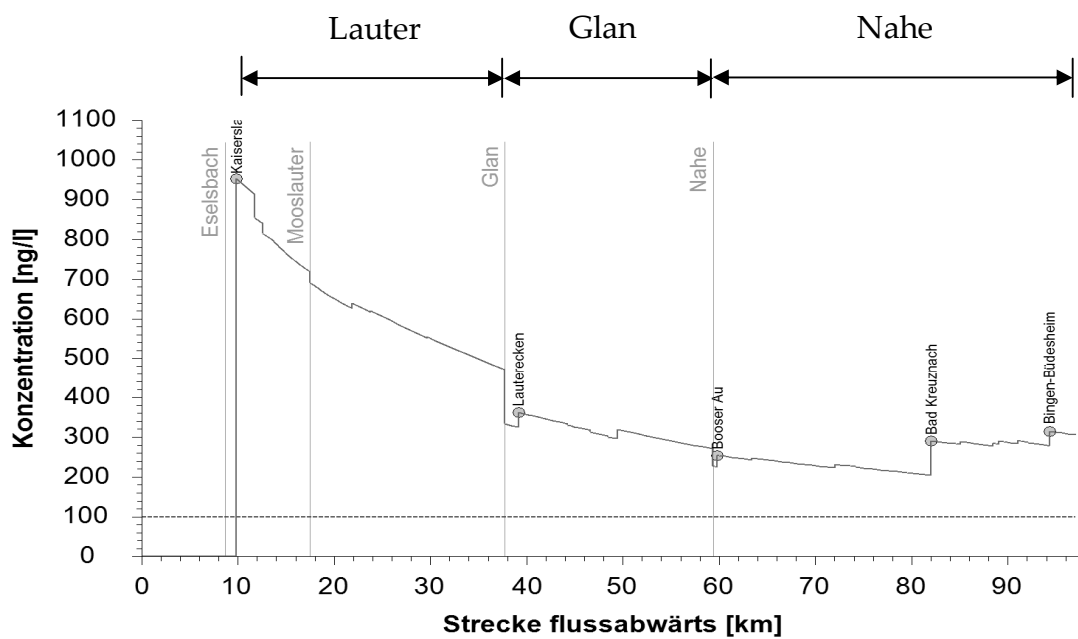


Abbildung 5: Profil der simulierten DCF-Konzentration für das Gewässersystem Lauter, Glan und Nahe bei MNQ

Der Substanzvergleich für den IST-Zustand (Abbildung 6) zeigt, dass bei MNQ neben DCF und DIATR auch die pharmazeutischen Wirkstoffe CBZ und BZF in Bereiche mit deutlichen Überschreitungen der jeweils angesetzten Qualitätskriterien kommen. Infolge Aufkonzentration ergibt sich für DCF bei MNQ in etwa 75 % der abwasserbeeinflussten Gewässerabschnitte eine mindestens 2-fache Überschreitung des zur Risikobewertung angesetzten PNEC-Wertes. Nur 12,7 % der abwasserbeeinflussten Gewässerabschnitte weisen $RQ < 1$ auf. Lediglich für MTP und SMX kommt es auch bei MNQ zu keiner Bewertung mit $RQ > 1,0$.

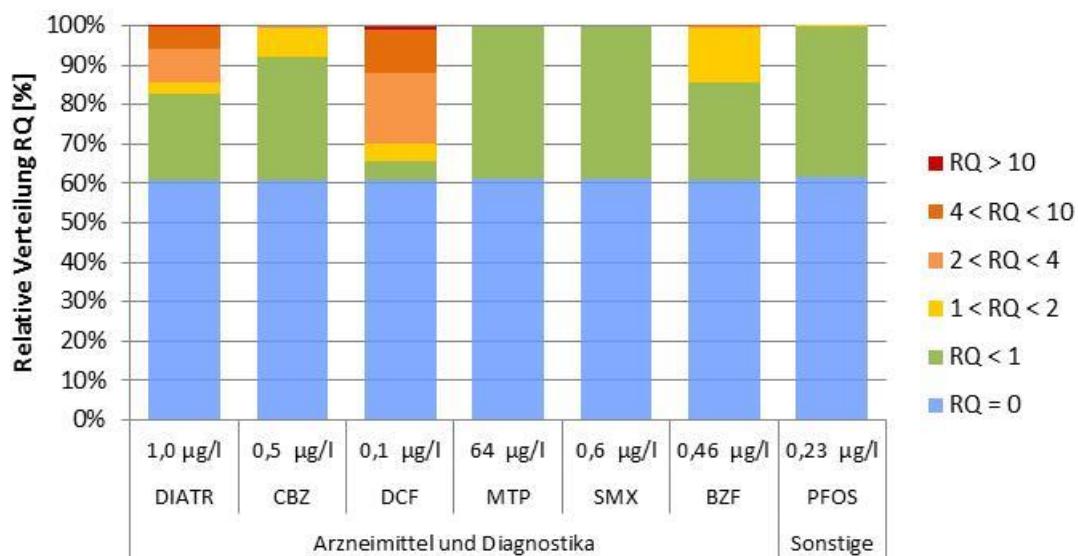


Abbildung 6: Relative Verteilung von RQ auf die abgebildeten Fließkilometer bei MNQ

3.2.2 Einfluss von Mischwasserüberläufen

Bei der Stoffflusssimulation wurde für MQ ein mittlerer Stoffeintrag durch Mischwasserüberläufe berücksichtigt, der sich bei schmutzwasserbürtigen Substanzen aus dem entlasteten Schmutzwasseranteil bezogen auf die mittlere Trockenwetterwassermenge errechnet (Knerr et al. 2015a). Für jede Kläranlageneinleitung wurde im Modell entsprechend der berechneten Entlastungsrate ein erhöhter Stoffeintrag berücksichtigt. Es handelt sich demnach nicht um eine ereignisbezogene Simulation, sondern um die Betrachtung des Jahresmittels.

Im Projekt wurde die Entlastungsrate für zwei unterschiedliche Fraktionen berechnet. Es wurde unterschieden zwischen niederschlagsbürtigen Stoffen (Pestizide und Bau-Chemikalien) und Stoffen, die kontinuierlich im Schmutzwasser und somit schmutzwasserbürtig geführt werden (Arzneimittel und Diagnostika).

In Abbildung 7 ist das Konzentrationsprofil der Nahe für DCF, als Beispiel für eine schmutzwasserbürtige Substanz, mit und ohne Berücksichtigung von Mischwasserentlastungen dargestellt.

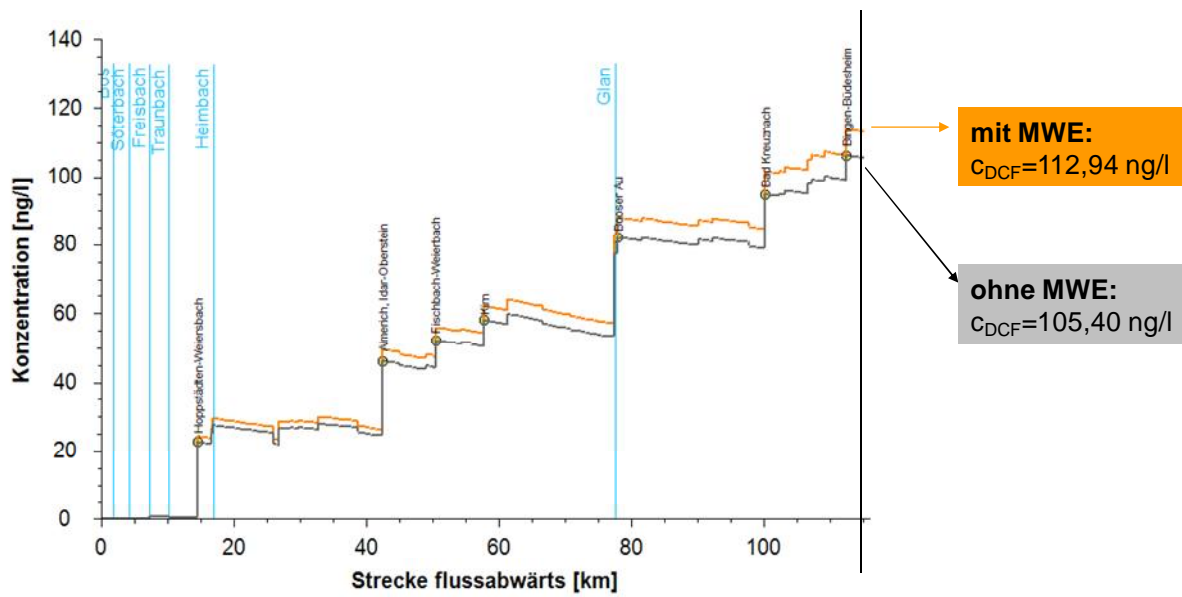


Abbildung 7: DCF-Konzentrationsprofil der Nahe, mit und ohne Berücksichtigung von punktuellen Mischwasserentlastungen

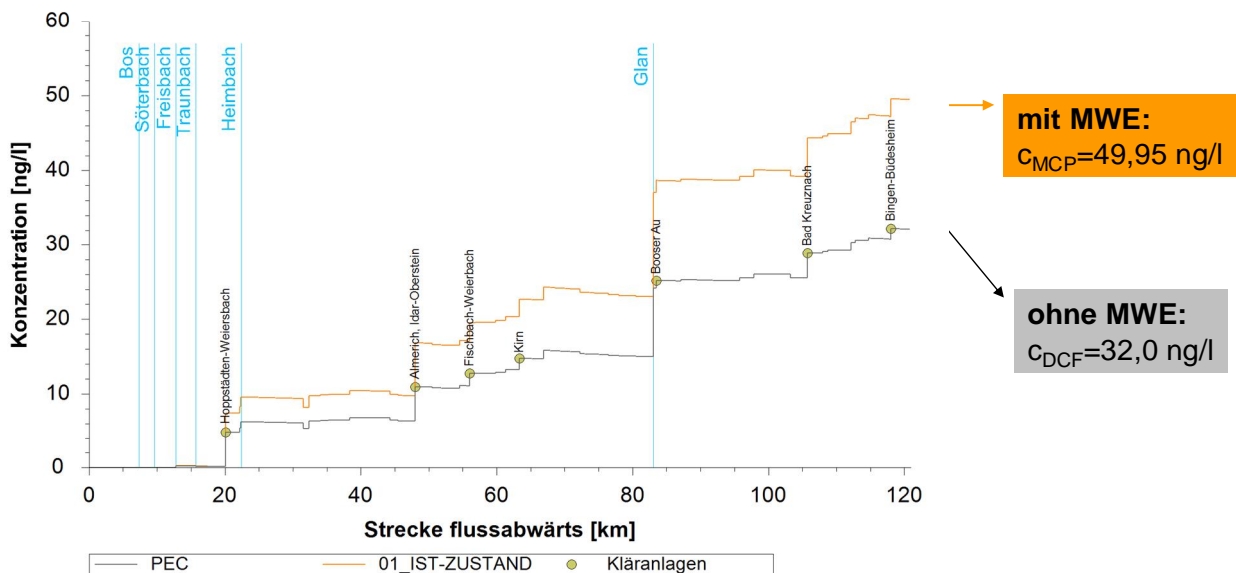


Abbildung 8: DEET-Konzentrationsprofil der Nahe, mit und ohne Berücksichtigung von punktuellen Mischwasserentlastungen

An der Mündung in den Rhein ergibt sich eine mittlere Konzentration von 113 ng/l bzw. eine kumulierte Fracht von 98,8 kg/a (vgl. Kapitel 3.2.1). Bei Vernachlässigung der Mischwasserüberläufe ergibt sich dagegen eine mittlere Konzentration von 105 ng/l, was einer Fracht von 92,2 kg/a entspricht.

Im Gegensatz zu DCF wird das Insektizid DEET als niederschlagsbürtiger Stoff aus den Siedlungsflächen angesehen und zu 44 % unbehandelt über Mischwasserüberläufe in die Gewässer eingeleitet. Weitere Einflüsse auf die Gewässerkonzentrationen, wie z. B. Abspülungen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, werden nicht berücksichtigt.

In Abbildung 8 ist die kumulierte Wirkung der Mischwasserentlastung auf die DEET-Konzentration in der Nahe dargestellt. Die Differenz der Gewässerkonzentration zur Berechnung ohne Mischwasserentlastungen beträgt demnach rd. 18 mg/l. Die Differenz der kumulierten Fracht beträgt 15,1 kg/a.

Es wird deutlich, dass signifikante Mengen an Mikroschadstoffen durch Mischwasserentlastungen in die Gewässer eingeleitet werden. Diese Ergebnisse stimmen gut mit Untersuchungen von Launay et al. (2015) überein.

3.3 Einfluss der Demografie

3.3.1 Demografische Entwicklung

Um den Effekt der Bevölkerungsentwicklung auf die Gewässerbelastung abschätzen zu können, wurden Daten zum Arzneimittelkonsum (Schwabe und Paffrath, 2012) mit demografischen Daten (Statistisches Landesamt, 2012) verschnitten (Knerr et al., 2015c).

Die Prognose der Bevölkerungsentwicklung im Naheinzugsgebiet weist für die Jahre 2030 bzw. 2050 einen Rückgang der Bevölkerungszahl von 11,5 % bzw. 22 % aus. Damit einher geht eine Verschiebung der Altersstruktur, mit einem zukünftig höheren Anteil an älteren Mitbürgern und Mitbürgerinnen (Abbildung 9) und einem höheren Durchschnittsalter.

Die Anzahl der jährlich pro Kopf verordneten Arzneimittel steigt für viele Arzneimittel mit zunehmendem Alter nahezu linear an (Schwabe und Paffrath, 2012; Knerr, 2013). Abbildung 10 zeigt, dass die daraus resultierende Entwicklung des Arzneimittelkonsums im Bilanzraum für verschiedene Arzneimittel unterschiedlich ist. Der DCF-Konsum wird bis 2050 infolge des demografischen Wandels kontinuierlich zunehmen. Dagegen resultiert für CBZ und SMX im gleichen Betrachtungszeitraum ein kontinuierlicher Rückgang des Verbrauchs. Für Substanzen, wie beispielsweise BZF und MTP, erfolgt nur mittelfristig eine Zunahme des Arzneimittelkonsums. In Abhängigkeit von der betrachteten Substanz kann folglich der prognostizierte Bevölkerungsrückgang den erhöhten Verbrauch der alternden Bevölkerung nicht mehr aus-

gleichem, wodurch höhere Konzentrationen an ausgeschiedenen Arzneimittelrückständen im Abwasser zu erwarten sind.

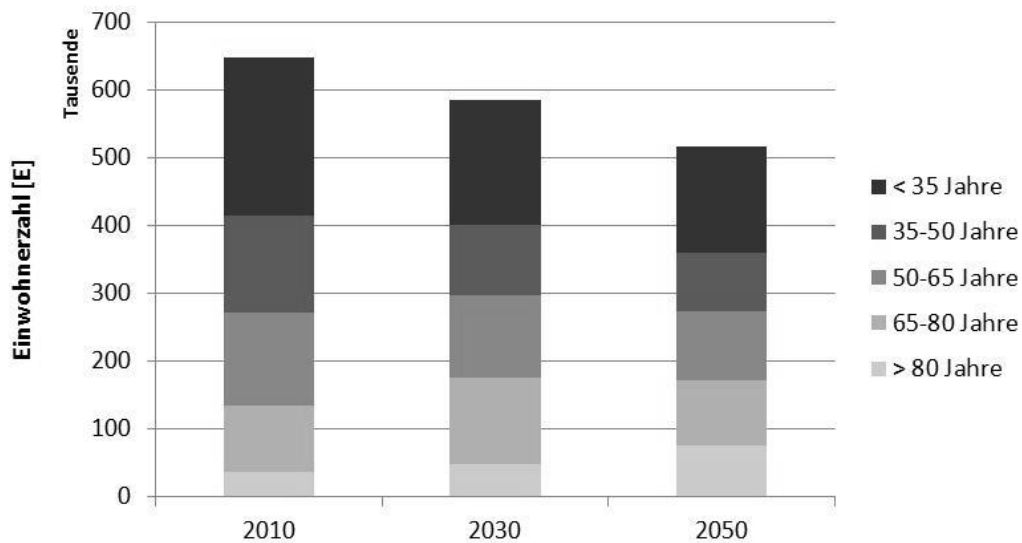


Abbildung 9: Entwicklung der Einwohnerzahlen im Einzugsgebiet der Nahe

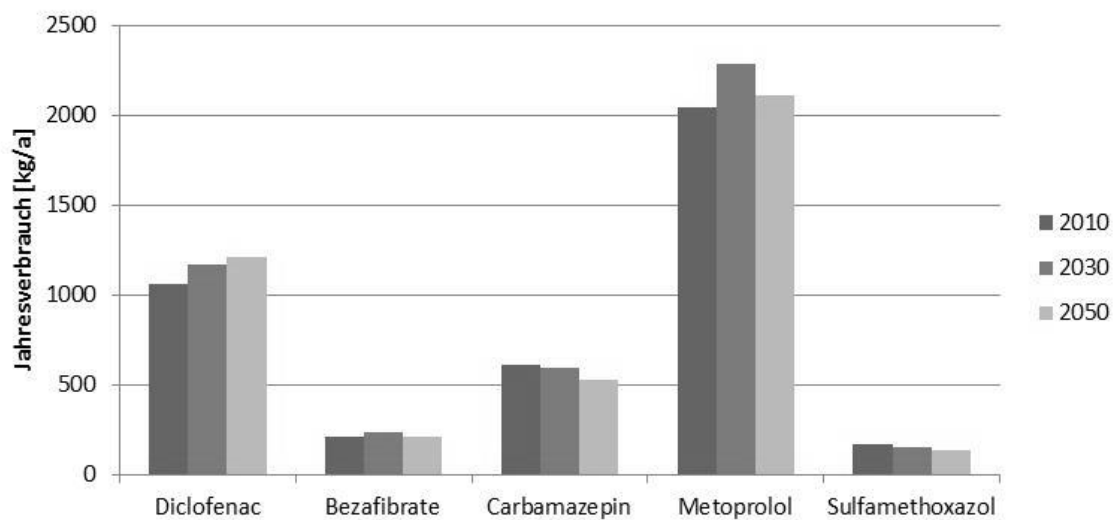


Abbildung 10: Entwicklung des Medikamentenverbrauchs im EZG der Nahe infolge des demografischen Wandels

3.3.2 Belastung für ausgewählte Gewässer

Exemplarisch werden an dieser Stelle die Auswirkungen auf die Gewässerbelastung für den Referenzparameter DCF für das Prognosejahr 2050 gezeigt. Dabei wird angenommen, dass keine Maßnahmen zur Eintragsminderung im Betrachtungszeitraum durchgeführt werden.

Anhand der Konzentrationsprofile für Lauter, Glan und Nahe (Abbildung 11 und 12) wird die Entwicklung der zu erwartenden mittleren Konzentrationen entlang der Fließstrecke deutlich. Die Gewässerbelastung ist über den gesamten betrachteten Fließweg höher. Die Auswirkung schwankt dabei in Abhängigkeit vom einmündenden Gewässer und der Kläranlagengröße. Die DCF-Konzentration liegt an der Mündung der Nahe in den Rhein ca. 10 % oberhalb des Status quo. Somit ist in Zukunft von einer Verschärfung der bereits jetzt zum Teil kritischen Belastung der Gewässer mit DCF auszugehen.

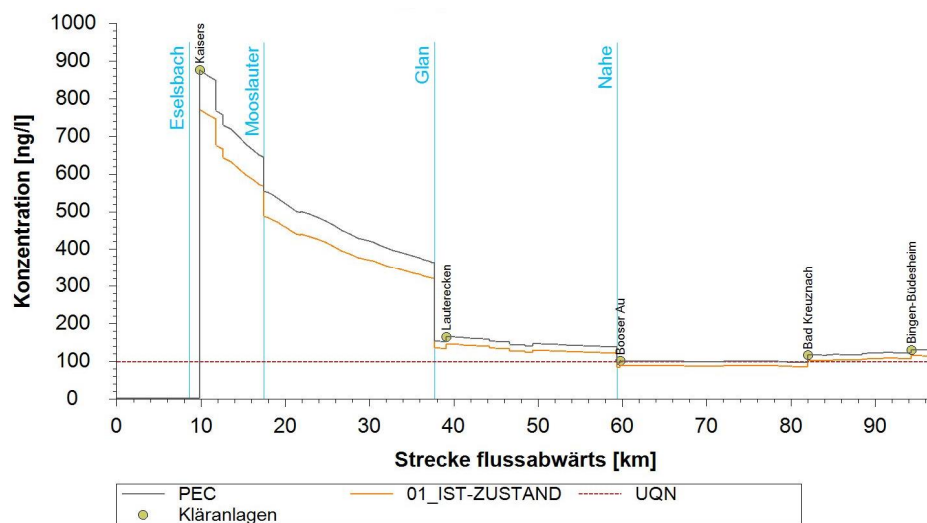


Abbildung 11: Profil der simulierten DCF-Konzentration für das Gewässersystem Lauter, Glan und Nahe für das Prognosejahr 2050 bei MQ

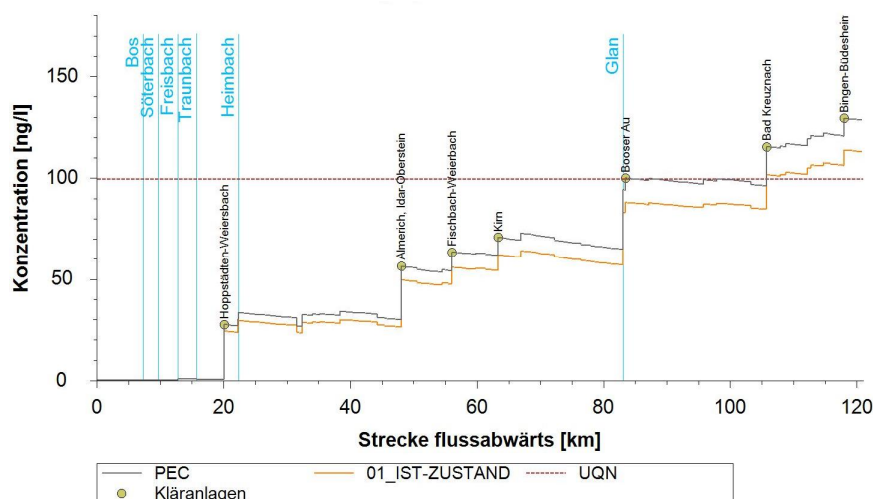


Abbildung 12: Profil der simulierten DCF-Konzentration für die Nahe für das Prognosejahr 2050 bei MQ

3.3.3 Substanzvergleich als Differenz zum Ist-Zustand

Für die betrachteten Arzneimittel stellt sich unter den angenommenen Randbedingungen, ähnlich wie im Ist-Zustand, die Situation insbesondere für DCF in Bereichen kritisch dar. Der Anteil der Fließkilometer mit einer Bewertung $RQ < 1$ nimmt bis zum Prognosejahr 2050 gegenüber dem Ist-Zustand leicht ab (- 1,8 %). Der Anteil der Fließkilometer mit einer Bewertung $RQ > 1$ nimmt folglich um das gleiche Maß zu (Tabelle 2). Etwa 82 % der betrachteten 1.515 Fließkilometer liegen für DCF unterhalb des angesetzten Qualitätskriteriums von 0,1 µg/L. Etwa 18 % der gesamten abgebildeten Fließstrecke, entsprechend ca. 50 % der abwasserbeeinflussten Gewässerfließstrecke sind demnach kritisch belastet und weisen einen Handlungsbedarf auf. Im Vergleich zum Ist-Zustand verschlechtert sich die Situation auch für BZF (+ 0,2 % Gewässeranteil mit $RQ > 1$).

Dennoch wird deutlich, dass bei qualitätsbezogener Bewertung der Gewässerbelastung nur geringe Änderungen der Gewässeranteile mit einer unkritischen bzw. kritischen Belastung zu erwarten sind.

Bezogen auf die in den Rhein emittierte Jahresfracht ist demgegenüber bis zum Jahr 2050 mit einer deutlichen Zunahme für DCF von 13,5 kg/a (13,7 %) zu rechnen sowie mit geringen Zunahmen für MTP (5,9 kg/a bzw. 3,2 %) und BZF (2,0 kg/a bzw. 2,2 %). Die emittierten Frachten für CBZ (- 10,5 kg/a bzw. - 14,8 %) und SMX (- 3,4 kg/a bzw. - 2,1 %) nehmen dagegen ab (Tabelle 2 und 3).

Tabelle 2: Prozentuale Verschiebung der Verteilung von RQ im Prognosejahr 2050 im Vergleich zum Ist-Zustand

Substanz	Qualitätsziel [µg/L]	Qualitätsbezogen [%]	Qualitätsbezogen [%]					
			RQ = 0	RQ < 1	1 ≤ RQ < 2	2 ≤ RQ < 4	4 ≤ RQ < 10	RQ ≥ 10
DIATR	1,0	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
BZF	0,46	+ 2,2	0,0	- 0,2	+ 0,2	0,0	0,0	0,0
CBZ	0,50	- 14,8	0,0	+ 0,2	- 0,2	0,0	0,0	0,0
DCF	0,10	+ 13,7	0,0	- 1,8	+ 1,2	- 0,1	+ 0,6	0,0
MTP	64	+ 3,2	- 0,1	+ 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
SMX	0,60	- 2,1	+ 0,1	- 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 3: Vergleich der fracht- und qualitätsbezogenen Unterschiede

Substanzen	Frachtbezogen *			Qualitätsbezogen		
	Jahresfracht Nahe an der Rheinmündung			Gewässeranteil (von 1.515 km) mit RQ < 1		
	IST-Zustand	Demografie 2030	Demografie 2050	IST-Zustand	Demografie 2030	Demografie 2050
	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	% (RQ<1)	% (RQ<1)	% (RQ<1)
CBZ	81,4	79,3	70,9	99,8	99,8	100
DCF	98,8	108,8	112,4	83,6	82,4	81,8
MTP	179,7	200,5	185,6	100	100%	100
SMX	17,4	15,7	14,0	100	100%	100
BZF	92,7	105,2	94,7	99,8	99,2	99,6

* Prozentuale Veränderung der Fracht an der Mündung zum Rhein im Vergleich zum Ist-Zustand

Der Vergleich mit dem Status quo zeigt, dass sich unter den betrachteten Substanzen die Maßnahmen auf DCF konzentrieren sollten. Trotz des Rückgangs der Bevölkerungszahl wirkt sich die demografische Entwicklung insgesamt negativ auf die Gewässerqualität aus. Der Einfluss der sich ändernden Altersstruktur dominiert diesen Effekt und führt für die Wirkstoffe DCF und BZF zu einer leichten Verschlechterung der Gewässerbelastung.

4 Schlussfolgerungen

Mit der georeferenzierten Stoffflussmodellierung kann die Belastung der Fließgewässer im Einzugsgebiet der Nahe mit Mikroschadstoffen flächendeckend abgebildet und bewertet werden.

Wie aus den Ergebnissen der Stoffflussmodellierung hervorgeht, können die über Konzentrationswerte zur Umweltqualitätsnorm vorgegebenen Gewässerqualitätsziele im Einzugsgebiet der Nahe unter Berücksichtigung verschiedener stoffspezifischer Qualitätskriterien zum Schutz der aquatischen Umwelt oft nicht erreicht und auch zukünftig nicht eingehalten werden. Die Analyse des Ist-Zustandes zeigt dabei bei mittlerem Abfluss (MQ) im Gewässernetz der Nahe, insbesondere hinsichtlich der Belastung mit Amidotrizoesäure und Diclofenac einen deutlichen Handlungsbedarf.

Etwa 45 % der im Modell abgebildeten abwasserbeeinflussten Fließgewässerstrecken weisen bei MQ Diclofenac-Konzentrationen auf, die höher als der derzeit diskutierte UQN-Vorschlag von 0,1 µg/L sind. Amidotrizoesäure wird dagegen nur in etwa 10 % der im Modell abgebildeten abwasserbeeinflussten Fließgewässerstrecken mit Konzentrationen größer als 1,0 µg/L (Gesundheitlicher Orientierungswert) ermittelt, allerdings ergeben sich mit 23,9 µg/L die höchsten Konzentrationen im Ist-Zustand. Auch andere Arzneimittel wie Carbamazepin und Bezafibrat überschreiten bei hinterlegtem MQ die angesetzten Qualitätsziele. Die davon betroffenen Gewässerabschnitte machen aber weniger als 1 % des abwasserbeeinflussten Fließgewässernetzes aus.

Bei Niedrigwasserabfluss (MNQ) im Gewässernetz können entsprechend den Ergebnissen der Simulation im Ist-Zustand sogar Belastungszustände auftreten, die akut toxisch auf Gewässerorganismen wirken könnten. Die Situation ergibt für Diclofenac in etwa 75 % und für Amidotrizoesäure in etwa 40 % der abwasserbeeinflussten Gewässerabschnitte eine mindestens 2-fache Überschreitung des jeweils angesetzten Qualitätskriteriums. Neben Diclofenac und Amidotrizoesäure weisen hierbei auch die pharmazeutischen Wirkstoffe Carbamazepin und Bezafibrat hohe Anteile der abwasserbeeinflussten Fließstrecken mit Überschreitung der jeweils angesetzten Qualitätsziele auf. Zwar sind die resultierenden Gewässerkonzentrationen aus humantoxikologischer Sicht derzeit noch unbedenklich, Trockenperioden mit Niedrigwasserabfluss können aber auch über längere Zeit anhalten. Dadurch können temporär kritische Zeiträume für Gewässerorganismen erreicht werden.

Die sich in den ländlichen Regionen von Rheinland-Pfalz abzeichnende demografische Entwicklung verschlechtert die oben beschriebene Situation teilweise, da substanzspezifisch der zukünftig erhöhte Arzneimittelkonsum der alternden Bevölkerung nicht durch den prognostizierten Bevölkerungsrückgang ausgeglichen werden kann. Fracht- wie auch qualitätsbezogen ist dabei mit einer Verschlechterung der Gewässersituation für Diclofenac, Bezafibrat und Metoprolol zu rechnen. Für Carbamazepin und Sulfamethoxazol können dagegen rückläufige Verbrauchsmengen erwartet werden.

Von den untersuchten Mikroschadstoffen ist Diclofenac am kritischsten zu bewerten und kann daher als Indikatorsubstanz für abwasserbürtige Mikroschadstoffe im Bilanzraum herangezogen werden.

Zusammenfassend zeigt die Analyse des Ist-Zustandes, dass eine Reduzierung der Einträge von Mikroschadstoffen in rheinland-pfälzische Gewässer aus Vorsorgegründen sowie im Sinne eines nachhaltigen Schutzes der natürlichen Wasservorkommen geboten ist. Hierzu werden in weiteren Arbeitsschritten verschiedene Maßnahmen zur Reduktion des Stoffeintrags simuliert. Neben Sekundärmaßnahmen (gezielte Mikroschadstoffelimination) wurden auch quellenbezogene Primärmaßnahmen (Vermeidung, Verminderung, Substitution etc.) im Modell implementiert und ihre

Auswirkung auf die Gewässerbelastung und Frachtreduktion berechnet und miteinander verglichen (vgl. Taudin et al., 2015).

Literatur

- Bergmann S. und Götz C. W. (2013): Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser, Flächendeckende Situationsanalyse der Gewässerbelastungen und Reduzierungsmöglichkeiten in Nordrhein-Westfalen, KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2013, 6(3), 139-144
- Kehrein N., Berlekamp J. und Klasmeier J. (2014): Modeling the fate of down-the-drain chemicals in whole watersheds: New version of the GREAT-ER software. Environ. Modell. Softw., 2014(64), 1-8
- Knerr, H. (2013): Wert- und Schadstoffmanagement in der Abwasserreinigung, Tagungsband „Siedlungswasserwirtschaft 20..40..60 - Herausforderungen & Perspektiven“, Schriftenreihe des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, Band 36, 91-119
- Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G., Kolisch G. und Taudien Y. (2015a): Das Projekt Mikro_N - Motivation und Vorgehensweise, Tagungsband Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen in Rheinland-Pfalz, Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, Bd. 39 (diese Ausgabe, S. 27-49)
- Knerr H., Kolisch G. und Jung T. (2015b): Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen in Rheinland-Pfalz, Wasser und Abfall, 2015, 17(1-2), 23-28
- Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G., Kolisch G. und Taudien Y. (2015c): Stoffflussmodellierung zur Abschätzung der Gesamtemissionen an Mikroschadstoffen in Oberflächengewässern. Tagungsband Aqua Urbanica 2015 und 90. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium, „Wasser - Schutz - Mensch“, 07. und 08. Oktober 2015, Stuttgart, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 225, 157-164
- Klasmeier J., Kehrein N., Berlekamp J., und Matthies M. (2011): Mikroverunreinigungen in oberirdischen Gewässern: Ermittlung des Handlungsbedarfs bei kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht. USF - Institut für Umweltsystemforschung Universität Osnabrück.
- Launay M., Droste F., Dittmer U. und Steinmetz H. (2015): Emittierte Spurenstoffströme von Kläranlage und Mischwasserentlastungen im Vergleich. Tagungsband Aqua Urbanica 2015 und 90. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium, „Wasser - Schutz - Mensch“, 07. und 08. Oktober 2015, Stuttgart, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 225, 143-156

- Oekotoxzentrum (2013): Vorschläge für akute und chronische Qualitätskriterien für ausgewählte schweizrelevante Substanzen (<http://www.oekotoxzentrum.ch>, 05.06.2013).
- OGewV (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429)
- Schwabe U. und Paffrath D. (2011): Arzneiverordnungs-Report 2010, Springer Medizin Verlag Berlin, Heidelberg
- Statistisches Landesamt (2012): Statistische Analysen - Rheinland-Pfalz 2060, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (Hrsg.), Nr. 25, 2012, Bad Ems
- Taudien Y., Kolisch G., Knerr H., Gretzschel O. und Schmitt T.G. (2015): Szenarienbetrachtung zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen. Tagungsband Mikroschadstoffe aus Abwasseranlagen in Rheinland-Pfalz, Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, Bd. 39 (diese Ausgabe, S. 69-89)
- UBA (2014): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer, Kurzbericht, Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA Texte 86/2104

Korrespondenz an:

Dr.-Ing. Henning Knerr
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern
Tel.: +49 631 205 3947
Fax: +49 631 205 3905
E-Mail: henning.knerr@bauing.uni-kl.de

Szenarienbetrachtung zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen

Y. Taudien, G. Kolisch

Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft, WiW mbH

H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel

tectraa - Zentrum für innovative AbWassertechnologien an der TU Kaiserslautern

Kurzfassung: Für das Einzugsgebiet der Nahe wurde ein Stoffflussmodell für Mikroschadstoffe erstellt. Die Simulation hat sich dabei als geeignetes Werkzeug herausgestellt, um eine flächendeckende Beurteilung des Gewässersystems durchzuführen. Bei einigen Substanzen besteht nach Analyse der vorhandenen Belastung demnach bereits heute Handlungsbedarf zum Schutz der Gewässer.

Der vorliegende Artikel beschreibt die Erarbeitung und Bewertung von Maßnahmen Szenarien unter Verwendung des Stoffflussmodells. Die Szenarien berücksichtigen dabei unterschiedliche Ansätze zur Reduzierung der Mikroschadstoff-Emissionen. Der Ausbau der Kläranlagen als „end-of-pipe“-Lösung wird ebenso berücksichtigt wie dezentrale Maßnahmen durch Sensibilisierung der Verbraucher, quellenorientierte Maßnahmen an Krankenhäusern oder vorsorgende Maßnahmen durch Reglementierungen.

Die Effekte der Maßnahmen in Bezug auf die Gewässersituation werden verglichen und bewertet. Im Ergebnis wird einerseits deutlich welche Maßnahmen für welche Substanzgruppe wirksam sind und andererseits wird der Nutzen stoff- und maßnahmenspezifisch sowohl frachtbezogen als auch qualitätsbezogen bewertet.

Key-Words: Mikroschadstoffe, Maßnahmen, 4. Reinigungsstufe, Szenarienbetrachtung und -analyse, Stoffflusssimulation, Gewässerbelastung

1 Einleitung

1.1 Szenarienbetrachtung im Projekt Mikro_N

Das Projekt Mikro_N¹ verfolgt das Ziel, die Belastung der Fließgewässer mit Mikroschadstoffen im Einzugsgebiet (EZG) der Nahe flächendeckend und nach vergleichbaren Kriterien zu beurteilen, Maßnahmenoptionen anhand einer Szenarienbetrachtung und -analyse abzuschätzen und Handlungsempfehlungen für Rheinland-Pfalz abzuleiten.

In dem vorliegenden Manuskript wird die Szenarienanalyse zu verschiedenen Handlungsoptionen vorgestellt, die jeweils eine Reduzierung der Mikroschadstoff-Emissionen in die Fließgewässer des Bilanzraums ermöglichen. Dabei wird beschrieben, wie die Maßnahmen in das Stoffflussmodell integriert wurden, welche Auswirkungen sie auf die Substanzparameter haben und welche Gewässerbelastung sich im Vergleich zum Status quo ergibt. Die Ausführungen knüpfen dabei an die Beschreibung der Motivation und Vorgehensweise im Projekt (Knerr et al., 2015a) und an die Situationsanalyse des IST-Zustandes (Knerr et al., 2015b) an.

1.2 Zusammenfassung der Ausgangssituation

Das gesamte EZG der Nahe wurde im Rahmen des Projektes Mikro_N als georeferenziertes Gewässernetz mit 1.515 Fließkilometern in ARC-GIS abgebildet. An allen Verzweigungspunkten und den Einleitstellen wurde das Flussnetz durch Knoten in Segmente unterteilt. Jedes dieser 991 Segmente wurde mit einem Abflusswert für mittleren Abfluss (MQ) und mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) versehen und einer Teileinzugsfläche mit Angabe der Nutzungsart zugeordnet. Ferner wurden alle 104 im EZG gelegenen Kläranlagen mit den dazugehörigen Mischwasserentlastungen und angeschlossenen Krankenhäusern georeferenziert abgebildet.

Über das in ARC-GIS implementierte Modellsystem GREAT-ER² (Vers. 4.1) wurde eine Stoffflusssimulation für 14 ausgewählte gebietsspezifische Referenzsubstanzen durchgeführt. Die Simulation berücksichtigt stoffspezifische Substanzdaten wie pro-Kopf-Verbrauchswerte, Ausscheidungsraten, Abbauleistungen in konventionellen Kläranlagen, Entlastungsraten über Mischwasser sowie Flächeneinträge über die Landwirtschaft. Zudem werden je nach Grad der Persistenz Verlust- und Abbauprozesse in den Oberflächengewässern einbezogen. Die Umweltkonzentrationen (PEC = predicted environmental concentration) werden von GREAT-ER unter Annahme eines Fließgleichgewichts mit Massenerhaltung für jeden Flussabschnitt berechnet.

¹ Relevanz, Möglichkeiten und Kosten einer Elimination von Mikroschadstoffen auf kommunalen Kläranlagen in Rheinland-Pfalz, aufgezeigt am Beispiel der Nahe

² Geography-Referenced Regional Exposure Assessment Tool for European Rivers (entwickelt an der Uni Osnabrück, Institut für Umweltsystemforschung)

Die auf diese Weise ermittelte aktuelle Gewässerbelastung (Status quo) zeigte, dass unter Berücksichtigung der substanzspezifischen Qualitätskriterien bei Einzelstoffen keine ausreichende Gewässerqualität erreicht werden kann. Die Auswirkungen der demographischen Entwicklung führen zudem bei den Arzneimittelwirkstoffen zu einer weiteren Verschlechterung der Situation. Dies ist die Ausgangssituation für die Untersuchung der weitergehenden Maßnahmenzenarien. (Knerr et al., 2015a, b)

1.3 Ausgewählte Szenarien

Die im Projekt Mikro_N untersuchten Szenarien sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Grundszenarien 1 & 2 entsprechen der vorhandenen sowie der zukünftigen Belastungssituation. Die Ergebnisse hierzu sind in Knerr et al. (2015b) näher beschrieben. Die darauf aufbauenden Maßnahmenzenarien 3 & 4 beinhalten einerseits technische „end of pipe“ - Lösungen durch den Ausbau vorhandener Kläranlagen und zum anderen auch mögliche Änderungen an den Randbedingungen, die den Stoffeintrag reduzieren.

Der Ausbau der Kläranlagen (Szenario 3) wird in drei Varianten untersucht und deckt damit verschiedene Abstufungen ab. Es werden entweder 2, 10 oder 36 Kläranlagen im EZG mit einer 4. Reinigungsstufe ausgestattet und die Auswirkungen auf die Gewässersituation mit dem Status quo verglichen. Die Änderungen der Randbedingungen (Szenario 4) gliedern sich ebenfalls in drei Varianten. Dabei werden unterschiedliche dezentrale, quellenorientierte bzw. präventive Maßnahmen berücksichtigt.

Tabelle 1: Simulierte Szenarien im Projekt Mikro_N

Nr.	Betrachteter Faktor	Beschreibung
SZ 1	Status quo	vorhandene Belastungssituation
SZ 2	Demographie	zukünftige Belastungssituation
SZ 3	Erweiterung um 4. Reinigungsstufe	
	a) GK 5 (> 100.000 EW)	Ausbau von 2 Kläranlagen
	b) GK 4 und 5 (> 10.000 EW)	Ausbau von insgesamt 36 Kläranlagen
	c) KA mit hoher Abwasserlast	Ausbau von 10 ausgewählten KA
SZ 4	Änderung der Randbedingungen	
	a) Krankenhäuser / Kliniken	Stoffstromtrennung/Teilstrombehandlung
	b) Sensibilisierung	Nutzerverhalten
	c) Landwirtschaft	Gesetzgeber
SZ 5	Kombinationen aus den Szenarien	

2 Maßnahmenzenarien und ihre Umsetzung im Stoffflussmodell

2.1 Szenario „Kläranausbau“

2.1.1 Auswahl der Kläranausbau für eine 4. Reinigungsstufe

Eine 4. Reinigungsstufe kann unter technischen Gesichtspunkten generell auf jeder konventionellen Kläranausbau integriert werden. Die Wahl der jeweiligen Verfahrenstechnik (Oxidation, Adsorption o. ä.) hängt von vielen örtlichen Einflussfaktoren ab und ist im Einzelfall näher zu untersuchen.

Aus Sicht der Gewässer ist sowohl Lage als auch Anzahl der Kläranausbau mit nachgerüsteter 4. Reinigungsstufe von Bedeutung. Die Auswahl der Anlagen kann dabei nach verschiedenen Kriterien, wie beispielsweise in Abhängigkeit der Anlagengröße, der Gewässervorbelastung oder dem Einzugsgebiet, erfolgen.

Die Kläranausbauauswahl bestimmt neben dem erreichten Nutzen (Entlastung der Gewässer) auch die resultierenden Kosten (Bau und Betrieb der zusätzlichen Anlagentechnik). Ziel der Untersuchung ist durch Berücksichtigung mehrerer Abstufungen die Grundlage für eine Kosten-Nutzen-Analyse zu schaffen. In der Simulation wurden dazu Kläranausbau in den folgenden drei Abstufungen um eine 4. Reinigungsstufe erweitert:

- SZ 3a: Ausbau der Kläranausbau der GK 5 (> 100.000 EW)
- SZ 3b: Flächendeckender Ausbau der Kläranausbau der GK 5 und 4 (> 10.000 EW)
- SZ 3c: Ausbau von ausgewählten Kläranausbau an Belastungsschwerpunkten

Die nachfolgende Grafik zeigt neben der Anzahl auch den damit berücksichtigten Anteil der Anschlusskapazität der 104 Kläranausbau im EZG.

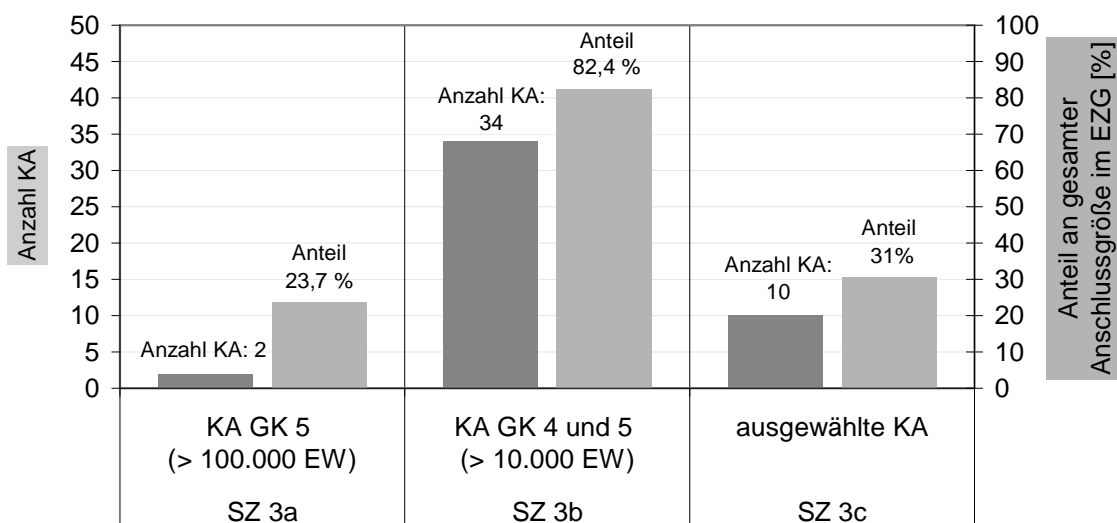


Abbildung 1: Überblick über die Anzahl der für einen Ausbau ausgewählten Kläranausbau und deren Anteil an der Gesamtkapazität im Einzugsgebiet

Für die Auswahl der Kläranlagen in Abhängigkeit der Belastungsschwerpunkte (SZ 3c) bietet sich zunächst die Auswertung der Abwasserlast der Gewässer an. Der entsprechende Abwasserlastplan für das Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Einwohnerwerte (Anschlussgröße) sind auf MQ bezogen, somit wird die Abwasserlast in E/(l/s) dargestellt. Bei der gewählten Skalierung bzw. Kategorisierung in 6 Stufen von 0 bis 171 E/(l/s) wird deutlich, dass einige Nebengewässer durchgehend eine niedrige Abwasserlast aufweisen; einige wenige dagegen eine sehr hohe.

Im Gegensatz zu der Abwasserlast hat die Stoffflusssimulation für den IST-Zustand aufgezeigt, dass auch Abschnitte mit niedrigem Abwasseranteil hohe Mikroschadstoff-Konzentrationen aufweisen können (vgl. dazu Knerr et al., 2015b). Eine gute Übereinstimmung mit der simulierten Diclofenac(DCF)-Konzentration ergibt sich insbesondere in den Oberläufen von Gewässern mit einer hohen Abwasserlast.

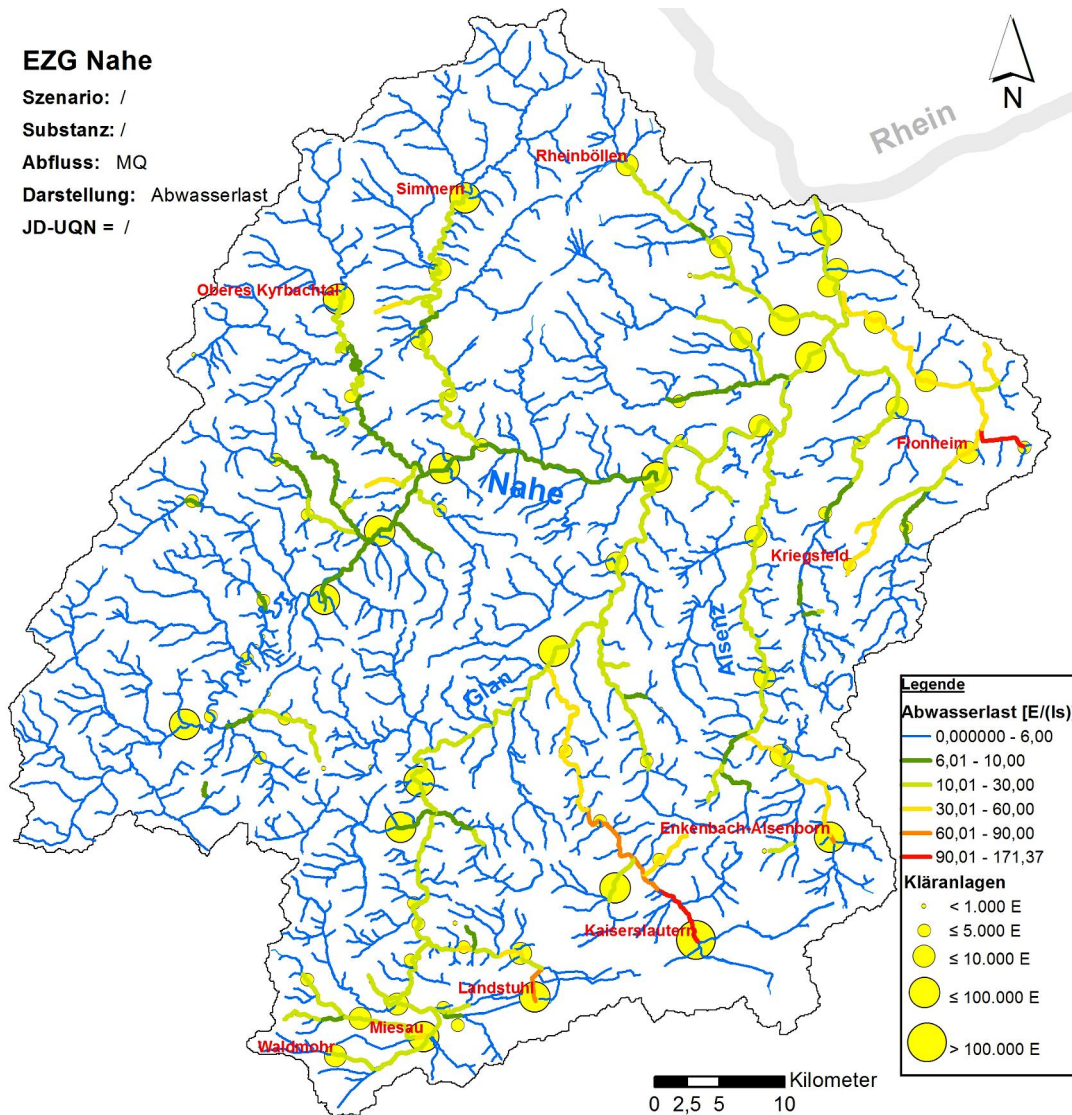


Abbildung 2: Abwasserlastplan für das EZG Nahe

Die Abwasserlastkarte liefert damit Hinweise zu Belastungsschwerpunkten, sie ist jedoch nicht als alleiniges Werkzeug zur Auswahl der Kläranlagen geeignet, auf denen 4. Reinigungsstufen ergänzt werden sollten. Daher wurde die Auswahl der Kläranlagen ergänzend anhand der Diclofenac-Belastungskarte getroffen. Auf diese Weise wurden 10 Kläranlagen identifiziert, die zusammen eine Anschlussgröße von 296.442 EW aufweisen und damit fast ein Drittel der Gesamtkapazität der Kläranlagen im Untersuchungsgebiet ausmachen.

2.1.2 Mikroschadstoff-Elimination in einer 4. Reinigungsstufe

Auf Basis einer Literaturrecherche wurde im Simulationsmodell eine substanzspezifische mittlere Reinigungsleistung für die 4. Reinigungsstufe hinterlegt. Dabei wurde jedoch nicht zwischen einer Adsorption oder einer Ozonbehandlung unterschieden, da die Unterschiede in der Reinigungsleistung vielfach nicht erkennbar sind. Die angesetzte Reinigungsleistung (Tabelle 2) bezieht sich auf den Zulauf der 4. Reinigungsstufe. Demnach kommt die Abbauleistung der konventionellen biologischen Abwasserbehandlung zur Bewertung der Gesamtelimination hinzu.

Tabelle 2: Elimination für die im Modell integrierten weitergehenden Reinigungsstufen

Gruppe	Substanz	konventionelle KA (Bezug Zulauf KA)	4. Reinigungsstufe (Bezug Zulauf 4. RS)
Pharmaka	Amidotrizoesäure	5,0 % ¹⁾	10,0 % ⁷⁾
	Carbamazepin	5,0 % ¹⁾	90,0 % ⁷⁾
	Diclofenac	55,0 % ²⁾	85,0 % ^{7), 8)}
	Metoprolol	23,0 % ¹⁾	90,0 % ⁷⁾
	Sulfamethoxazol	60,0 % ¹⁾	60,0 % ²⁾
	Bezafibrat	61,0 % ²⁾	75,0 % ²⁾
Pestizide	Carbendazim	4,0 % ²⁾	75,0 % ²⁾
	DEET	55,0 % ³⁾	75,0 % ³⁾
	Diuron	20,0 % ⁴⁾	65,0 % ²⁾
	Glyphosat	50,0 % ⁵⁾	30,0 % ⁵⁾
	Isoproturon	15,0 % ⁴⁾	60,0 % ²⁾
	Mecoprop	22,0 % ²⁾	60,0 % ²⁾
	Terbutryn	44,0 % ⁶⁾	65,0 % ²⁾
Sonstige	PFOS	30,0 % ¹⁰⁾	50,0 % ⁹⁾

QUELLEN

- 1) Klasmeier et al. (2011)
- 2) Abbelgen und Siegrist, (2012), (Hinweis: Minimal- und Maximalwerte wurden gemittelt)
- 3) Schrader, (2007)
- 4) Dimitrova et al. (2013)
- 5) Annahme auf Basis von Monnig et al. (1980)
- 6) Margot et al. (2011)
- 7) Götz et al., (2012)
- 8) MUKE-BW (2012)
- 9) Pinnekamp und Merkel (2008)
- 10) Unveröffentlichte Messwerte aus Bornemann et al. (2012)

2.2 Szenario „Änderung der Randbedingungen“

2.2.1 Maßnahmen an relevanten Indirekteinleitern (Krankenhäuser)

Neben Privathaushalten sind Krankenhäuser wichtige Eintragsquellen für Arzneimittelwirkstoffe und insbesondere für Diagnostika. Über die Krankenhausabwässer gelangen pharmazeutische Wirkstoffe in hohen Konzentrationen zu den Kläranlagen. Zudem kommt es zu einer regionalen Umverteilung, so dass Kläranlagen mit angeschlossenen Krankenhäusern oft höher belastet sind. Konkrete Maßnahmen an Krankenhäusern lassen sich nach Seidel et al. (2013) und UBA (2014) grob in technische (Teil- oder Vollstrombehandlung) und organisatorische bzw. logistische Bereiche (Informationen, Controlling, Urin-Separation) unterteilen.

Für das Stoffflussmodell wurde als Stellvertreter für Einleitungen aus Krankenhäusern das Röntgenkontrastmittel (RKM) „Amidotrizoesäure“ (DIATR) ausgewählt. Es handelt sich um einen wasserlöslichen iodhaltigen Wirkstoff, der in der Radiologie angewendet wird. Die Ausscheidungsrate liegt wie bei anderen Kontrastmitteln (z. B. Iopamidol) bei nahezu 100 % (Seidel et al., 2013). Zugleich kann nur eine geringe Reinigungsleistung in den bestehenden Pilotanlagen zur erweiterten Abwasserreinigung nachgewiesen werden (u. a. Nahrstedt et al., 2014; Arge „MIKROMEM“, 2012)

Da Röntgenkontrastmittel in der Regel nur kurzzeitig bzw. einmalig pro Patient angewendet werden und nach etwa 12 – 24 h nahezu unverändert ausgeschieden werden, eignen sich insbesondere Maßnahmen der Stoffstromtrennung zur Reduzierung der Emissionen. Diese können bei ambulanter Anwendung durch mobile „Urin-Sammelbehälter“ erfolgen (Abbildung 3) oder bei stationärer Behandlung durch „Trenntoiletten“ (Abbildung 4). In beiden Fällen wird der RKM-haltige Urin separat erfasst und kann getrennt entsorgt werden.



Abbildung 3: Urinbehälter zur Entsorgung über den Hausmüll (Adamczak et al., 2015)

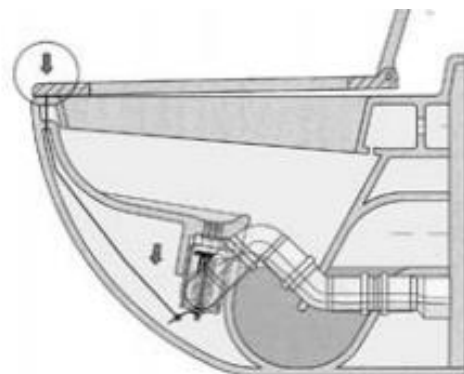


Abbildung 4: Funktionsschema einer Trenntoilette (Pineau et al., 2005)

Die in ersten Untersuchungen festgestellten Erfassungsraten schwanken bei diesen Maßnahmen allerdings zwischen 7,6 % bis 98 % (UBA, 2014). Für die Simulation wird von einem sehr günstigen Fall ausgegangen (hoher Erfassungsgrad). Die Emission von Amidotrizoensäure über die Kläranlagen in den Kanal wird im Modell abschätzend um 90 % reduziert. Dies betrifft die Gesamtemission, d. h. auch der Anteil der Kontrastmittel die von ambulanten Patienten „zu Hause“ ausgeschieden werden.

2.2.2 Maßnahmen bei Verwendung/Einsatz (Sensibilisierung/Substitution)

Gemäß Götz & Keil (2007) gaben 16 % der Bevölkerung an, Restbestände von Arzneimitteln gelegentlich über die Toilette zu entsorgen. Eine Aufklärung zur sachgerechten Entsorgung der Altmedikamente erscheint daher angebracht.

Neben der Sensibilisierung der Bevölkerung kann auch eine Bewusstseinssteigerung der Ärzte und Apotheker dazu beitragen, die Emissionen von Arzneimittelreststoffen in den Wasserkreislauf zu verringern. So können diese beispielsweise Altmedikamente annehmen, „grüne“ d. h. biologisch abbaubare Ersatzpräparate empfehlen oder ganz auf therapeutisch nicht erforderliche Arzneimittel verzichten (Adamczak et al., 2015).

Bisher gibt es noch keine Bilanzierung des Einflusses der beschriebenen Aufklärungskampagnen. Für die Simulation wird daher angenommen, dass in Summe eine Reduzierung des Verbrauchs um 20 % durch entsprechende Aufklärungskampagnen erreicht werden kann. Hierbei handelt es sich nur um eine Annahme ohne Anspruch auf genaue Quantifizierung.

2.2.3 Reglementierungen durch den Gesetzgeber

Pestizide bilden eine große Stoffgruppe mit vielen unterschiedlichen Anwendungen und Produktarten. Somit sind auch die Möglichkeiten zur Reduzierung der Verbrauchsmengen bzw. die Optionen zur Verringerung der Einträge in den Wasserkreislauf vielfältig.

Der größte Einfluss auf die Emissionen der Pestizide kann durch präventive Maßnahmen bereits bei den Zulassungsverfahren der chemischen Substanzen erfolgen. Neue Entwicklungen in der Gesetzgebung (EU-Biozid-Verordnung von 2012) berücksichtigen bereits diesen vorsorgenden Ansatz. Die Verwendung von Wirkstoffen mit besonders gefährlichen Eigenschaften wird untersagt.

Für das betrachtete Szenario wird vereinfacht angenommen, dass sich der Verbrauch durch Reglementierungen (Reduzierung der zugelassenen Aufwandmenge) pauschal um 50 % sowohl bei Anwendung in Siedlungsflächen als auch bei Anwendung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen reduziert.

2.3 Ableitung von Maßnahmenkombinationen

Neben der Betrachtung von Einzelmaßnahmen wird auch die Überlagerung mehrerer Maßnahmen untersucht. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wurden jedoch nur zwei Abstufungen gewählt, die sich an einer zeitlichen Realisierbarkeit orientieren. Eine Zusammenfassung der gewählten Kombination gibt Tabelle 3.

Die erste Stufe beinhaltet sowohl den Ausbau der großen Kläranlagen als auch die Erweiterung der nach Abwasserlast ausgewählten Kläranlagen. Hierbei wird von einem Zeithorizont von ca. 5-15 Jahren ausgegangen. Somit wird der Kläranlagenausbau mit der demographischen Entwicklung bis zum Jahr 2030 überlagert. Des Weiteren werden auch die angenommenen Effekte von Aufklärungskampagnen und Maßnahmen an den Krankenhäusern berücksichtigt.

In der zweiten Stufe werden zusätzlich zu den bereits ausgebauten Kläranlagen auch zuvor nicht erfasste Anlagen mit einer Ausbaugröße > 10.000 EW erweitert. Hierbei wird jedoch von einem langfristigen Zeithorizont ausgegangen, weswegen die demographische Entwicklung für das Jahr 2050 berücksichtigt wird.

Tabelle 3: Gestufte Kombination der untersuchten Szenarien

Szenarienkategorie	Mittelfristig (5-15 Jahre)	Langfristig (15-30 Jahre)
4. Reinigungsstufen	GK 5 ausbauen (SZ 3a)	
	KA mit hoher Abwasserlast ausbauen (SZ 3c)	
	-	GK 4 und 5 ausbauen (SZ 3b):
Demographie	Demographie 2030 (SZ 2a)	Demographie 2050 (SZ 2b)
Krankenhäuser	Maßnahmen an Krankenhäusern (SZ 4b)	
Sensibilisierung	Änderung Nutzerverhalten (SZ 3c)	
Landwirtschaft	Reglementierung Pestizide (SZ 3d)	

3 Ergebnisse und Bewertung der Szenarien

3.1 Effekte durch die Erweiterung der bestehenden Kläranlagen

Quantitative Bewertung über die reduzierte Gesamtfracht

Der Vergleich der Kläranlagen-Szenarien erfolgt zunächst über die resultierende Jahresfracht an der Rheinmündung, welche der Gesamtemission aus dem Bilanzraum entspricht. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt zusammenfassend die entsprechenden Frachten der untersuchten Substanzen und die jeweilige Differenz zum IST-Zustand.

Durch den Ausbau der zwei großen Kläranlagen der GK 5 kann die Fracht der 14 Substanzen im Mittel bereits um 11 % reduziert werden. Die Diclofenac-Fracht wird dabei von 98,8 kg/a auf 69,9 kg/a reduziert, was einer Verminderung um 29 % entspricht. Bei Ausbau aller KA der GK 5 & 4 steigt die mittlere Reduktion der untersuchten Substanzen auf 37 %. Für Diclofenac ergibt sich mit 33,8 kg/a sogar eine Verminderung um 66 %.

Tabelle 4: Frachtbezogener Vergleich (Jahresfracht der Nahe an der Rheinmündung)

		Status quo	4. Reinigungsstufe			Differenz		
		SZ 1	SZ 3a	SZ 3b	SZ 3c	SZ 3a	SZ 3b	SZ 3c
		kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	%	%	%
Pharmaka	Amidotrizoessäure	779,1	738,4	709,0	756,8	5 %	9 %	3 %
	Carbamazepin	81,4	79,5	6,1	79,4	2 %	92 %	2 %
	Diclofenac	98,8	69,9	33,8	80,8	29 %	66 %	18 %
	Metoprolol	179,7	138,0	57,0	133,8	23 %	68 %	26 %
	Sulfamethoxazol	17,4	14,7	9,3	15,3	16 %	47 %	12 %
	Bezafibrat	92,7	74,8	40,0	72,8	19 %	57 %	21 %
Pestizide	Carbendazim	4,5	4,1	3,3	4,1	9 %	27 %	10 %
	DEET	43,3	38,3	28,6	37,8	12 %	34 %	13 %
	Diuron	8,7	7,8	6,1	7,8	10 %	29 %	10 %
	Glyphosat	123,8	119,0	109,3	119,6	4 %	12 %	3 %
	Isoproturon	25,3	24,7	23,5	24,6	2 %	7 %	3 %
	Mecoprop	16,8	15,7	13,6	4,1	6 %	19 %	76 %
	Terbutryn	3,6	3,2	2,5	3,3	10 %	30 %	7 %
PFOS		13,8	12,7	10,7	12,6	8 %	23 %	9 %

Mittelwert (14 Substanzen)

11 % 37 % 15 %

Qualitative Bewertung über den Risikoquotienten (RQ)

Exemplarisch für Diclofenac (DCF) zeigt Abbildung 5 die simulierten Risikoquotienten ($RQ = \text{PEC} / \text{Qualitätskriterium}^3$) für das gesamte Einzugsgebiet bei Ausbau der 10 nach Belastungssituation ausgewählten Kläranlagen (SZ 3c). Die ausgebauten Anlagen sind in der Abbildung beschriftet. Eine Überschreitung des angesetzten Qualitätskriteriums für DCF ($0,1 \mu\text{g/l}$) wird in der Nahe durchgängig vermieden. In der Lauter kommt es jedoch bis zur Mündung in den Glan zu einer Überschreitung.

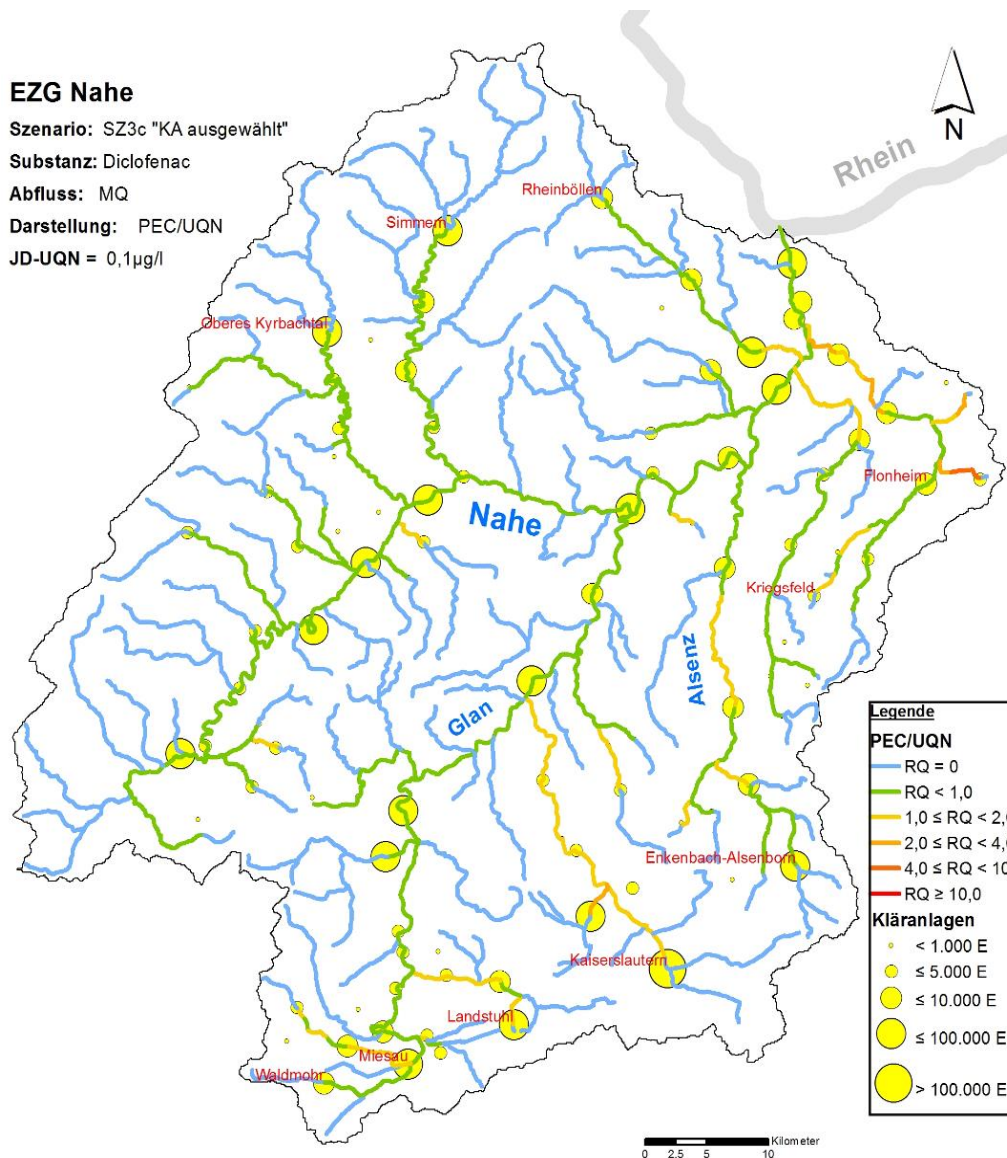


Abbildung 5: Risikoquotient für Diclofenac bei Ausbau von 10 ausgewählten Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe

³ Die Umweltqualitätsnorm für den Jahresdurchschnitt (JD-UQN) liegt nicht für alle betrachteten Substanzen vor. Daher wurde für die Risikobewertung z. T. auch der PNEC oder GOW-Wert herangezogen (vgl. Knerr et al., 2015a).

Bei Ausbau von 34 Kläranlagen der GK4 & 5 (SZ 3b) beschränkt sich die Überschreitung in der Lauter dagegen auf einen sehr kurzen Abschnitt. Insgesamt wird die Diclofenac-Konzentration im Vergleich zum IST-Zustand in 12,2 % der modellierten Fließkilometer durch den Ausbau der 34 Kläranlagen zusätzlich unter das angesetzte Qualitätskriterium gebracht. Dies entspricht ca. 185 km Gewässerlänge mit $RQ < 1$.

Die nachfolgende Tabelle 5 fasst den zuvor nur für Diclofenac erfolgten qualitativen Vergleich für alle 14 untersuchten Substanzen zusammen. Trotz der für alle Substanzen verringerten emittierten Frachten, kann neben Diclofenac nur bei Carbamazepin eine nennenswerte Verbesserung der Risikobewertung festgestellt werden.

Bei Amidotrizoesäure reicht die Elimination der im Modell implementierten 4. Reinigungsstufen nicht aus, um größere Verbesserungen zu erzielen. Im Falle von Glyphosat ergeben sich die Verbesserungen lediglich für den optional gewählten strengen Qualitätswert von 0,1 µg/l.

Insofern hängt die Verbesserung der Risikobewertung und damit der qualitative Effekt des Szenarios neben den ausgebauten Kläranlagen, der angesetzten Reinigungsleistung insbesondere von den angesetzten Qualitätskriterien ab.

Tabelle 5: Vergleich zum IST-Zustand für SZ 3b - KA GK 5+4 (> 10.000 EW)t

Vergleich zum IST-Zustand für SZ 3b - KA GK 5+4 (> 10.000 EW)t			Frachtbezogen ⁽¹⁾		Qualitätsbezogen ⁽²⁾					
Gruppe	Substanz	JD-UQN [µg/l]	[kg/a]		RQ = 0 *	RQ < 1,0	1,0 mRQ < 2,0	2,0 mRQ < 4,0	4,0 mRQ < 10	RQ > 10,0
Pharmaka	Amidotrizoesäure	1,00 µg/l	-70,1	von 779,1	0,0%	+0,3%	-0,2%	+0,1%	-0,2%	0,0%
	Carbamazepin	0,50 µg/l	-75,2	von 814	+1,7%	-1,6%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
	Diclofenac	0,10 µg/l	-65,0	von 98,8	0,0%	+12,2%	-7,9%	-3,0%	-1,3%	+0,0%
	Metoprolol	64,00 µg/l	-122,7	von 179,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Sulfamethoxazol	0,60 µg/l	-8,1	von 17,4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Bezafibrat	0,46 µg/l	-52,7	von 92,7	0,0%	+0,2%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
Pestizide	Carbendazim	0,34 µg/l	-1,2	von 4,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	DEET	41,00 µg/l	-14,7	von 43,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Diuron	0,20 µg/l	-2,6	von 8,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Glyphosat	0,10 µg/l	-14,6	von 123,8	0,0%	+2,2%	-0,9%	-0,3%	-0,9%	-0,1%
		108,00 µg/l			0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Isoproturon	0,30 µg/l	-1,7	von 25,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Mecoprop	0,10 µg/l	-3,2	von 16,8	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Terbutryn	0,07 µg/l	-1,1	von 3,6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	

(1) = Differenz der Fracht an der Mündung zum Rhein (im Vergleich zur Ist-Situation)

(2) = Differenz der Risikobewertung in % von 1.515 km (im Vergleich zur Ist-Situation)

3.2 Effekte dezentraler/quellenorientierter/vorsorgender Maßnahmen

Dezentrale Maßnahmen an Krankenhäusern

Die folgende Grafik zeigt das Konzentrationsprofil des Röntgenkontrastmittels Amiodotrizoesäure für das Nebengewässersystem Lauter, Glan (Abbildung 6). Dargestellt ist die berechnete Konzentration im Status quo (helle Linie) und der Konzentrationsverlauf bei Umsetzung der Maßnahmen an den Krankenhäusern.

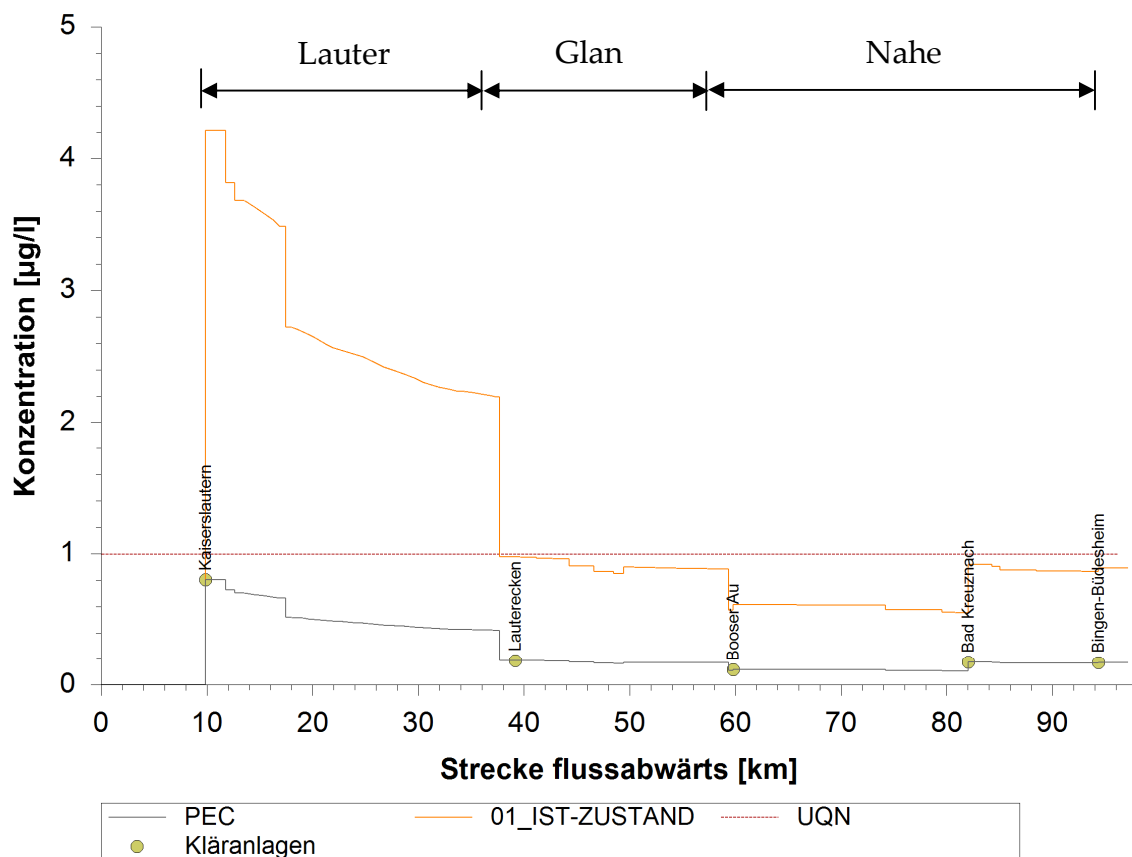


Abbildung 6: DIATR-Konzentrationsprofil der Lauter-Glan-Nahe (SZ 1, MQ)

Die abgeschätzte mögliche Reduzierung der Frachten um insgesamt 90 % durch Umsetzung von dezentralen Maßnahmen an den Krankenhäusern bewirkt, dass der JD-UQN von 1,0 µg/l über das gesamte hier betrachtete Gewässersystem unterschritten wird ($RQ < 1$). Die im Oberlauf durch das Krankenhaus stark mit RKM belastete Lauter könnte auf diese Weise deutlich entlastet werden.

Ähnliches kann flächendeckend für das EZG festgestellt werden. Lediglich unterhalb der KA Landstuhl, über die zwei größere Krankenhäuser ihr Abwasser in die Vorflut einleiten, kommt es dennoch auf einer kurzen Fließstrecke zu einer Überschreitung des angesetzten Qualitätskriteriums.

Quellenorientierte Maßnahmen bei den Verbrauchern

Durch die in diesem Szenario angenommene pauschale Reduzierung der Emissionen der Arzneimittel um 20 % verbessert sich die Gewässersituation erwartungsgemäß. Als Folge wird die angesetzte UQN von 0,1 µg/l in der Nahe über die gesamte Fließstrecke nicht überschritten. Allerdings reicht der gewählte Anteil allein nicht aus, um flächendeckend eine Risikobewertung für Diclofenac mit $RQ < 1$ zu erreichen. In Summe werden durch die um 20 kg/a verminderte Emission 5 % (= 76 km) des gesamten EZG zusätzlich unter das Qualitätskriterium gebracht.

Tabelle 6: Vergleich zum IST-Zustand. Differenz der Fracht an der Rheinmündung und die daraus resultierende Verschiebung der RQ-Verteilung im Gewässer

Vergleich zum IST-Zustand für SZ 04b Nutzerverhalten			Frachtbezogen ⁽¹⁾		Qualitätsbezogen ⁽²⁾					
Gruppe	Substanz	JD-UQN [µg/l]	[kg/a]		RQ = 0*	RQ < 1,0	1,0 mRQ < 2,0	2,0 mRQ < 4,0	4,0 mRQ < 10	RQ > 10,0
Pharmaka	Carbamazepin	0,50 µg/l	-16,3	von 81,4	0,0%	+0,2%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
	Diclofenac	0,10 µg/l	-19,8	von 98,8	+0,2%	+4,9%	-3,9%	-0,5%	-0,7%	+0,0%
	Metoprolol	64,00 µg/l	-35,9	von 179,7	+0,3%	-0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Sulfamethoxazol	0,60 µg/l	-3,5	von 17,4	+0,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Bezafibrat	0,46 µg/l	-18,5	von 92,7	+0,2%	+0,0%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,0%

(1) = Differenz der Fracht an der Mündung zum Rhein (im Vergleich zur Ist-Situation)

(2) = Differenz der Risikobewertung in % von 1.515 km (im Vergleich zur Ist-Situation)

Vorsorgende Maßnahmen durch Reglementierungen des Pestizideinsatzes

Die Auswirkungen vorsorgender Maßnahmen werden exemplarisch für den Wirkstoff Glyphosat dargestellt. Dazu zeigt Abbildung 7 die RQ-Karte des Ist-Zustandes und Tabelle 7 die Änderungen durch die abgeschätzte Reduktion der Verbrauchsmengen der Pestizide.

Die Belastungsschwerpunkte liegen in den Regionen mit intensiver Landwirtschaft im Nord-Osten des Einzugsgebietes. Daneben ergeben sich weitere hohe Belastungen der Lauter, der Alsenz und im Glan.

Für die Risikobewertung wurde beispielhaft ein Qualitätswert von 0,1 µg/l gewählt. Unter Annahme einer Reduzierung der Einträge um pauschal 50 % werden weitere 11,2 % des abgebildeten Gewässerfließnetzes, dies entspricht einer Fließlänge von etwa 170 km, auf einen Risikoquotienten kleiner 1,0 verbessert. Trotzdem verbleiben Bereiche mit erhöhten Gewässerbelastungen in den vorgenannten Regionen.

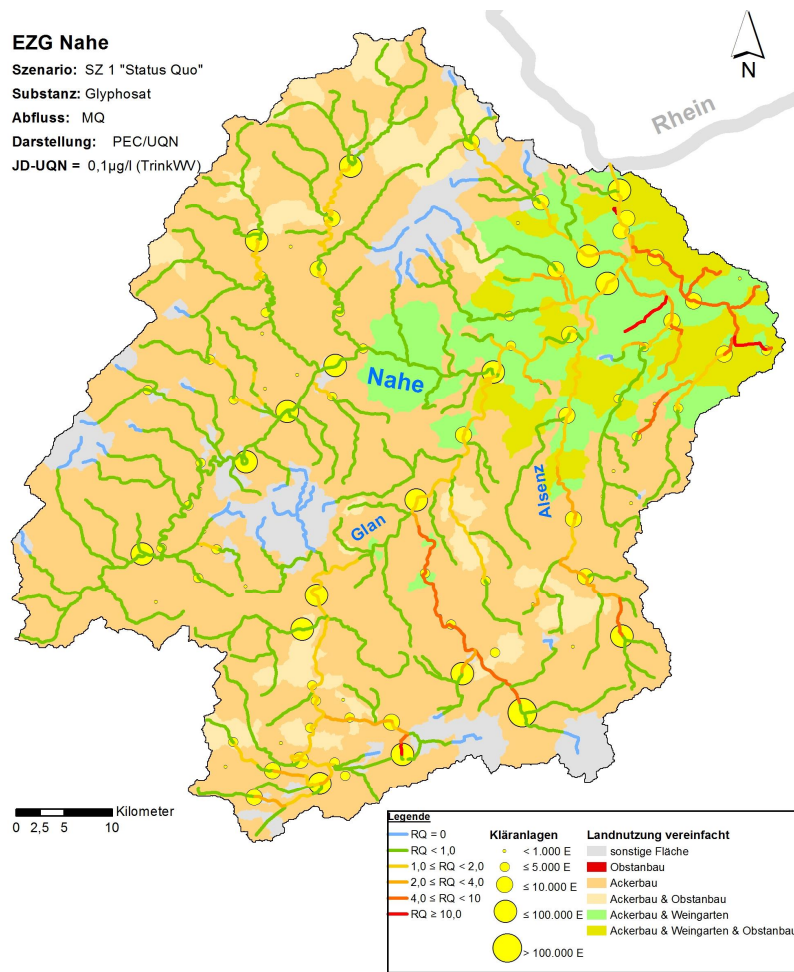


Abbildung 7: Risikoquotient für Glyphosat ohne Maßnahmen (SZ 1)

Tabelle 7: Vergleich zum IST-Zustand. Differenz der Fracht an der Rheinmündung und die daraus resultierende Verschiebung der RQ-Verteilung im Gewässer

Vergleich zum IST-Zustand für SZ 4c - Landwirtschaft			Frachtbezogen ⁽¹⁾		Qualitätsbezogen ⁽²⁾					
Gruppe	Substanz	JD-UQN [µg/l]	[kg/a]		RQ = 0 *	RQ < 1,0	1,0 mRQ < 2,0	2,0 mRQ < 4,0	4,0 mRQ < 10	RQ ≥ 10,0
Pestizide	Carbendazim	0,34 µg/l	-0,5 von 4,5	-8,5%	+8,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	DEET	41,00 µg/l	-39,3 von 43,3	-46,0%	+46,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Diuron	0,20 µg/l	-4,4 von 8,7	+0,5%	-0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Glyphosat	0,10 µg/l	-61,9 von 123,8	+3,0%	+11,2%	-9,4%	-0,8%	-3,3%	-0,7%	
		108,00 µg/l		+3,0%	-3,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
	Isoproturon	0,30 µg/l	-12,6 von 25,3	+1,5%	-1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Mecoprop	0,10 µg/l	-8,4 von 16,8	+3,5%	-3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Terbutryn	0,07 µg/l	-1,8 von 3,6	+1,4%	-1,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	

(1) = Differenz der Fracht an der Mündung zum Rhein (im Vergleich zur Ist-Situation)

(2) = Differenz der Risikobewertung in % von 1.515 km (im Vergleich zur Ist-Situation)

3.3 Effekte durch kombinierte Maßnahmen

Die Kombination der Maßnahmen hat insbesondere durch den umfangreichen Ausbau der Kläranlagen einen sehr positiven Effekt auf die Gewässerbelastung. Gemäß der exemplarisch für Diclofenac in Abbildung 8 gezeigten RQ-Karte kann die Belastungssituation im Einzugsgebiet der Nahe bis auf wenige kurze Gewässerabschnitte flächendeckend in einen guten Zustand gebracht werden.



Abbildung 8: Belastungskarte für Diclofenac bei Umsetzung der langfristigen Maßnahmenkombination (SZ 5b)

3.4 Szenarienvergleich

Die Verteilung der Risikoquotienten im Untersuchungsgebiet ändert sich je nach Szenario. Als Verteilung wird nachfolgend angegeben, wie hoch die Anteile der Fließkilometer in den RQ-Kategorien (<1 bis >10) sind. Der Szenarienvergleich erfolgt beispielhaft für Diclofenac (Referenz für abwasserbürtige Stoffe aus Haushalten), Glyphosat (Referenz für niederschlagsbürtige Stoffe aus der Fläche) und Amidotrizoesäure (Referenz für Substanzen aus Krankenhäusern).

Der Szenarienvergleich für Diclofenac (Abbildung 9) zeigt, dass sich die Gewässersituation zunächst unter Berücksichtigung der Demographie verschlechtert. So wird für 2050 abgeschätzt, dass nur 53,7 % statt 58,3 % der Fließkilometer mit Abwasserlast (ca. 600 km) unter dem als JD-UQN diskutierten PNEC liegen. Bei Ausbau der Kläranlagen (SZ 3) kann eine deutliche Verbesserung der Belastungssituation erzielt werden, die in Kombination mit einer Sensibilisierung/Aufklärung der Bevölkerung (SZ 5) zu einer flächendeckenden Verbesserung der Gewässersituation führt. So kann der Anteil der abwasserbeeinflussten Gewässerabschnitte mit RQ < 1 von 58,3 % im Ist-Zustand auf 92,8 % erhöht werden.

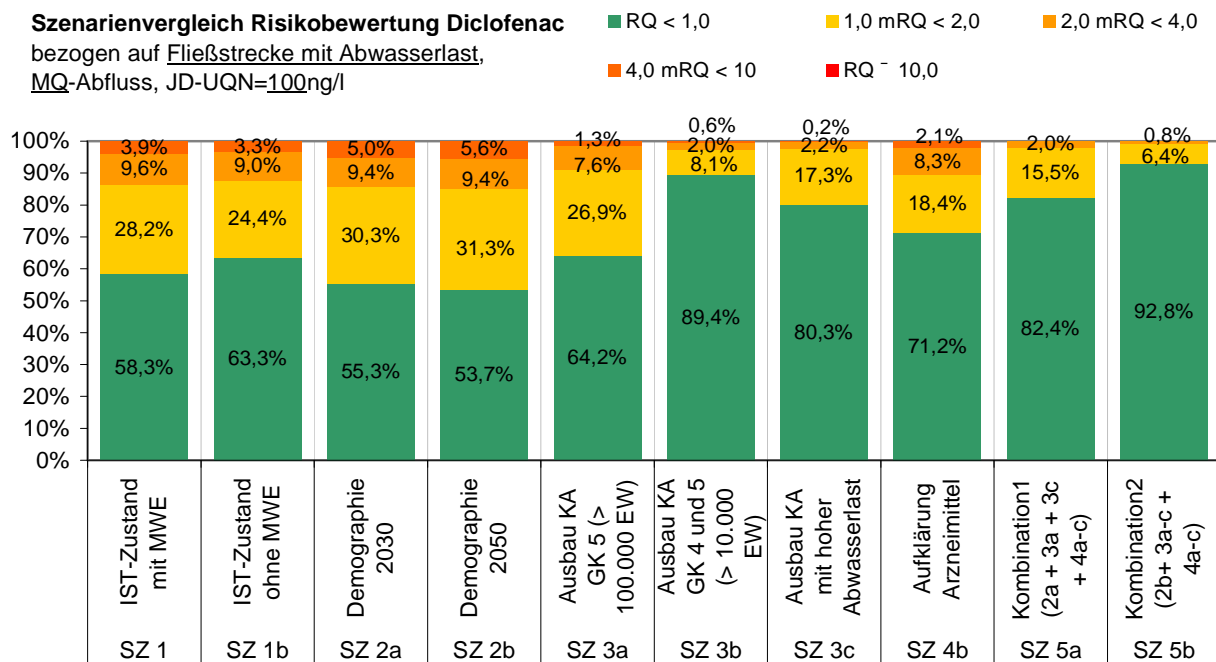


Abbildung 9: Szenarienvergleich für Diclofenac

Bei dem **Szenarienvergleich für Glyphosat** als Referenz für niederschlagsbürtige Pestizide (Abbildung 10) fällt auf, dass ein Ausbau der Kläranlagen nur einen geringen Einfluss hat, wohingegen Maßnahmen an der Quelle eine deutliche Verbesserung bewirken können. Ein präventives Anwendungsverbot der Pestizide (SZ 4c) hat demnach die größte Wirkung. Für rd. 90 % der abgebildeten Fließgewässerabschnitte resultieren RQs < 1, statt der 76 % des IST-Zustandes.

Szenarienvergleich Risikobewertung Glyphosat
bezogen auf gesamte Fließstrecke im EZG,
Gewässerabfluss MQ, JD-UQN=100ng/l

RQ = 0 * RQ < 1,0 1,0 mRQ < 2,0
2,0 mRQ < 4,0 4,0 mRQ < 10 RQ > 10,0

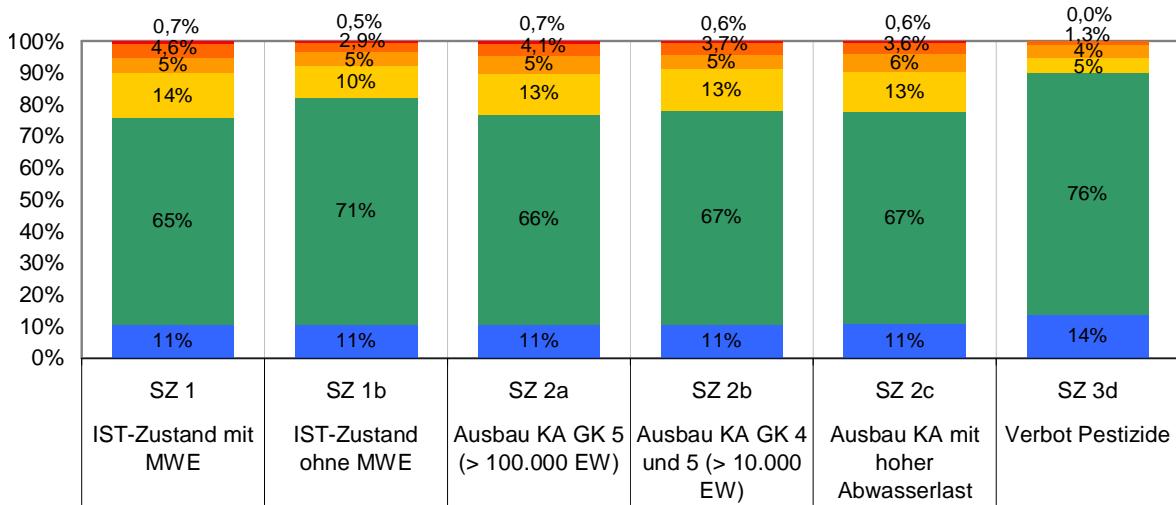


Abbildung 10: Szenarienvergleich für Glyphosat

Der Szenarienvergleich für Amidotrizoesäure (Abbildung 11) zeigt, dass auch bei den RKM der Ausbau der Kläranlagen nur eine geringe Verbesserung bewirkt. Maßnahmen noch vor dem Eintrag in das Gewässersystem, wie z. B. die hier untersuchte separate Urinerfassung, sind demnach anzustreben. Die belasteten Teilgewässer könnten durch die Maßnahmen an den Krankenhäusern fast flächendeckend (99,8 %) unter den JD-UQN gebracht werden.

Szenarienvergleich Risikobewertung Amidotrizoesäure
bezogen auf Fließstrecke mit Abwasserlast,
Gewässerabfluss MQ, JD-UQN=1.000 ng/l

RQ < 1,0 1,0 mRQ < 2,0 2,0 mRQ < 4,0
4,0 mRQ < 10 RQ > 10,0

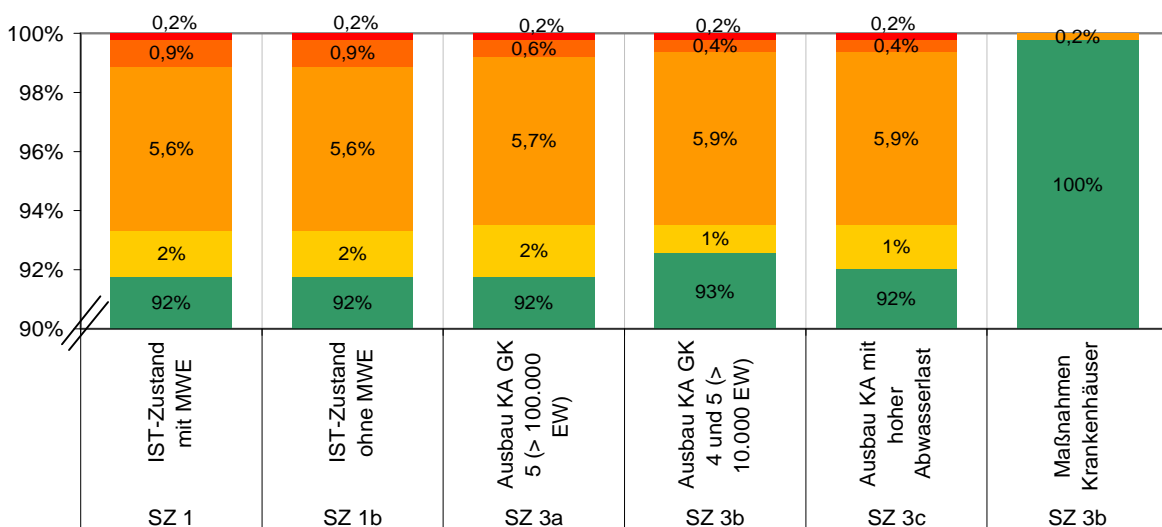


Abbildung 11: Szenarienvergleich für Amidotrizoesäure

4 Zusammenfassung

Anhand einer Szenarienanalyse wurden systematisch die Potenziale verschiedener Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Reduktion der Emissionen von Mikroschadstoffen ermittelt. Hierzu wurden verschiedene Maßnahmentypen zur Reduktion des Stoffeintrags simuliert. Neben „end-of-pipe“-Lösungen durch gezielte Mikroschadstoffelimination in erweiterten Reinigungsstufen auf bestehenden Kläranlagen wurden auch quellenbezogene Maßnahmen (Vermeidung, Verminderung, Substitution etc.) im Modell implementiert und ihre Auswirkung auf die Gewässerbelastung und Frachtreduktion berechnet und miteinander verglichen.

Zusammenfassend zeigt die Analyse der Maßnahmenszenarien, dass der Ausbau der zwei großen Kläranlagen der GK 5 im Bilanzraum, bezogen auf die im Rahmen des Projektes betrachteten 14 Referenzsubstanzen, zu einer Reduktion der in den Rhein emittierten Fracht von 11 % führt. Bei Ausrüstung aller Kläranlagen der GK 4 und 5 mit einer 4. Reinigungsstufe, dies betrifft 34 der 104 Kläranlagen im Bilanzraum, ergeben sich deutlich höhere Reduktionspotenziale von ca. 60 % bei den Pharmaka. Allerdings kann auch mit dieser Maßnahme die Zielvorgabe für Diclofenac (0,1 µg/l) nicht flächendeckend erreicht werden.

Bei den quellenbezogenen Maßnahmenszenarien („Eliminationsmaßnahmen an relevanten Punktquellen“, „Sensibilisierung, Substitution“ und „Reglementierung“), zeigt der Vergleich, dass die Frachten bei MQ an der Rheinmündung analog zur Reduzierung der angesetzten Eingangsgrößen verringert werden. Die Verteilung der Risikoquotienten verschiebt sich dadurch zum Teil sehr deutlich. Allerdings können auch bei diesen Maßnahmen die Zielvorgaben in der Regel nicht flächendeckend erreicht werden. Dennoch werden die Potenziale der quellenorientierten Maßnahmen verdeutlicht.

Bei der Kombination verschiedener Szenarien konnte insgesamt ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Gewässerqualität, gepaart mit einem hohen Frachtreduktionspotenzial ermittelt werden. Ziel sollte daher die Kombination eines zielorientierten Kläranlagenausbaus mit quellenorientierten Maßnahmen sein, um so den Eintrag von Mikroschadstoffen in die aquatische Umwelt zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

Literatur

- Abbelgen, Christian; Siegrist, Hansruedi (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Hg. v. Bundesamt für Umwelt BAFU der Schweiz. Bern (Umwelt-Wissen Nr. 1214).
- Adamczak K., Pahl O., van der Grunden E., Dagot C., Helwig K.P.M., Teedon P., Klepizewski K., Lyko S., und Nafo I. (2015): noPILLS report, Interreg IV B NWE project. (<http://www.no-pills.eu>)
- Arge "MIKROMEM" (2012): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 'Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen durch den Einsatz der Membrantechnik'. (MIKROMEM). AZ IV-7-042-6000 001G
- Bornemann et al. (2012): Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle – MIKROFlock (TP 5). Abschlussbericht AZ IV-7-042 600 001E
- Dimitrova, S.; Kittlaus, S.; Fuchs, S.; Tettenborn, F.; Hillenbrand, T. (2013): Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste nach Art. 5 der RL 2008/105/EG bzw. § 4 Abs. 2 OGeWV in Deutschland. Regionalisierte Pfadanalyse mit dem Modellinstrument MoRE. Methodenpapier.
- Götz K., Keil F. (2007): Medikamentenentsorgung in privaten Haushalten: Ein Faktor bei der Gewässerbelastung mit Arzneimittelwirkstoffen? USWF – Z Umweltchem Ökotox 19 (3) 180–188
- Götz, C.; Kase, R.; Ort, .; Singer, H.; Bergmann, S. (2012): Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser. Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag des MKULNV-NRW.
- Klasmeier, Jörg; Kehrein, Nils; Berlekamp, Jürgen; Matthies, Michael (2011): Mikroverunreinigungen in oberirdischen Gewässern: Ermittlung des Handlungsbedarfs bei kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht. USF - Institut für Umweltsystemforschung Universität Osnabrück. Osnabrück.
- Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G, Taudien Y., Kolisch G. (2015a): Das Projekt Mikro_N – Motivation und Vorgehensweise. Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, Bd. 39 (diese Ausgabe, S. 27-49).
- Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G, Taudien Y., Kolisch G. (2015b): Situationsanalyse der Gesamtemissionen an Mikroschadstoffen im Einzugsgebiet der Nahe. Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, Bd. 39 (diese Ausgabe, S. 51-67).
- Margot, Jonas; Magnet, Anoyo; Thonney, Denis; Chèvre, Natalie; Alencastro, Felipe de; Rossi, Luca (2011): TRAITEMENT DES MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX USÉES. Hg. v. Ville de Lausanne.
- Monnig E., Zweidinger R.A., Warner M. Batten R., Liverman, D. (1980): Treatment Technology for pesticide Manufacturing Effluents: Glyphosate. Research Triangle

- Institute, North Carolina. Veröffentlicht über Industrial Environmental Research Laboratory
- MUKE-BW (2012): Spurenstoffbericht Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Anthropogene Spurenstoffe im Gewässer.
- Nahrstedt, A.; Burbaum, H.; Mauer, C.; Alt, K.; Sürder, T.; Fritzsche, J. (2014): Der Einsatz von granulierter Aktivkohle auf dem Verbandsklärwerk „obere Lutter“. KA, Korrespondenz Abwasser, 2014
- Pineau C., Heinzmann B., Schwarz R-J., Wiemann M., Schulz C. (2005): Getrennte Erfassung von iodorganischen Röntgenkontrastmitteln in Krankenhäusern. Abschlussbericht Phase 1 (Machbarkeitsstudie)
- Pinnekamp, J. & Merkel, W. (2008). Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen - Güte- und Kostenbetrachtungen. Abschlussbericht Forschungsvorhaben, MKULNV-NRW, Aachen/Mühlheim.
- Schrader, Corinna (2007): Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Entfernung von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser. München: Oldenbourg Industrieverl. (Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 190).
- Seidel, U., Ante, S., Börgers, A., Herbst, H., Matheja, A., Remmler, F., Sayder, B., Türk, J. (2013): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Analyse der Eliminationsmöglichkeiten von Arzneimitteln in den Krankenhäusern in NRW (TP 3)“, (MKULNV-NRW), AZ IV-7 - 042 600 001C, Vergabenummer 08/0581.
- UBA (2014): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer, Kurzbericht, Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA Texte 86/2104, Forschungskennzahl 3712 21 225, UBA-FB 002037/kurz (Veröffentlicht 01/2015), Umweltbundesamt, Dessau

Korrespondenz an:

Dipl.-Ing. Yannick Taudien
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal
Tel.: +49 202 583 287
E-Mail: ytn@wupperverband.de

Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen

G. Kolisch , Y. Taudien

Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft, WiW mbH

H. Knerr, T. G. Schmitt, O. Gretzschel

tectraa - Zentrum für innovative AbWassertechnologien an der TU Kaiserslautern

Kurzfassung:

Die Einführung von 4. Reinigungsstufen zur gezielten Elimination von Mikroschadstoffen auf kommunalen Kläranlagen ist mit zusätzlichen Investitionen und betrieblichen Aufwendungen verbunden. Für die im Projekt Mikro_N für das Nahegebiet untersuchten Ausbauszenarien wurden die jeweiligen Kosten abgeschätzt und einem erreichbaren Nutzen auf Basis der verbesserten Gewässersituation bzw. der eliminierten Diclofenac-Fracht gegenübergestellt. Zusätzlich wurde der Einfluss des Ausbaus auf die Gebührensituation im EZG der Nahe untersucht. Die ermittelten Kosten wurden abschließend anhand einer Abwasserlastkarte auf die Gesamtsituation der Kläranlagen in Rheinland-Pfalz extrapoliert.

Key-Words: Mikroschadstoffe, 4. Reinigungsstufe, Kosten, Abwassergebühr

1 Einleitung

Der Ausbau bestehender Kläranlagen mit dem Ziel einer erweiterten Abwasserreinigung (4. Reinigungsstufe) ergab in der durchgeführten Szenarienbetrachtung den größten Nutzen in Bezug auf die Reduktion der mit Mikroschadstoffen erhöht belasteten Fließkilometer (vgl. dazu Taudien et al. 2015). In dem vorliegenden Beitrag werden die Kosten der betrachteten Ausbauszenarien ermittelt und dem hiermit erzielten Nutzen gegenübergestellt, um die Kosteneffizienz zu untersuchen und zu bewerten. In einem hierauf aufbauenden Schritt werden die für das Einzugsgebiet der Nahe ermittelten Kosten auf alle Gewässer in Rheinland-Pfalz hochgerechnet.

2 Nutzen durch 4. Reinigungsstufen im EZG Nahe

2.1 Verringerte Mikroschadstoff-Belastung

Durch die Integration einer 4. Reinigungsstufe werden die Emissionen an der jeweiligen Einleitstelle im Mittel um etwa 80 % reduziert (stoffspezifisch zwischen 10-90 %). Damit ist der Nutzen einer 4. Reinigungsstufe, bezogen auf die eingeleitete Schmutzfracht, bei großen Kläranlagen mit einer hohen Schmutzwassermenge naturgemäß größer als bei kleinen Anlagen. Vielfach liegen jedoch gerade kleinere Kläranlagen an Gewässern mit einem hohen Abwasseranteil oder stark vorbelasteten Gewässern. Daher kann aus Gewässersicht ein großer Nutzen auch durch den Ausbau dieser Anlagen erreicht werden.

Der Nutzen der 4. Reinigungsstufen wird auf zwei Arten ausgewertet:

- **frachtbezogen:** reduzierte Frachten an der Übergabestelle zum Rhein
- **qualitätsbezogen:** zusätzlicher Anteil des Gewässersystems mit RQ < 1

Es wird jeweils der Unterschied zum Referenzszenario (Status quo) für den Abfluss MQ ausgewertet. Die Tabelle 1 fasst die Ergebnisse der Simulationen zusammen.

Tabelle 1: Nutzen durch die Integration von 4. Reinigungsstufen. Zusammenstellung von fracht- und qualitätsbezogenen Differenzen zur IST-Situation (MQ)

Vergleich Kläranlagenausbau zum IST-Zustand			Frachtbezogen			Qualitätsbezogen		
			Differenz zur Fracht im IST- Zustand an der Rheinmündung			Zusätzlicher Gewässeranteil (von 1.515km) mit RQ<1		
			GK 5	GK 4&5	gewählt	GK 5	GK 4&5	gewählt
			SZ 3a	SZ 3b	SZ 3c	SZ 3a	SZ 3b	SZ 3c
Substanzen	Kriterium [µg/l]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[km]	[km]	[km]	
Pharmaka	Amidotrizoes.	1,00	40,7	70,1	22,3	0	4,8	1,6
	Carbamazepin	0,50	1,9	75,2	2,0	0	2,6	2,6
	Diclofenac	0,05	28,9	65,0	18,0	5,1	222,0	85,8
		0,10				43,5	185,0	131,0
	Metoprolol	64,00	41,7	122,7	45,9	0	0	0
	Sulfamethoxazol	0,60	2,7	8,1	2,1	0	0	0
Bezafibrat	0,46	17,9	52,7	19,8	1,0	3,6	3,6	
Pestizide	Carbendazim	0,34	0,4	1,2	0,4	0	0	0
	DEET	41,0	5,0	14,7	5,5	0	0	0
	Diuron	0,20	0,9	2,6	0,9	0	0	0
	Glyphosat	0,10 l	4,9	14,6	4,2	18,5	33,1	30,9
		108,00				0	0	0
	Isoproturon	0,30	0,6	1,7	0,6	0	0	0
	Mecoprop	0,10	1,1	3,2	12,7	0	0	0
Terbutryn	0,07	0,4	1,1	0,2	0	0	0	
PFOS	0,0007	1,1	3,1	1,2	0	0	0	
	0,23				0	0	0	
Summe			148	436	136			

2.2 Synergieeffekte in Bezug auf den Parameter Phosphor

Die Integration einer 4. Reinigungsstufe auf bestehenden kommunalen Kläranlagen erfordert in der Regel den Bau einer nachgeschalteten Filtrationsstufe, zumindest sofern diese nicht bereits vorhanden ist und mit in die Planung einbezogen werden kann. Je nach gewählter Variante zur Elimination von Mikroschadstoffen ist die nachgeschaltete Filterstufe verfahrenstechnisch aus folgenden Gründen erforderlich:

- um den Rückhalt der Pulverkohle zu gewährleisten
- um die Möglichkeit der Filtration über Kornkohle (Festbett) zu geben und
- um nach einer Ozonbehandlung Transformationsprodukte im Filter abzubauen.

Als Synergieeffekt bewirkt eine Filterstufe auch eine zusätzliche Reinigung in Bezug auf den Parameter Phosphor. Sofern der Filter als Flockungsfiltrationsstufe betrieben wird, d. h. mit Dosierung von Metallsalzen, können gemäß DWA ATV-A 203 P_{ges} -Ablaufkonzentrationen von etwa 0,2 mg/l erreicht werden. Gemäß Arbeitsblatt A-202 können Anlagen mit Flockungsfiltration einen Überwachungswert für den Parameter Phosphor in Höhe von 0,5 mg/l sicher einhalten.

Je nach gewähltem Ausbauszenario, werden 2, 10 oder 34 Kläranlagen im Einzugsgebiet der Nahe ausgebaut. Der Einfluss der ausgewählten Kläranlagen auf die emittierte P-Fracht ergibt sich aus der Anlagengröße. In Summe werden im Ist-Zustand pro Jahr 83.251 kg Phosphor emittiert. Durch den Ausbau der zwei größten Kläranlagen im Einzugsgebiet (SZ 3a) kann die jährlich emittierte P-Fracht um etwa 14 % auf 71.337 kg reduziert werden. Der größte Effekt wird durch den Ausbau aller 34 Kläranlagen der GK 4 und 5 (SZ 3b) erreicht, hier wird die eingeleitete P-Fracht um etwa 50 % reduziert.

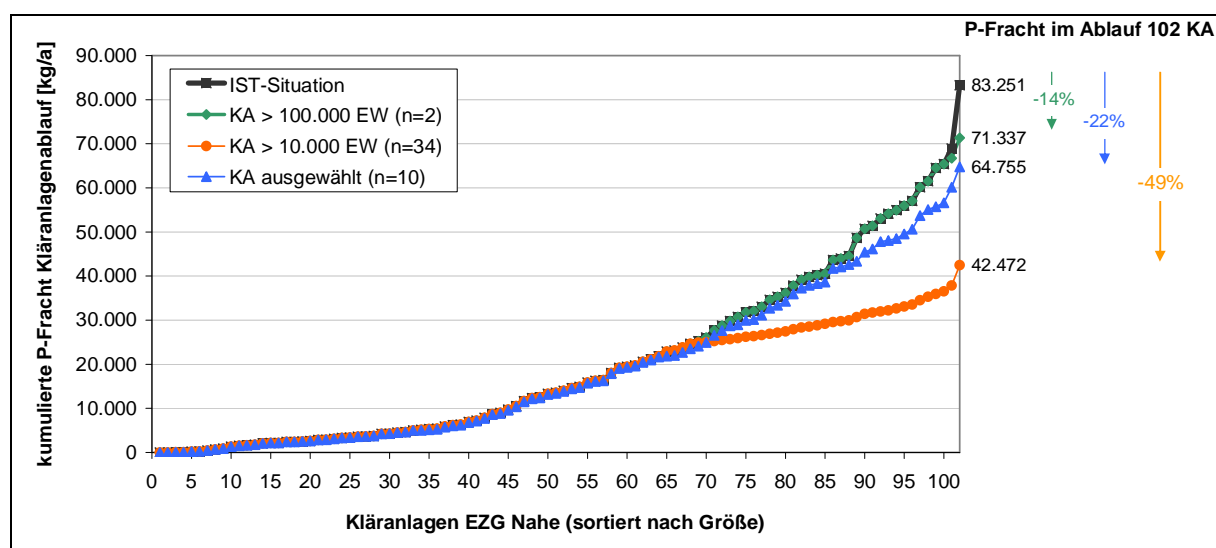


Abbildung 1: Kumulierte P-Fracht im Ablauf der Kläranlagen im EZG der Nahe bei den drei untersuchten Ausbauszenarien

3 Kosten durch Bau und Betrieb von 4. Reinigungsstufen

3.1 Methodik der Kostenermittlung

3.1.1 Kostenfunktionen für 4. Reinigungsstufen

Die Kosten für den Bau und den Betrieb der 4. Reinigungsstufen werden auf Basis von Kostenfunktionen abschätzend berechnet. Entsprechende Funktionen stehen aus mehreren Literaturquellen zur Verfügung. Dabei wurden die Studien von Türk et al. (2013) und UBA (2014) verwendet:

In beiden Arbeiten wurden Kosten aus Pilotprojekten, realisierten Anlagen und Machbarkeitsstudien aus einer umfassenden Literaturstudie zusammengestellt und soweit möglich vereinheitlicht, d. h. in die gleiche Währung, Abschreibeziträume, Zinssätze usw. umgerechnet. Die verwendeten Kostenfunktionen geben dabei die spezifischen Behandlungskosten (€/m³) in Abhängigkeit der Anlagengröße (EW) an. Da die Funktionen von Türk et al. (2013) neben den Gesamtjahreskosten (siehe Abbildung 2) auch Funktionen für die Betriebskosten enthalten, wurden diese für die Berechnung gewählt. Es erfolgte zusätzlich ein Abgleich mit der UBA-Kostenfunktion zur Plausibilitätskontrolle.

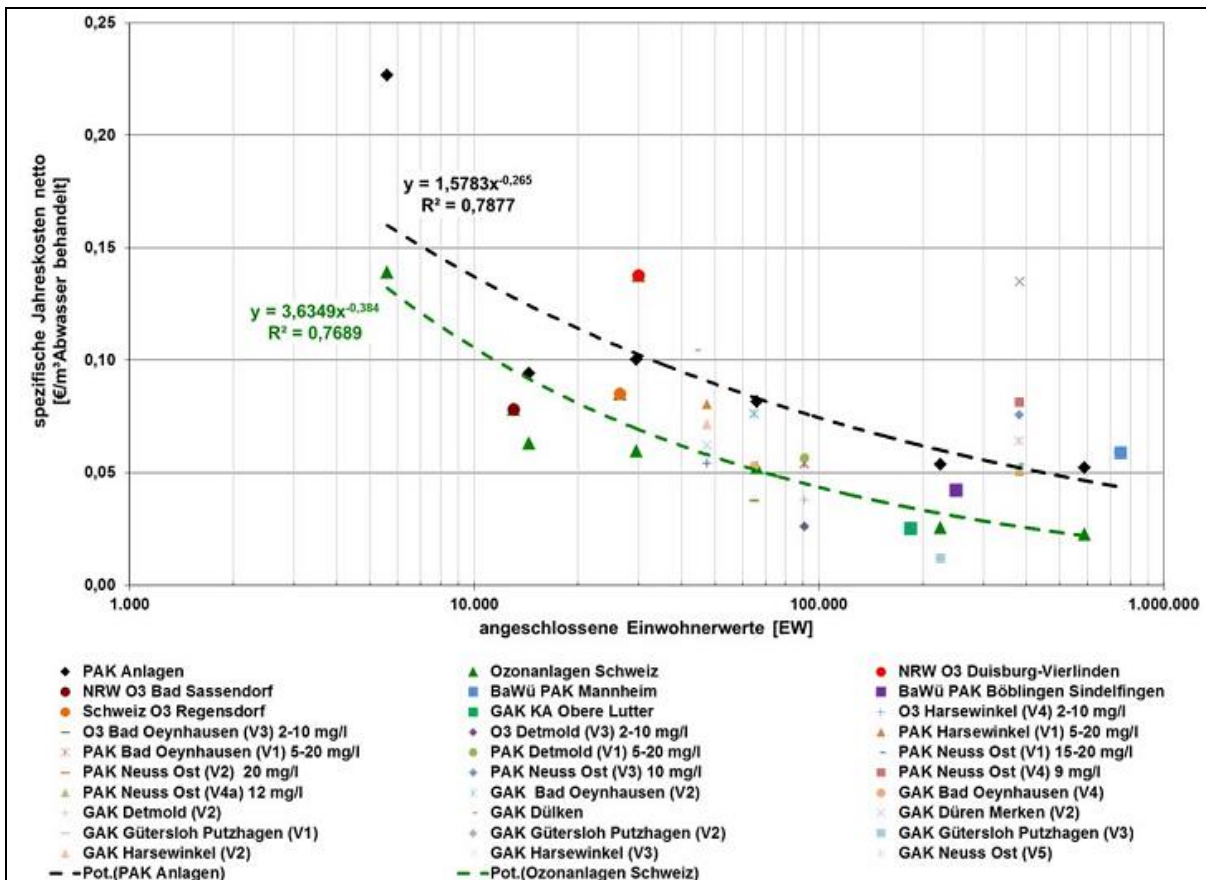


Abbildung 2: Spez. Jahreskosten in Abhängigkeit der Anschlussgröße (Türk et al., 2013)

Grundsätzlich sinken die spezifischen Kosten, je größer eine Kläranlage ist. Unterschiede zwischen den Anlagen ergeben sich zum Teil aus dem gewählten Verfahren, der Integration in die vorhandene Kläranlage und der möglichen Nutzung vorhandener Bausubstanz.

3.1.2 Kostenfunktionen für Nachbehandlungsstufen (Bau Filtration)

Die genannten Kostenfunktionen für eine 4. Reinigungsstufe haben gemeinsam, dass sie die Kosten für die notwendige Nachbehandlungsstufe nicht enthalten. Sowohl bei Adsorptionsstufen als auch bei einer Ozonbehandlung ist jedoch nach heutigem Kenntnisstand eine solche Nachbehandlung in Form einer Filtration verfahrenstechnisch erforderlich. Daher wurden zusätzlich zu den Kosten der 4. Reinigungsstufe auch die Kosten für eine zusätzliche Raumfiltration berechnet.

Die Investitionskosten für den Neubau einer solchen Flockungfiltrationsanlage wurden über Kostenfunktionen nach Schröder (1998) ermittelt. Die Funktionen geben die Investitionskosten getrennt nach Bautechnik, Maschinenteknik und EMSR-Technik über einen nichtlinearen Zusammenhang in Bezug auf die benötigte Filterfläche (m²) an.

Diese Kosten wurden auf Basis der Baukosten von ca. 150 Filtern aus dem Zeitraum 1992-1994 ermittelt und enthalten keine Planungs- und Baunebenkosten. Da nach dem Bauboom Anfang der 90er Jahre steigende Kosten beobachtet wurden, hat Schröder (1998) diese Funktionen um einen zusätzlichen Kostenentwicklungsfaktor ergänzt.

3.1.3 Zusammenfassung der verwendeten Kostenfunktionen

Die verwendeten Funktionen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Bei den Funktionen nach Türk et al. (2013) handelt es sich um die Kosten einer Pulveraktivkohledosierung, die gemäß Studie über den Kosten einer Ozonbehandlung liegen. Auf der sicheren Seite liegend wurde dennoch diese Funktion gewählt.

Tabelle 2: Zusammenstellung der verwendeten Kostenfunktionen

		Kostenfunktion	Quelle
4. Reinigungsstufe	Betriebskosten	$0,1886 x^{-0,129}$ (x = Anschlussgröße)	(Türk et al., 2013)
	Jahreskosten	$1,5783 x^{-0,265}$ (x = Anschlussgröße)	(Türk et al., 2013)
		$0,6916 y^{-0,193}$ (y = Ausbaugröße)	(UBA, 2014)
Nachbehandlung (Bau Filtration)	Investitionskosten	KB = $(0,034 - k1) \cdot A_{fil} (0,863 - k2) \cdot e1997$ (Bautechnik) KM = $(0,044 - k1) \cdot A_{fil} (0,795 - k2) \cdot e1997$ (Maschinentechnik) KE = $(0,014 - k1) \cdot A_{fil} (0,845 - k2) \cdot e1997$ (EMSR-Technik)	(Schröder, 1998)
	Betriebskosten Filter	0,025 €/m ³	(Wagner, 2001)
A_{fil} = Filterfläche [m ²], $e1997$ = Kostenentwicklungsfaktor, $k1, k2$ = Korrekturfaktor für spez. Filtersysteme,			

3.1.4 Kostenberechnung unter Verwendung der Kostenfunktionen

Unter Verwendung der Kostenfunktionen wurden die Kosten für jede der ausgewählten Kläranlagen in Abhängigkeit der Anlagengröße und der Jahresabwassermenge berechnet. Aus der Landesdatenbank standen folgende Kenndaten für alle Kläranlagen zur Verfügung: Ausbaugröße, Anschlussgröße, angeschlossene Einwohner, Jahresabwassermenge (Mittelwert 2010 bis 2012) und Trockenwetterwassermenge.

Das grundsätzliche Vorgehen bei der Kostenberechnung zur Einführung der 4. Reinigungsstufe zeigt Abbildung 3. Zunächst wurden über die einwohnerspezifischen Kostenfunktionen und die jeweilige Anschluss- bzw. Ausbaugröße die spezifischen Behandlungskosten (€/m³) ermittelt. Diese wurden im nächsten Schritt über die Jahresabwassermenge zu Jahreskosten multipliziert. Dabei wurde angenommen, dass der Anteil der behandelten Abwassermenge nur 80 % der Jahresmenge beträgt, da die 4. Reinigungsstufe aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nur auf eine entsprechende Teilstrombehandlung ausgelegt wird.

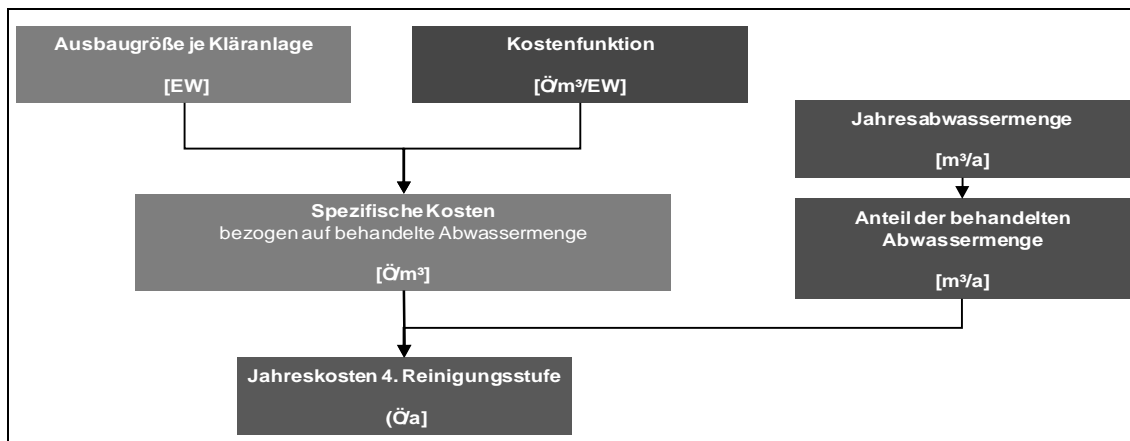


Abbildung 3: Schema zur Berechnung der Jahreskosten einer 4. Reinigungsstufe

Die Kosten für den Bau einer Flockungsfiltration als Nachbehandlungsstufe wurden gemäß Abbildung 4 hergeleitet. Auf Basis der Anlagengröße wurde ein Faktor zur Berechnung des Tagesspitzenabflusses gemäß DWA-Arbeitsblatt A 198 ermittelt. Dieser ergibt mit der mittleren Trockenwetterwassermenge eine maximale Wassermenge bei Trockenwetter. Zusammen mit einer angenommenen erforderlichen Filtergeschwindigkeit in Höhe von 5 m/h (nach ATV-A 203) ergibt sich daraus die benötigte Filterfläche. Diese kann als Eingangswert für die Kostenfunktion nach Schröder verwendet werden, woraus sich schließlich die Investitionskosten berechnen.

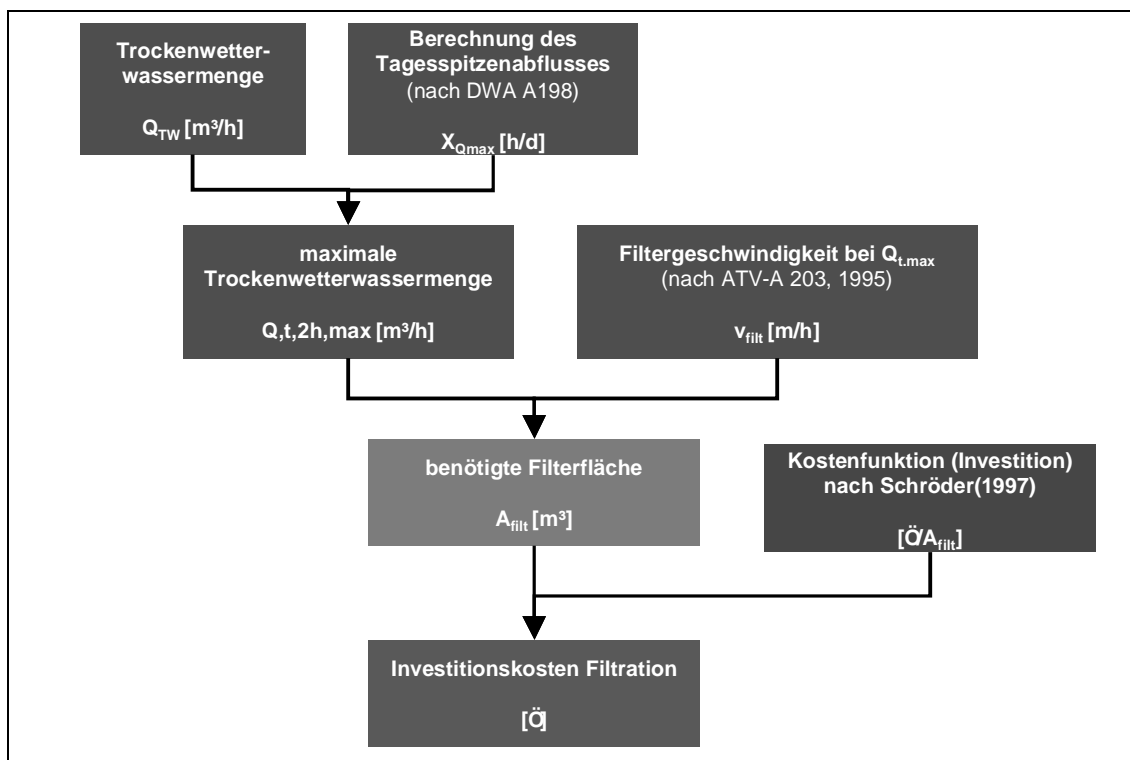


Abbildung 4: Berechnung der Investitionskosten für den Bau einer Flockungsfiltration

3.2 Kosten der betrachteten Ausbauszenarien im EZG Nahe

Für die betrachteten Ausbauszenarien wurden die resultierenden Kosten gemäß der vorgenannten Methodik für das EZG der Nahe berechnet. Die Kosten sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt und zusammenfassend in Tabelle 3 aufgelistet. Der Ausbau der 34 Anlagen der GK 4 und 5 (SZ 3b) verursacht im Ergebnis, wie zu erwarten, die höchsten Investitionskosten. Allerdings sind die mittleren spezifischen Behandlungskosten (€/m³) im Szenario 3c bei Ausbau der 10 ausgewählten Kläranlagen deutlich höher. Der große Kostenanteil der Filtrationsstufe macht sich bei allen drei Ausbauszenarien gleichermaßen bemerkbar. Etwa die Hälfte der Investitions- und auch der Jahreskosten entfallen auf den Bau und den Betrieb der Filtrationsstufe.

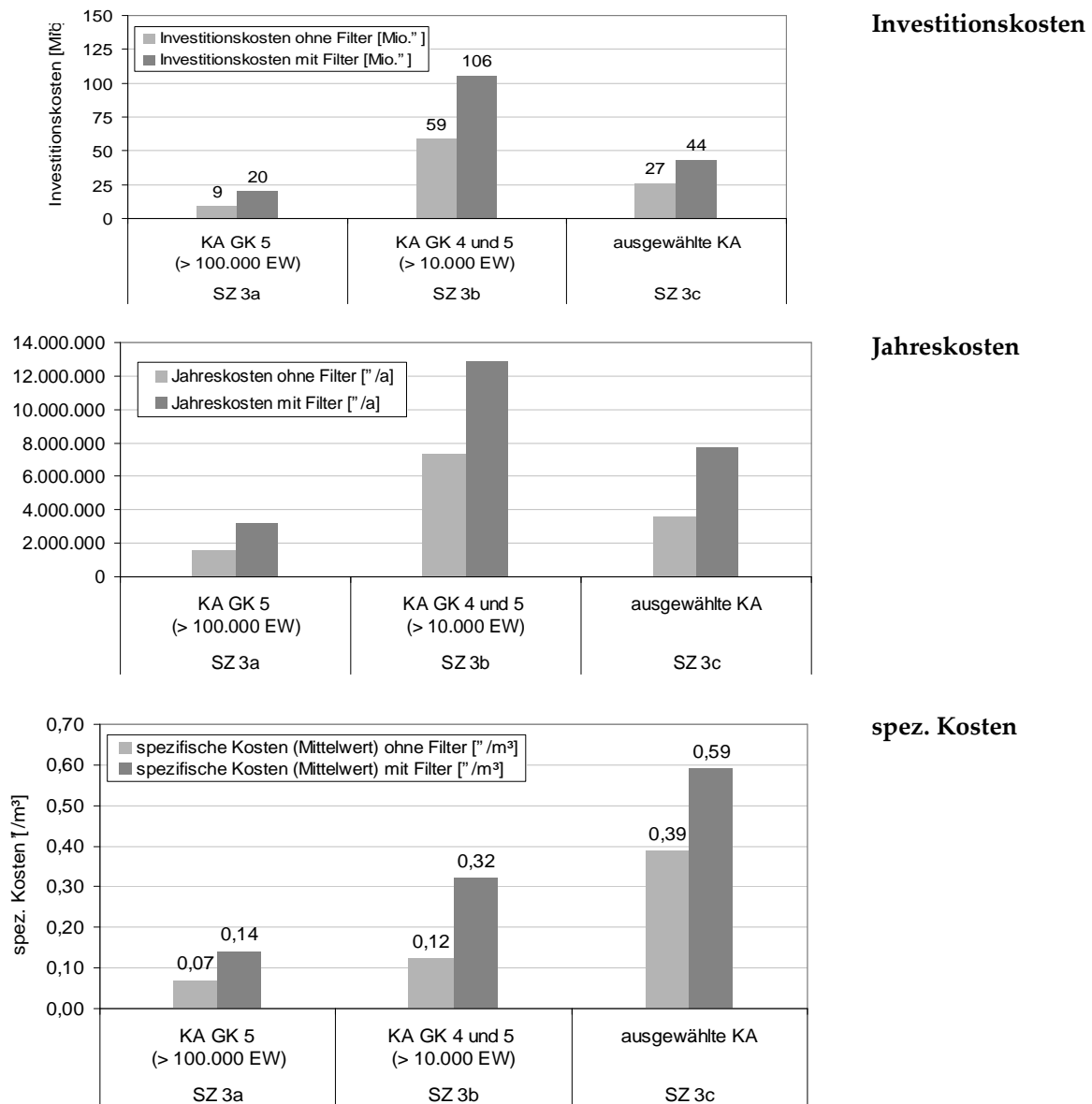


Abbildung 5: Ergebnisse der Kostenberechnung für die Kläranlagen-Ausbauszenarien (Investitionskosten, Jahreskosten und spezifische Kosten)

Tabelle 3: Übersicht über die ermittelten Kosten für die Ausbauszenarien

Szenario		SZ 3a	SZ 3b	SZ 3c	
Ausbauvariante		KA GK 5 (> 100.000 EW)	KA GK 4 und 5 (> 10.000 EW)	ausgewählte KA	
Anzahl KA	[-]	2	34	10	
Summe Anschlussgröße	[EW]	273.334	785.318	296.442	
Anteil Gesamtkapazität EZG	[%]	24	82	31	
ohne Filter	Betriebskosten	[€/a]	963.852	3.528.807	1.351.137
	Kapitalkosten	[€/a]	628.359	3.844.710	2.248.377
	Investitionskosten	[€]	9.350.805	59.143.257	26.513.556
	Jahreskosten	[€/a]	1.592.211	7.373.517	3.599.514
	spez. Kosten (Mittelwert)	[€/m ²]	0,07	0,12	0,39
mit Filter	Investitionskosten	[€]	20.477.809	105.625.475	43.727.129
	Jahreskosten	[€/a]	3.171.408	12.885.116	7.746.131
	spez. Kosten (Mittelwert)	[€/m ²]	0,14	0,32	0,59

3.3 Auswirkung auf die Abwassergebühren

Neben den Gesamtkosten für den Ausbau der Kläranlagen sind auch die finanziellen Auswirkungen für die Bürger und Bürgerinnen von Interesse. Bisher liegt jedoch noch kein ausgearbeitetes bundesweites Finanzierungsmodell für die Einführung von 4. Reinigungsstufen vor. Daher wird im Rahmen dieser Studie die direkte Finanzierung über eine Erhöhung der Abwassergebühren für die jeweils betroffenen Kläranlagen im EZG der Nahe untersucht. Ein solidarischer staatlicher Finanzierungsansatz nach dem Umlageprinzip und einem Ausbau ausgewählter Kläranlagen wird von der Schweiz verfolgt (Schärer, 2014). Für die Bundesrepublik Deutschland wurde in der UBA-Studie 26/2015 (UBA, 2015) ein alternativer solidarischer Ansatz über eine Verknüpfung von Mikroverunreinigungen mit der Abwasserabgabe bei ausgewählten Kläranlagen der GK 5 untersucht. Aufgrund der aktuell weder politisch noch gesellschaftlich gegebenen Diskussion wurden solche flankierenden Ansätze hier nicht weiter betrachtet.

Bei den Abwassergebühren werden die Kosten der allgemeinen Abwasserentsorgung auf die Bürgerinnen und Bürger umgelegt. Die Gebührensätze fallen jedoch je nach Verbandsgemeinde unterschiedlich hoch aus. Zudem variiert auch die Zusammensetzung bzw. die Berechnungsgrundlage der Gebühren, was einen Vergleich schwierig macht. Die Bestandteile der gemeindespezifischen Abwassergebühren können sich dabei auf Mengen oder Flächen beziehen, oder auch flächen- und mengenunabhängig sein. Die mengenbezogene Komponente gliedert sich auf in Entgelte, die sich auf den Schmutz- und Abwasseranfall beziehen, und auf sonstige mengenbezogene Entgelte.

Grundlage für das Schmutz- und Abwasseraufkommen bildet im Regelfall der – ggf. um einen pauschalen Abschlag reduzierte – Frischwasserverbrauch.

Für die Umlegung der untersuchten Szenarienkosten auf die Abwassergebühren wurden die Daten des statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz von 2013 verwendet. Darin enthalten sind die Abwassergebühren bezogen auf den Frischwasserverbrauch für die 42 Kläranlagenbetreiber (Kommunen, Verbandsgemeinden, Zweckverbände) im EZG Nahe.

Es wurden 2 Varianten betrachtet:

- **Solidarprinzip:** genossenschaftliche Verteilung der Kosten auf alle Betreiber
- **Verursacherprinzip:** Umlage der Kosten nur auf Kläranlagen mit neuer 4. RS

Das Verursacherprinzip wird zunächst in Abbildung 6 dargestellt. Die Grafik zeigt für jede Kläranlage separat eine Abwassergebühr vor und nach Implementierung einer 4. Reinigungsstufe in den untersuchten Szenarien. Während sich bei den beiden Kläranlagen der GK 5 nur eine geringfügige Erhöhung durch den Ausbau zeigt, ist der Effekt bei den kleineren Anlagen deutlich sichtbar. Insbesondere der Ausbau einer Kläranlage mit nur 1.500 EW Ausbaugröße im SZ 3c verdoppelt die dortigen Abwassergebühren.

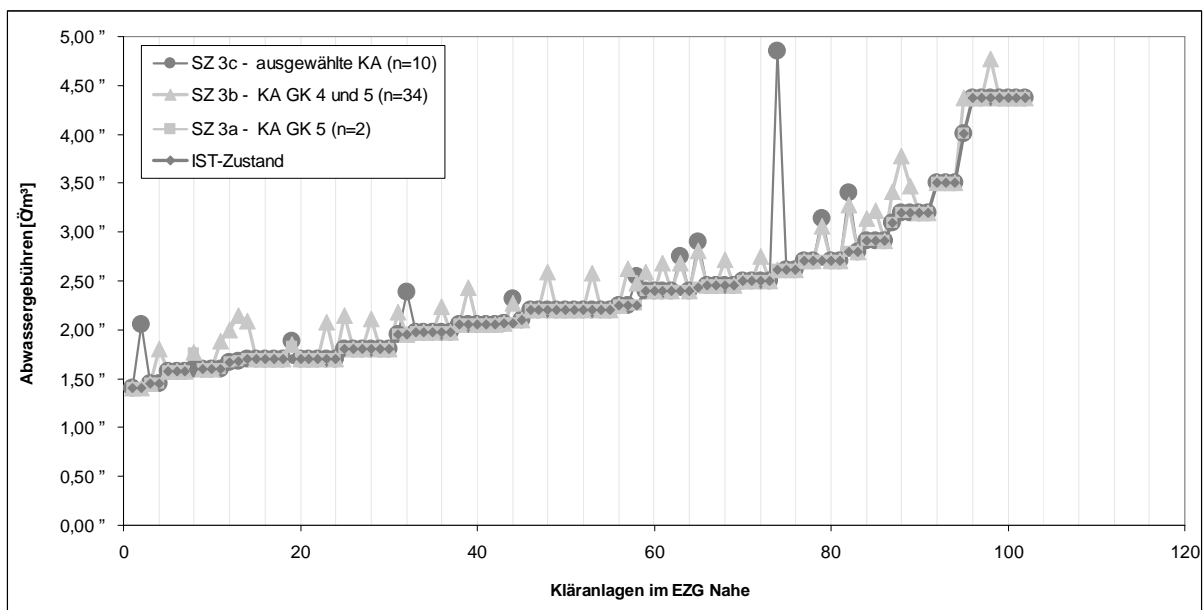


Abbildung 6: Abwassergebühren vor und nach Bau der 4. Reinigungsstufe für jede Kläranlage im Untersuchungsgebiet.

Sofern die Kosten nicht kläranlagenspezifisch ermittelt werden, sondern zumindest innerhalb der Betreiber umgelegt werden, sind die Gebührensprünge nicht mehr so deutlich sichtbar (siehe Abbildung 7). Werden die Kosten im nächsten Schritt über

alle Betreiber im Gesamtgebiet genossenschaftlich verteilt, dies würde etwa dem „Schweizer Modell“ entsprechen, so erhöht sich die mittlere Abwassergebühr von 2,31 €/m³ auf 2,37 €/m³ nur geringfügig.

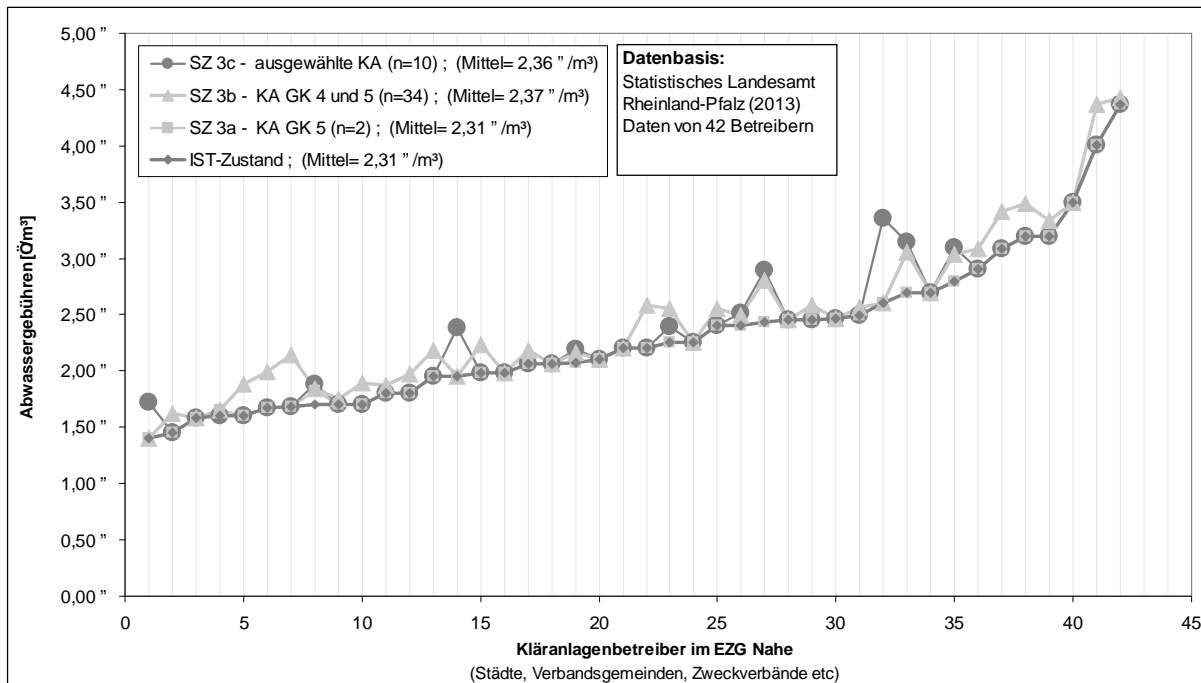


Abbildung 7: Verteilung der Abwassergebühren pro Betreiber im EZG Nahe für den IST-Zustand (Datenstand 2013) und bei Umsetzung der Ausbauszenarien (zzgl. 4. Reinigungsstufe)

4 Vergleich von Kosten und Nutzen für das EZG Nahe

Dem in Kapitel 2 beschriebenen Nutzen stehen die Kosten der 4. Reinigungsstufe gegenüber. Als maßgebender Wert für den Kostenvergleich wird die Summe der Jahreskosten inklusive Nachbehandlungsstufe herangezogen. Aus dem Quotient der Jahreskosten (€/a) mit den zusätzlichen Fließkilometern (km) mit $RQ < 1$ bzw. mit der reduzierten Jahresfracht (kg/a) ergeben sich die beiden spezifischen K/N-Faktoren in €/km*a und €/kg. In Abbildung 8 sind beide Faktoren gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass der Ausbau der ausgewählten Kläranlagen zwar frachtbezogen die höchsten Kosten verursacht, aber bezogen auf die Qualitätsverbesserung im Gewässer das beste K/N-Verhältnis aufweist.

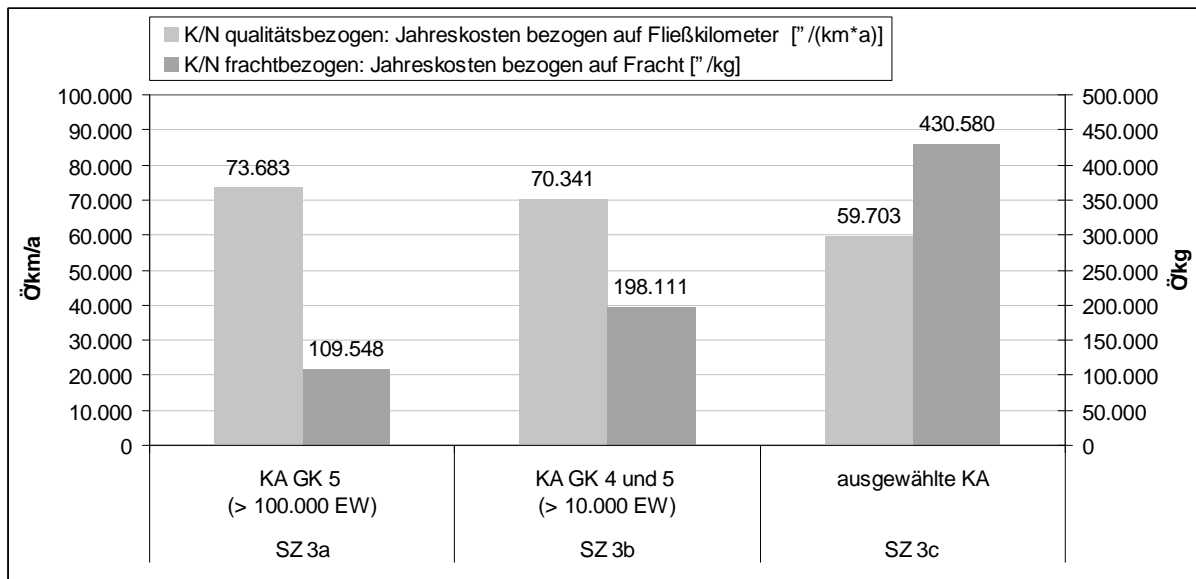


Abbildung 8: K/N-Faktoren für die Ausbauszenarien beispielhaft für den Wirkstoff Diclofenac, linke Achse: Jahreskosten bezogen auf zusätzliche Fließkilometer mit $RQ < 1$, rechte Achse: Jahreskosten bezogen auf reduzierte Jahresfracht.

Tabelle 4: Zusammenstellung des Nutzens und der Kosten/Nutzen-Faktoren für die untersuchten Ausbauszenarien

				SZ 3a	SZ 3b	SZ 3c
				KA GK 5	KA GK 4 & 5	ausgewählte
						te
Anzahl KA mit 4. Reinigungsstufe		[-]		2	34	10
Kosten	Investitionskosten mit Filter		[€]	20.477.809	105.625.475	43.727.129
	Jahreskosten mit Filter		[€/a]	3.171.408	12.885.116	7.746.131
Nutzen	Qualitätsbezogen	zus. Anteil mit $RQ < 1$	[% < UQN]	3 %	12 %	9 %
		zus. km mit $RQ < 1$	[km]	43,0	183,2	129,7
	Frachtbezogen:	Diff ggn. Status quo	[%]	29	66	18
		Frachtreduzierung	kg/a	28,95	65,04	17,99
K/N	Qualitätsbezogen:	Jahreskosten bezogen auf Fließkilometer	[€/km*a)]	73.683	70.341	59.703
	Frachtbezogen:	Jahreskosten bezogen auf Fracht	[€/kg]	109.548	198.111	430.580

5 Übertragung auf Rheinland-Pfalz

5.1 Methodik der Übertragung

Unter Berücksichtigung der Kläranlagenstruktur in Rheinland-Pfalz wird nachfolgend abgeschätzt, wie sich die flächendeckende Erweiterung der im Bundesland vorhandenen Kläranlagen mit 4. Reinigungsstufen auf die Kosten der Abwasserbehandlung auswirkt. Dazu werden die zuvor nur für das Einzugsgebiet der Nahe betrachteten Ausbauszenarien auf RLP übertragen:

- Ausbau aller Kläranlagen der GK 5
- Ausbau aller Kläranlagen der GK 5 und 4
- Ausbau ausgewählter Kläranlagen an Belastungsschwerpunkten

Vom Landesumweltamt (LUWG) wurden die erforderlichen Kläranlagendaten (Ausbaugröße, Anschlussgröße, Abwassermenge usw.) für das gesamte Bundesland zur Verfügung gestellt. In Summe sind derzeit in RLP 675 kommunale Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von knapp 6,4 Mio. Einwohnerwerten vorhanden, die jährlich eine Abwassermenge von rd. 352 Mio. m³ behandeln.

Die Übertragung der Ausbauszenarien auf diesen landesweiten Kläranlagenbestand ergab die in der nachfolgenden Tabelle 5 aufgezeigten Ausbauszenarien für Rheinland-Pfalz. Demnach werden mit Ausbau der 153 Kläranlagen > 10.000 EW in Summe 82 % der gesamten Kapazität erfasst. Der Ausbau der 8 Kläranlagen der GK 5 erfasst dagegen nur etwa 24 % der vorhandenen Ausbaupkapazität.

Für die Auswahl der Kläranlagen nach Belastungsschwerpunkten wurde eigens eine landesweite Abwasserlastkarte erstellt (siehe Abbildung 9). Eine Verknüpfung mit einer Belastungskarte für den Wirkstoff Diclofenac war in diesem Fall allerdings nicht möglich. Daher wurde als einheitliches Kriterium in diesem Szenario jede Kläranlage mit einer Abwasserlast größer 30 E/(l*s) für eine Nachrüstung mit einer 4. Reinigungsstufe ausgewählt. Als zusätzliches Kriterium wurden nur Anlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 10.000 EW betrachtet.

Tabelle 5: Ausbauszenarien zur Einführung von 4. Reinigungsstufen übertragen auf RLP

Szenario	Ausbauvariante	Anzahl KA	Summe Ausbaugröße	Anteil Gesamtkapazität
		[-]	[EW]	[%]
SZ1_RLP	KA GK 5 (> 100.000 EW)	8	1.625.000	24 %
SZ2_RLP	KA GK 4 und 5 (> 10.000 EW)	153	5.638.118	82 %
SZ3_RLP	ausgewählte KA	51	2.098.690	31 %

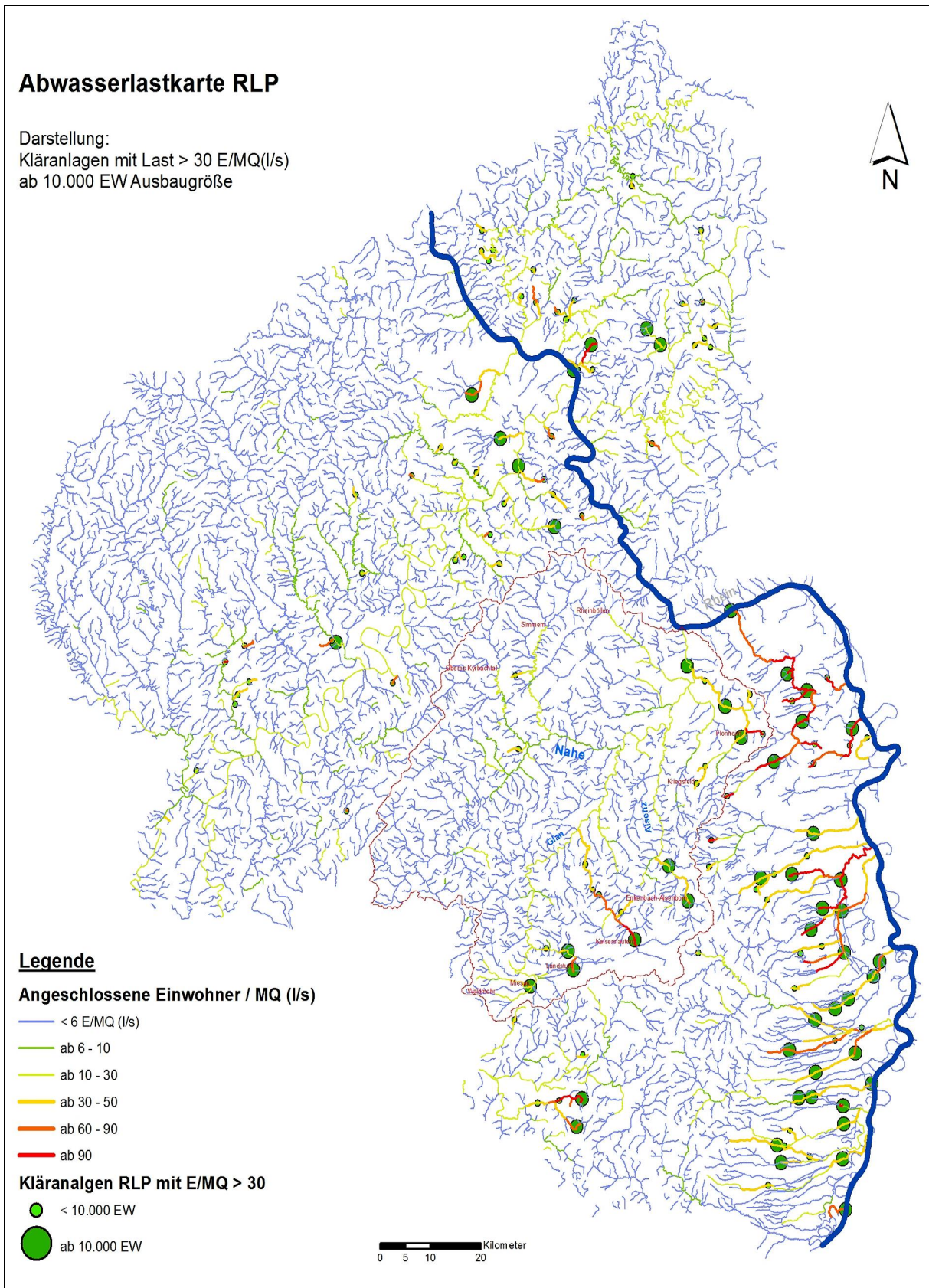


Abbildung 9: Abwasserlastplan für Rheinland-Pfalz

5.2 Kosten und Nutzen einer Einführung von 4. Reinigungsstufen in RLP

Die Kosten wurden nach dem gleichen Schema und unter Verwendung der identischen Kostenfunktionen ermittelt. Das qualitätsbezogenen Kosten/Nutzen-günstige Szenario eines Ausbaus nach der Abwasserlast ausgewählter Kläranlagen (SZ3_RLP) erfordert hiernach Investitionen von insgesamt 57 Mio. € ohne bzw. bis zu 155 Mio. € mit Integration einer zusätzlich erforderlichen Raumfiltration. Die Behandlungskosten erreichen bis zu 24 Ct/m³.

Tabelle 6: Abgeschätzte Kosten bei Übertragung der Ausbauszenarien auf RLP

Szenario			SZ1_RLP	SZ2_RLP	SZ3_RLP
Ausbauvariante			KA GK 5 (> 100.000 EW)	KA GK 4 und 5 (> 10.000 EW)	ausgewählte KA mit hoher Abwasserlast und > 10.000EW
Anzahl KA		[-]	8	153	51
Summe Ausbaugröße		[EW]	1.625.000	5.638.118	2.098.690
Anteil Gesamtkapazität EZG		[%]	24 %	82 %	31 %
Betriebskosten		[p/a]	2.740.959	11.434.904	4.201.569
Kapitalkosten		[p/a]	1.572.696	10.736.340	3.826.190
Investitionskosten	ohne Filter	[p]	23.980.473	161.559.987	57.416.690
	mit Filter	[p]	79.215.453	431.854.760	155.449.994
Jahreskosten	ohne Filter	[p/a]	4.313.654	22.171.244	8.027.759
	mit Filter	[p/a]	10.672.219	50.331.476	18.309.216
spezifische Behandlungskosten (Mittelwert aller Anlagen)	ohne Filter	[p/m ³]	0,06	0,11	0,11
	mit Filter	[p/m ³]	0,16	0,24	0,23

6 Zusammenfassung

Anhand einer Szenarienanalyse wurden systematisch die Potenziale verschiedener Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen von Mikroschadstoffen ermittelt. Hierzu wurden verschiedene Maßnahmen zur Reduktion des Stoffeintrags simuliert. Neben „end-of-the-pipe“-Lösungen durch gezielte Mikroschadstoffelimination in erweiterten Reinigungsstufen auf bestehenden Kläranlagen wurden auch quellenbezogene Maßnahmen (Vermeidung, Verminderung, Substitution etc.) im Modell implementiert und ihre Auswirkung auf die Gewässerbelastung und Frachtreduktion berechnet und miteinander verglichen.

Die Kosten-/ Nutzenanalyse ergibt zwar für den gezielten Ausbau von Kläranlagen an Belastungsschwerpunkten frachtbezogen das höchste K/N-Verhältnis, bezogen auf die Qualitätsverbesserung im Gewässer weist dieses Szenario aber das beste K/N-Verhältnis auf. Von dieser Maßnahme wären insgesamt 10 Kläranlagen im Bilanzraum betroffen. Übertragen auf das gesamte Bundesland Rheinland-Pfalz wären dies 52 Anlagen. Die Szenarienanalyse ermöglicht zusammenfassend das Ableiten zielangepasster und kostenoptimierter Handlungsstrategien.

7 Ausblick

Die verwendeten Kostenfunktionen basieren auf F&E-Projekten, Studien und Planungen, die sich in den betrachteten Substanzen, der erreichten Elimination bzw. der angestrebten Abreinigung einzelner Stoffe oder auch der anteilig behandelten Abwassermenge unterscheiden. Eine weiterführende Kostenoptimierung erfordert daher eine Vorgabe der in der 4. Reinigungsstufe zu erreichenden Elimination der Mikroschadstoffe. Hierbei ist zwischen einem emissions- und einem immissionsbasierten Ansatz zu unterscheiden:

Der Emissionsansatz fordert eine feste Ablaufkonzentration oder eine bestimmte Eliminationsrate für einen Einzelstoff oder eine Summe von Einzelsubstanzen. Mit der abflussbedingten Verdünnung würde mit dieser Elimination eine vorgegebene Qualitätsanforderung im Gewässer mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht. Der immissionsbasierte Ansatz geht dagegen von der Qualitätsanforderung im Gewässer aus. Unter Berücksichtigung einer Verdünnungsrate z. B. von Q_{TW}/MQ wird eine zulässige Konzentration festgelegt.

Eine große Kläranlage an einem leistungsschwachen Vorfluter könnte so eine erhöhte Elimination von z. B. über 90 %, die gleiche Kläranlage an einem leistungsstarken Gewässer dagegen eine reduzierte Elimination von möglicherweise nur 60 % erfordern. Die Anforderungen und die Sensitivitäten könnten bei beiden Betrachtungen durch eine gekoppelte dynamische Simulation des Kläranlagenabflusses und des Abflussgangs typischer Fließgewässer unter Berücksichtigung der oberlaufseitigen Vorbelastung untersucht und abgeleitet werden.

8 Literatur

- Schärer, M. (2014): Elimination von Spurenstoffen in der Schweiz. In: 47. Essener Tagung. Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 234, 55/1-55/9, ISA der RWTH Aachen, Aachen
- Schröder, M. (1998): Bewertung der Abwasserfiltration als Verfahrensschritt der kommunalen Abwasserbehandlung. Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 169, ISA der RWTH Aachen, Aachen
- Taudien Y., Kolisch G., Knerr H., Gretzschel O., Schmitt T.G. (2015): Szenarienbetrachtung zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen. Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, Bd. 39 (diese Ausgabe, S. 69-89)
- Türk, J., Dazio, M., Dinkel, F., Ebben, T., Hassani, V., Herbst, H., Hochstrat, R., Matheja, A., Montag, D., Remmler, F., Schaefer, S., Schramm, E., Vogt, M., Werbeck, N., Wermter, P., Wintgens, T. (2013): Volkswirtschaftlicher Nutzen der Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Arzneimitteln, Industriechemikalien, bakteriologisch relevanten Keimen und Viren (TP 9). MKULNV-NRW, AZ IV-7-042 600 001I, Düsseldorf
- UBA (2015): Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe. UBA Texte 26/2015, Forschungskennzahl 3711 26 202, UBA-FB 02088, Umweltbundesamt, Dessau
- UBA (2014): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer, Kurzbericht, Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA Texte 86/2104, Forschungskennzahl 3712 21 225, UBA-FB 002037/kurz (veröffentlicht 01/2015), Umweltbundesamt, Dessau
- Wagner, W. (2001), Abwassertechnik und Gewässerschutz. Betriebskosten von Abwasserreinigungsanlagen, Verlag C. F. Müller

Korrespondenz an:

Dr.-Ing. Gerd Kolisch
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal
Tel.: +49 202 583 292
E-Mail: kol@wupperverband.de

Optionen zur Verminderung der Einträge von Mikroschadstoffen an der Quelle

Dr.-Ing. Issa Nafo und Dipl.-Ing. Ekkehard Pfeiffer

Emschergenossenschaft/Lippeverband, Kronprinzenstr. 24, 45128 Essen

Kurzfassung: Viele Mikroschadstoffe wurden in den letzten Jahren aufgrund der Verbesserung der Analysetechnik im Wasserkreislauf in geringsten Konzentrationen nachgewiesen. Dabei stehen insbesondere Medikamentenwirkstoffe und Röntgenkontrastmittel vielfach im Fokus. Diese gelangen hauptsächlich durch die natürlichen Ausscheidungen des Menschen sowie durch die Entsorgung von nicht mehr benötigten Resten über Spüle und Toilette in das Abwasser. Einige dieser Mikroschadstoffe werden nur teilweise in Kläranlagen eliminiert, so dass mit dem gereinigten Abwasser Restbestände in die Gewässer gelangen. Aus Sorge vor möglichen Wirkungen für Mensch und Umwelt besteht insbesondere in Expertenkreisen Einvernehmen, dass ihr Eintrag bereits in das Abwasser durch Vermeidung oder Reduzierung der Anwendung bzw. durch Lösungsansätze an der Emissionsquelle gemindert werden sollte. Hierfür bedarf es einer Aufklärung der Bevölkerung und Dienstleister im Gesundheitsbereich, die eine Schlüsselrolle in diesem Zusammenhang spielen. Im Beitrag werden zwei durchgeführte Demonstrationsvorhaben zur Urinseparation und zur Sensibilisierung beschrieben, die die grundsätzliche Umsetzbarkeit solcher Maßnahmen an der Quelle zeigen.

Key-Words: Mikroschadstoffe, Abwasser, Urinseparation, Medikamentenrückstände, Sensibilisierung, Verhaltensänderung

1 Einleitung

Viele chemische Verbindungen in alltäglichen Produkten (wie zum Beispiel Flammschutz-, Pflanzenschutz- und Arzneimitteln) werden mit den in den letzten Jahren deutlich verbesserten Analyseverfahren in Spuren im Wasserkreislauf nachgewiesen. Je nach Substanz erfolgt der Eintrag über Oberflächenabfluss, Versickerung und

Grundwasserabfluss, Abwasser aus Haushalten und Betrieben oder durch die Landwirtschaft und Industrie.

Arzneimittelwirkstoffe und Röntgenkontrastmittel stellen dabei eine besondere Gruppe von Mikroschadstoffen dar. Dass sie in Gewässern vorkommen, ist ein ungewollter Nebeneffekt ihres bestimmungsgemäßen Gebrauchs. Damit Arzneimittel im Körper wirksam werden können, müssen genügend Wirkstoffmoleküle an der erkrankten Zelle ankommen, bevor sie vom Körper abgebaut werden. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Arzneimittel auch auf Stabilität optimiert. Deshalb werden die Wirkstoffe nicht vollständig im menschlichen Körper abgebaut, sondern vorwiegend über den Urin wieder ausgeschieden. So gelangen Rückstände von Humanarzneimitteln von Haushalten und Krankenhäusern ins Abwasser. Zum anderen stellt die falsche Entsorgung nicht mehr benötigter Medikamente über die Toilette oder den Abfluss einen weiteren wichtigen Eintragsweg in die Umwelt dar. Weitere Belastungen können auch über schadhafte Abwasserkanäle sowie über die Ausbringung von Gülle auf landwirtschaftliche Ackerflächen erfolgen, da auch Nutztiere Medikamente verabreicht bekommen.

Die Diskussionen über diese Mikroschadstoffe im Wasserkreislauf umfassen mögliche Risiken für Mensch und Ökosystem sowie den Handlungsbedarf. Dabei steht die Erfassung der möglichen Emissionsquellen und die Vermeidung bzw. Verminderung der Emissionen aus diesen Quellen im Mittelpunkt, einschließlich geeigneter Techniken zur Elimination der betreffenden Vielzahl von Substanzen aus dem Abwasser.

Die in der Diskussion stehenden Arzneimittelwirkstoffe und Röntgenkontrastmittel kennzeichnen sich dadurch, dass es derzeit für sie keine verbindlichen Grundlagen zur Bewertung ihrer Relevanz für die Gewässer gibt (bislang fehlende Umweltqualitätsnormen in der EU (vgl. Liste der prioritären Stoffe, Richtlinie 2013/39/EU) bzw. in Deutschland (z. B. in der Oberflächengewässerverordnung, Stand 2011; entsprechende Umweltqualitätsnormen sind auch nicht in der derzeit laufenden Novellierung vorgesehen) Einige Wirkstoffe wurden auf EU-Ebene lediglich auf eine Beobachtungsliste gesetzt, damit sie von den Mitgliedsstaaten in ihren Gewässern überwacht werden (vgl. Durchführungsbeschluss 2015/495 der EU-Kommission). Also gibt es bisher keine Anforderungen an Emissionsquellen bezgl. dieser Mikroschadstoffe. Der Handlungsbedarf zur Minimierung der Einträge wird daher vielfach mit dem Vorsorgeprinzip begründet. Für das Handeln aus Vorsorgegründen hinsichtlich des Vorhandenseins von Spurenstoffen im Wasser besteht eine notwendige gesellschaftliche Aufgabe darin, Gewässerschutzziele bzw. Ziele zur Emissionsreduktion zu erarbeiten (BAFU, 2006). Diese Ziele müssen sowohl die Relevanz der Stoffe als auch die Möglichkeiten und Grenzen möglicher Maßnahmen berücksichtigen, wobei die Risikobewertung sowie die Abwägung der Kosten und Nutzen möglicher Handlungen besonders zu beachten sind (EU-Kommission, 2000). Anschließend können Handlungs-

optionen bewertet sowie bei Vorlage neuer wissenschaftlicher Daten überprüft und ggf. angepasst werden.

Für ein Handeln aus Vorsorgegründen ist eine integrative Bewirtschaftungsstrategie notwendig, die den gesamten Lebenszyklus der betreffenden Mikroschadstoffe, von der Produktion über die Verwendungsstellen bis zur Entsorgung, berücksichtigt (vgl. Abbildung 1). Die Aufrüstung von Kläranlagen um eine zusätzliche Stufe zur gezielten Elimination von Mikroschadstoffen kann zwar ein Baustein der Emissionsminderungsstrategie sein, nachhaltige Lösungen sollten aber bereits bei der Produktion bzw. dezentral am Entstehungsort der betreffenden Substanzen ansetzen. Zu diesen Handlungsoptionen zählen etwa die dezentrale Abwasserbehandlung an Eintragungsschwerpunkten, die Trennung von Abwasserströmen an der Quelle und die Sensibilisierung der Verbraucher zum gewässerschonenden Umgang mit diesen Substanzen.

Auch im Sinne des Multibarrierenprinzips muss die Vermeidungsstrategie an der Quelle eine wichtige Rolle spielen, insbesondere wenn die Emission von umweltrelevanten Substanzen durch den Technikeinsatz allein nur unzureichend begrenzt werden kann. Sowohl in der nationalen Strategie der Schweiz (vgl. Gälli et al. 2009) als auch in der Strategie der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR, 2010) werden solche Maßnahmen bei Verbrauchern und Anwendern als mögliche Handlungsoptionen zur Reduzierung der Emissionen angesehen. Als Handlungsoptionen spielen sie auch bei den Diskussionen auf EU-Ebene im Hinblick auf die in 2015 zu erwartende Strategie der EU-Kommission bezüglich der Arzneirückstände in der Umwelt eine große Rolle (BIO IS, 2013). Durch eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit könnte das Bewusstsein für das Thema erhöht werden. Gegenwärtig ist allgemein von einem geringen Bekanntheitsgrad der Thematik „Medikamentenrückstände im Wasserkreislauf“, sowohl in der Bevölkerung als auch bei den relevanten Akteuren der medizinischen Versorgung wie Ärzte und Apotheker, auszugehen (Stemplewski et al., 204; ISOE, 2008).

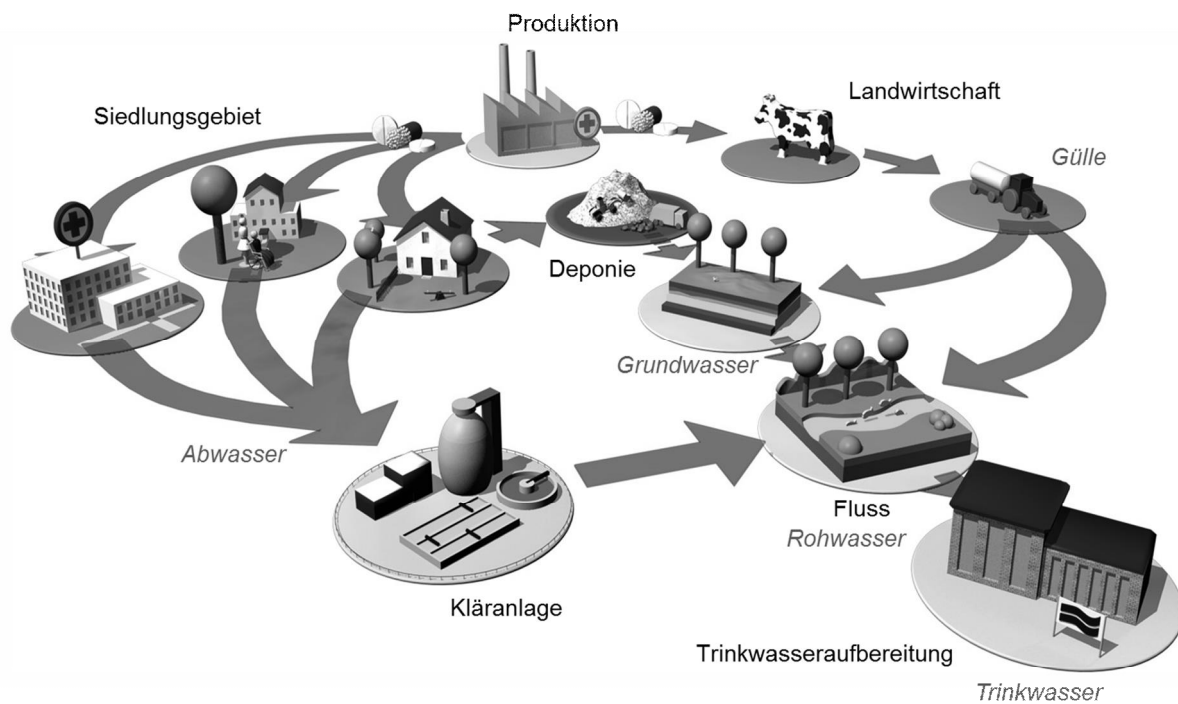


Abbildung 1: Quellen und Eintragspfade von Medikamentenrückständen in den Wasserkreislauf

In diesem Beitrag werden folgende Beispiele aus eigenen Untersuchungen dargestellt, welche die grundsätzliche Umsetzbarkeit solcher Maßnahmen an der Quelle zeigen:

- Urinseparationsstudie zur Emissionsminderung von Röntgenkontrastmitteln ins Abwasser
- Sensibilisierung zur Vermeidung und Reduzierung von Medikamentenrückständen an der Quelle

2 Urinseparation zur Emissionsminderung von Röntgenkontrastmitteln ins Abwasser

2.1 Ziele und Ansatz

In der Radiologie und der Nuklearmedizin werden qualitativ hochwertige und technisch ausgefeilte Kontrastmittel verwendet, die in der modernen Medizin für Diagnosezwecke unverzichtbar sind. Anders als bei einem MRT (Magnetresonanztomographie), bei dem z. B. das Metall Gadolinium verabreicht wird, um etwa Blutbahnen im Magnetfeld sichtbar zu machen, wird bei einem CT (Computertomographie) etwa ein jod- oder bariumsulfathaltiges Kontrastmittel verwendet, das Röntgenstrahlen absorbiert und so eine Abbildung des menschlichen Inneren sichtbar wird.

Durch ihre chemischen Eigenschaften sind die Kontrastmittel im menschlichen Körper stabil und werden innerhalb von 24 Stunden bereits weitestgehend ausgeschie-

den. Sie sind für die konventionellen Abwasserbehandlungsprozesse in kommunalen Kläranlagen kaum zugänglich. Somit gelangen Rückstände in die Oberflächengewässer und wurden örtlich sogar im Trinkwasser nachgewiesen. Im Allgemeinen werden Kontrastmittel als ungefährlich für den Menschen eingestuft und bezogen auf bisher in Gewässern nachgewiesenen Konzentrationen als ökotoxikologisch nicht relevant betrachtet (vgl. Kormos, 2010). Aufgrund ihrer Persistenz ist jedoch eine Anreicherung in der Umwelt möglich.

Wie oben dargestellt, kann durch eine dezentrale Behandlung von Krankenhausabwasser bei einem entsprechenden Energieeinsatz der Eintrag von vielen Arzneimittelrückständen und das Potential für die Ausbreitung von resistenten Keimen an einer Punktquelle reduziert werden. Polare Substanzen wie Röntgenkontrastmittel sind jedoch auch durch Kombination mehrerer Abwasserbehandlungsverfahren nicht zugänglich. Daher wurde im Rahmen des EU-Projektes noPILLS die grundsätzliche Machbarkeit der getrennten Erfassung dieser Substanzen vor dem Eintrag ins Abwasser untersucht.

In Kooperation mit der radiologischen und nuklearmedizinischen Abteilung des Marienhospitals Gelsenkirchen (MHG) wurde vom 15. bis zum 28.09.2014 eine Separationsstudie durchgeführt. Folgende Ziele standen im Vordergrund:

- Aufzeigen der grundsätzlichen Durchführbarkeit im alltäglichen Betrieb einschl. der Akzeptanz beim Pflegepersonal und bei der medizinischen Leitung
- Darstellung der grundsätzlichen Akzeptanz bei Patienten zur Nutzung von Urinbeuteln für die Reduzierung der Emission von RKM ins Abwasser
- Darlegung, inwieweit eine Reduzierung der RKM-Emission ins Abwasser über diesen Weg möglich ist

Für die Separationsstudie wurde der jodhaltige Wirkstoff Iomeprol (Imeron®) als Indikatorparameter betrachtet, das am Zulauf der vor Ort existierenden dezentralen Kläranlage mengenmäßig am höchsten gemessene RKM. Vom Gesamtverbrauch an Imeron® im MHG werden rund 40 % in der Radiologie-Abteilung und der Rest etwa in der Kardiologie verabreicht. Es handelt sich beim Imeron® um eine klare farblose bis schwach gelbliche Lösung. Nach Fachinformation des Herstellers werden bereits zwei Stunden nach der Injektion 50 % der initiierten Dosis mit dem Urin ausgeschieden. Nach 8 Stunden sind ca. 80 % und nach 48 Stunden ist die Substanz fast vollständig ausgeschieden (ca. 95 % über Urin und 5 % über den Faeces).

Anders als in der Separationsstudie von Heinzmann et al. (2006), in der in zwei Berliner Kliniken die Machbarkeit und Akzeptanz von Trenntoiletten in der Röntgenabteilung und die dezentrale Erfassung von mobilen Urinbehältern untersucht wurde, sollten hier die Radiologiepatienten während der zweiwöchigen Separationsstudie in den nächsten Stunden nach der Untersuchung fünf Urinbeutel benutzen. Dabei sollten nur Patienten berücksichtigt werden, die mobil sind bzw. keine zusätzliche Hilfe vom

Pflegepersonal zur Benutzung der Urinbeutel benötigen. Die zur Verfügung gestellten Urinbeutel (roadbag®) sind nach Information des Herstellers aus reißfestem Material und enthalten einen Absorber, der warme Flüssigkeit rasch bindet und zu einem festen Gel verdichtet. Die Urinbeutel sollten nach Verwendung über den Hausmüll zur Verbrennung entsorgt werden.

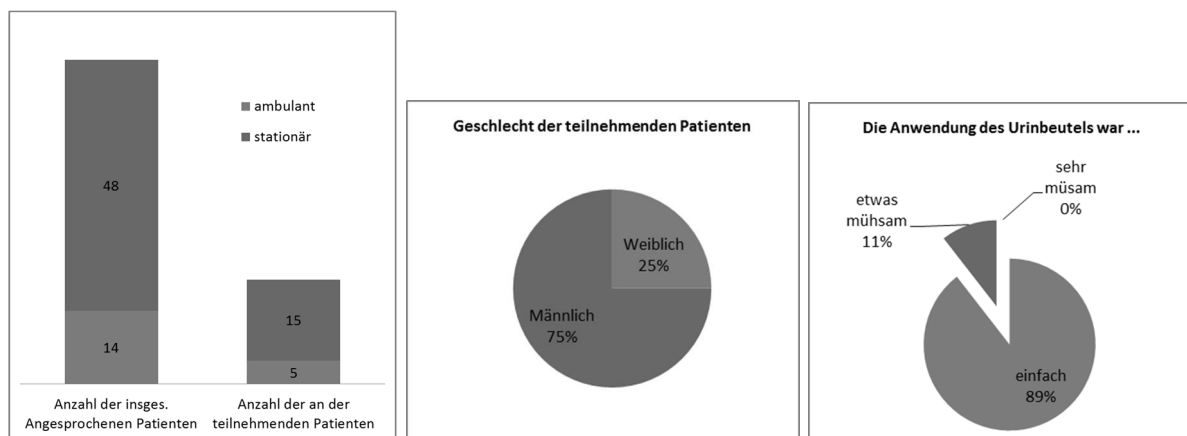
Die Patienten sollten während des normalen Beratungsgesprächs vom medizinischen Personal über die Studie informiert werden. Bei Zusage für die freiwillige Teilnahme wurde vom Personal eine Tasche mit je 5 Urinbeuteln sowie u. a. Infomaterial und einem Fragebogen mit frankiertem Rückumschlag übergeben. Die teilnehmenden Patienten sollten die Fragebögen ausfüllen und zurück senden. Ein separater Fragebogen sollte zu Kontrollzwecken vom Personal ausgefüllt werden. Dieser enthielt zusätzliche Angaben wie über die verabreichte Art und Menge des RKM und ob es sich um ambulante oder stationäre Patienten handelte.

Die Separationsstudie wurde durch ein intensives Monitoring des Zulaufs der dezentralen Kläranlage der Emschergenossenschaft am Standort des Krankenhauses begleitet, um mögliche messbare Effekte zu erfassen.

2.2 Einige Erkenntnisse aus der Separationsstudie

Die Durchführung der Studie fand gute Akzeptanz sowohl bei der medizinischen Leitung als auch beim Pflegepersonal, die das Projekt sehr motiviert unterstützten. Der Zeitaufwand für die Information der Patienten und die Herausgabe der Urinbeutel hielt sich in Grenzen.

Unter den oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurden vom medizinischen Personal während der Separationsstudie Urinbeutel und Fragebögen an insgesamt 62 Patienten (darunter 48 stationäre Patienten) herausgegeben. 20 Patienten (15 stationäre und 5 ambulante) haben ihren Fragebogen zurück gesandt und angegeben, dass sie die Urinbeutel genutzt haben (Abbildung 2). Für die kurze Vorlaufzeit der Studie und den geringen eingesetzten Aufwand für die Information der Patienten kann diese Beteiligungsquote von rd. 30 % als gut angesehen werden. Warum mehr männliche (15 in der Zahl) als 5 weibliche Patienten teilnahmen, ist noch im Detail zu klären. Vor allem männliche Patienten nutzten das Kommentarfeld im Fragebogen und merkten etwa die Einfachheit der Anwendung an.



Abbildungung 2: Anzahl der angesprochenen und teilnehmenden Patienten während der Studie (links), Geschlecht der teilnehmenden Patienten (Mitte) und ihre Rückmeldungen zur Anwendung der Urinbeutel (rechts)

Im MHG werden üblicherweise Imeron® 300 und Imeron® 400 MCT mit einem Wirkstoffgehalt von ca. 61,24 g bzw. 81,65 g Iomeprol verwendet. An die 62 angesprochenen Patienten wurden während der zweiwöchigen Separationsstudie insgesamt rd. 3,6 kg Iomeprol verabreicht. Somit lag die potentielle Emissionsminderung während der Separationsstudie durch die teilnehmenden 20 Patienten mit ca. 1,2 kg Iomeprol bei rd. 30 %.

Für eine dauerhafte Integration einer solchen getrennten Erfassung von RKM im alltäglichen Krankenhausbetrieb sind weitere Randbedingungen, beispielsweise bezüglich der Kostentragung, der Logistik und der Müllentsorgung zu klären.

3 Sensibilisierung zur Vermeidung und Reduzierung von Medikamentenrückständen an der Quelle

3.1 Ansatz der Sensibilisierung

Neben der natürlichen Ausscheidung von nicht vollständig im Körper verbrauchten Wirkstoffen stellt die falsche Entsorgung nicht mehr benötigter Medikamente über die Toilette oder den Abfluss einen weiteren Eintragsweg in die Umwelt dar.

Empirische Studien ergaben, dass zum Teil größere Mengen an Altmedikamenten unsachgerecht entsorgt werden (ISOE, 2008; Kallaos et al., 2007). Aufklärende Maßnahmen wie Verbraucherinformation über die „richtige“ Entsorgung von Altmedikamenten seien daher angebracht. Auch eine Bewusstseinssteigerung von Ärzten und Apothekern mit Schlüsselrollen für die medizinische Versorgung der Bevölkerung, wird als wichtige Handlungsoption für die Vermeidung und Verminderung von Medikamentenrückständen im Wasserkreislauf gesehen.

Ein solcher Ansatz wurde von 2013 bis 2015 im Projekt „Den Spurenstoffen auf der Spur in Dülmen (DSADS)“ untersucht. In der westfälischen Stadt Dülmen mit 47.000

Einwohnern wurden Art und Weise der Emission von Arzneimittelwirkstoffen aus der Humanmedizin in den Wasserkreislauf erforscht, Wege zur Vermeidung und zur Reduzierung der Einträge über das Abwasser an der Quelle aufgezeigt und eine gezielte Kommunikationskampagne für Bevölkerung, Ärzte, Apotheker und medizinisches Personal in Einrichtungen des Gesundheitswesens durchgeführt.

Die Projektaktivitäten umfassten die Entwicklung, Kommunikation und Umsetzung von Sensibilisierungsmaßnahmen. Diese unter starker Einbindung der Stadt Dülmen sowie in Zusammenarbeit mit verschiedenen Akteuren (Schulen, Apotheker, Ärzte, Krankenhäuser, Krankenkassen, usw.) entwickelten Instrumente zielten auf die Verringerung der Emissionen aus Haushalten (z. B. sachgerechte Entsorgung von Arzneimitteln, Verhaltensänderung im Umgang mit Arzneimitteln, usw.) ab. Als Sensibilisierungsmaßnahmen dienten etwa bevölkerungsaktivierende Veranstaltungen, Fachgespräche mit Akteuren im Gesundheitssektor sowie Projekte mit Schulen.

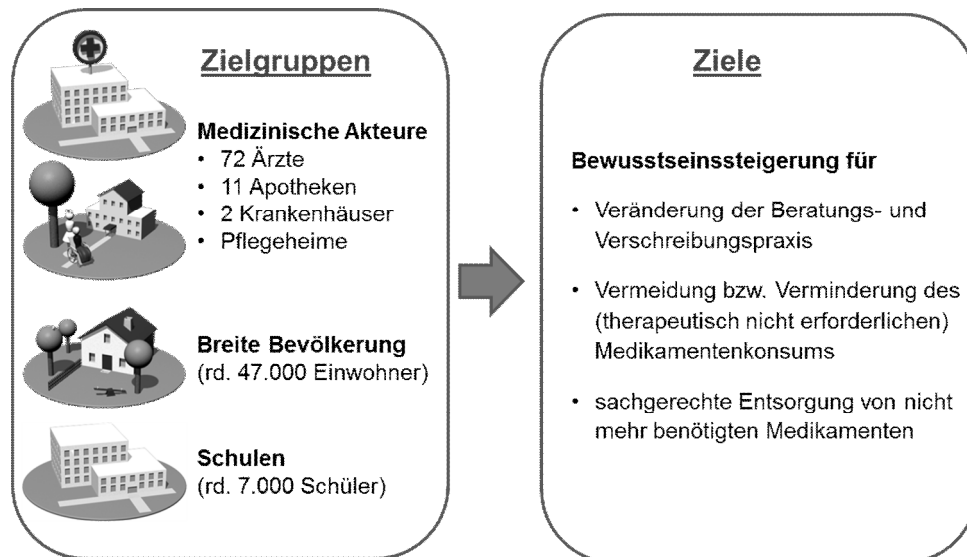


Abbildung 3: Ausgewählte Zielgruppen und Ziele der Sensibilisierung

Grundlagen für die Entwicklung von Sensibilisierungsmaßnahmen bzw. die Einschätzung des Handlungspotenzials waren die Erfassung und Analyse der Verbrauchsmengen von Medikamenten nach Art der Verwendung sowie sozial-empirische Untersuchungen vor Ort.

Die Erfolgskontrolle der Sensibilisierungsmaßnahmen erfolgte über empirische Untersuchungen und eine integrierte Wirkungsabschätzung (Modellierung). Dabei sollen auch Hinweise auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebiete gewonnen werden.

Für die erfolgreiche Durchführung des Projektes wurden die Akteure vor Ort schon von Beginn an konsultiert und eingebunden. Das Projekt wurde von einem Beirat

unter dem Vorsitz der Bürgermeisterin der Stadt Dülmen und mit Beteiligung von Vertretern der Zielgruppen in der Stadt sowie des Landes NRW begleitet.

Hauptgrundlage für die Entwicklung von Sensibilisierungsmaßnahmen war ein Kommunikationskonzept, das den „Ist-Zustand“ berücksichtigt (vorhandenes Wissen des Themas bei den Zielgruppen, Einschätzung des Handlungspotenzials und der Handlungsmöglichkeiten usw.). Dies erfolgt über Befragungen von Haushalten und medizinischen Akteuren, eine Bilanzierung des Arzneimittelverbrauchs und die Messung von Wirkstoffkonzentrationen ausgewählter Arzneimittel im Abwasser.

Bilanzierung des Arzneimittelverbrauchs

Ziel der Bilanzierung des Arzneimittelverbrauchs war es, Daten zur Verfügung zu stellen, anhand derer Strategien zur Vermeidung und zur Reduzierung der Arzneimitteleinträge in das kommunale Abwasser entwickelt und implementiert werden können.

Die Bilanzierung des Arzneimittelverbrauchs erfolgte für verschiedene lokal ansässige Einrichtungen des Gesundheitswesens sowie der privaten Haushalte. Auf der Grundlage von jährlichen Verbrauchsdaten aus Klinikapotheken, von jährlichen Verkaufsdaten der drei größten lokalen Apotheken sowie eines Arzneimittelgroßhandels erfolgte eine Bestandsaufnahme von repräsentativen Wirkstoffen. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Metabolisierung konnten Eintragsmengen dieser Wirkstoffe ins Abwasser und die daraus resultierenden Konzentrationen eingeschätzt werden.

Empirische Untersuchungen

Mit sozial-empirischen Untersuchungen wurden zwei wesentliche Ziele im Projekt verfolgt: die Erfassung und Analyse der aktuellen Einstellungen und Verhaltensmuster in der Stadt im Hinblick auf Ansätze für die Planung von entsprechenden Sensibilisierungsmaßnahmen sowie die Überprüfung der möglicherweise erzielten Einstellungsveränderungen der Zielgruppen als Folge der Sensibilisierungsmaßnahmen.

Die zu Beginn des Projektes, zwischen dem 28.1.2013 und dem 12.2.2013, durchgeführte repräsentative Bevölkerungsbefragung ergab z. B. wichtige Grundlagen für die Konzipierung des Kommunikationskonzeptes, nämlich dass (vgl. Stemplewski et al., 2014):

- die Bevölkerung den Gewässern eine hohe Wertschätzung entgegenbringt, als Vermächtniswert für die nachfolgenden Generationen und als Wertschätzung des Ökosystems.
- die Gewässerbelastung durch Medikamentenrückstände allgemein einer Mehrheit der Bevölkerung bekannt ist. Deutlich weniger ausgeprägt ist das Wissen, dass eine solche Belastung der Gewässer auch „vor Ort“ ggf. vorliegt.

- annähernd ein Viertel der Haushalte Altmedikamente zumindest gelegentlich über das Abwasser und damit in einer die Gewässer belastenden Weise entsorgt (siehe Abbildung 4).
- Schmerzstillende Wirkstoffe in tlw. rezeptfreien Medikamenten, zu den am meisten eingenommenen Medikamenten gehören.
- die Verhaltensänderungen bei der Einnahme und Entsorgung von Medikamenten als sehr wichtige Handlungsoption anzusehen ist.
- das Vertrauensverhältnis von Bevölkerung und Ärzte- bzw. Apothekerschaft eine gute Basis für eine nachhaltige Sensibilisierung und einen veränderten Umgang mit Medikamenten bietet.

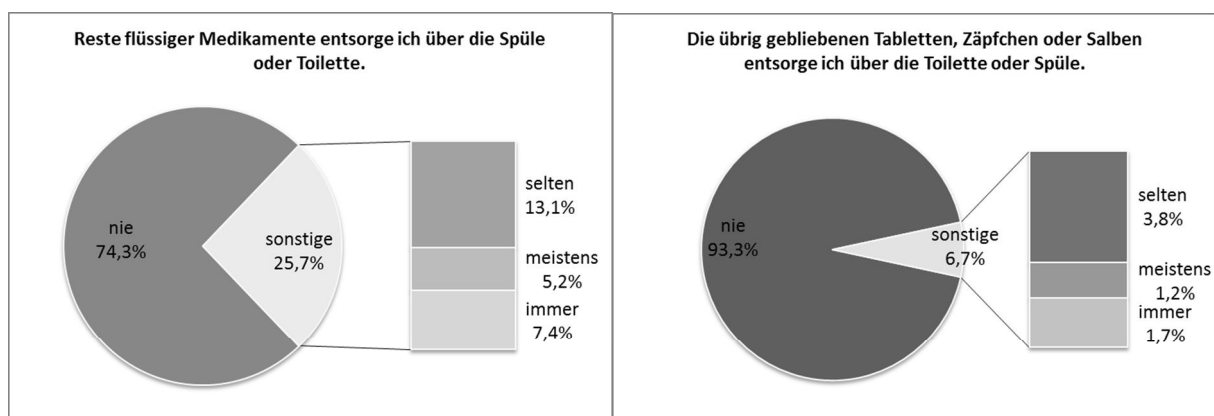


Abbildung 4: Repräsentative Bevölkerungsbefragung in Dülmen über die Entsorgung von Medikamentenresten (2013, n= 400)

3.2 Sensibilisierungsaktivitäten

Mit verschiedenen Kommunikationskampagnen über das Verhältnis von Arzneimittelkonsum und Wasserqualität sollten verschiedene Akteure informiert und dazu eingeladen werden, sich aktiv an der Erhaltung der guten Wasserqualität vor Ort zu beteiligen, nach dem Motto „es lohnt sich, bereits heute zu handeln, damit mögliche Probleme für Mensch und Umwelt gar nicht erst entstehen“. Dazu wurden im Rahmen verschiedener Kampagnenbausteine zielgruppenspezifische Lösungsvorschläge erarbeitet sowie konkrete Handlungsfelder für die praktische Umsetzung dieser Lösungswege eröffnet. Dabei sorgten verschiedene, zeitlich aufeinander folgende Kampagnenbausteine für eine durchgängig hohe Aufmerksamkeit. Minimalziele der Kampagnen waren die Wissensvermittlung und die grundsätzliche Sensibilisierung der Zielgruppen für das Thema. Daneben wurden zielgruppenspezifische Ziele, auch gemeinsam mit den entsprechenden Akteuren, formuliert und bei den Kampagnen berücksichtigt.

Grundgedanken der Kampagnenbausteine sind u. a.

- das Stärken des Bürgersinns,

- das Ansprechen der Stadt als lokale Gemeinschaft, die sich gemeinsam und aktiv dafür einsetzt, die gute Wasserqualität vor Ort langfristig zu bewahren,
- die Vermittlung der Botschaft, dass jeder am Erfolg des Projekts mitwirken kann, weil auch der kleinste Beitrag hilft!

So wurden verschiedene zielgruppenspezifische Kommunikationskampagnen konzipiert und durchgeführt, von denen nachfolgend einige Beispiele kurz dargestellt werden.

3.2.1 Sensibilisierung der Zielgruppe Ärzte und Apotheker

Ärzte und Apotheker als die Experten haben für die Gesundheitsversorgung der Patienten eine entscheidende Funktion bei der Sensibilisierung der Bevölkerung zum veränderten Umgang mit Arzneimitteln. Laut der zu Beginn des Projektes durchgeführten Haushaltsbefragung in Dülmen wurden sie als sehr kompetent angesehen und genießen eine hohe Anerkennung in der Bevölkerung. Um diese Zielgruppe für das Projekt DSADS zu aktivieren, wurden Fachgespräche durchgeführt. Neben der Verständigung über den Sachstand, den Handlungsbedarf und die Handlungsoptionen – allgemein und für Ärzte und Apotheker im Besonderen – sollten die Akteure zur Formulierung ihrer gewonnenen Erkenntnisse, zur kritischen Diskussion des Handlungsbedarfs sowie zur aktiven Formulierung von Lösungsansätzen und Handlungsmöglichkeiten eingeladen werden.

Als Folge dieser Diskussionen mit den medizinischen Akteuren wurden verschiedene Sensibilisierungskampagnen entwickelt und durchgeführt, wie zum Beispiel:

- Konzertierte zweiwöchige Aktion mit Beteiligung aller Apotheken in Dülmen, begleitet mit einer Plakataktion in Apotheken, Arztpraxen, Kliniken, Pflegeheimen und an verschiedenen Plätzen in der Stadt. Damit sollte der Bevölkerung bei der Rückgabe von abgelaufenen und nicht mehr benötigten Arzneimitteln in Apotheken Botschaften vermittelt werden, wie sie durch die richtige Entsorgung von Altarzneimitteln und einen bewussten Medikamentenkonsum dazu beitragen kann, ihre Gewässer zu entlasten. Ärzte und Apotheker sollten zudem bei ihren Patienten und Kunden regelmäßig nachfragen, ob diese benötigte Medikamente noch vorrätig haben, bevor sie neue abgeben bzw. verschreiben. So können das Verbraucherbewusstsein gefördert und Arzneimittelabfälle vermieden werden
- Zertifiziertes Fortbildungsseminar für Ärzte
- Teilnahme an Ärztezirkel-Sitzungen
- Konzertierte zweiwöchige Aktion der Ärzte in Dülmen: Ärzte übergeben Flyer mit Botschaften zum wasserfreundlichen Umgang mit Medikamenten



Abbildung 5: Gemeinsame Aktion mit Apotheken - „Frühjahrsputz für die Hausapotheke“

Von Kristina Kerstan

DÜLMEN. Den blauen Flyer werde er auf seinen Schreibtisch legen, hat sich Dr. Martin Olbrich vorgenommen. Um ihn direkt bei der Hand zu haben im Gespräch mit Patienten. Und auch am Empfang werden die Falblätter liegen. „Im Prinzip wird es bei jedem Rezept einen Flyer geben“, betont der Vertreter des Dülmener Ärztenetzes.

„Man kann Medikamente ruhigen Gewissens in den Hausmüll geben.“

Dr. Martin Olbrich

Denn die Patienten darüber zu informieren und dafür zu sensibilisieren, wie Medikamente richtig entsorgt werden, ist das Ziel eines zweiwöchigen Projektes, das Dülmener Ärztenetz und



Die Flyer und Plakate für die Projektwochen stellt Michael Steinbach (2.v.r.), Sprecher des Lippeverbandes, zusammen mit (v.l.) Dr. Christoph Everding, Nicole Waltering und Dr. Martin Olbrich von der Gemeinschaftspraxis in Buldern vor.

ÖZ-Foto: Kerstan

Medikamente zu entsorgen“, den Hausmüll zu geben. Die tag verteilt wird, gibt es kut so der Allgemeinmediziner. Aktionswochen finden im ze Tipps zur Entsorgung alte

Abbildung 6: Gemeinsame Aktion mit Ärzten – „Ein Flyer zum Rezept“

3.2.2 Sensibilisierungsmaßnahmen in Schulen

Schüler sind gute Multiplikatoren innerhalb und außerhalb der Schulmauern zur Sensibilisierung der Bevölkerung. Daher wurde frühzeitig im Projekt ein Bildungskonzept für Angebote an Schulen entwickelt. Schüler sollten Wissen über das Thema aufbauen, selbst eine Kommunikationsstrategie entwickeln und durchführen, um die Bevölkerung zu einem bewussteren Umgang mit Arzneimitteln und deren Entsor-

gung zu animieren. Dabei wurden klare Bildungsziele verfolgt wie u. a. die Übernahme von Verantwortung für Umwelt und Gesellschaft, die Förderung der Jugendpartizipation, die Förderung der Persönlichkeitsentwicklung, die Ausbildung von Gestaltungs- und Handlungskompetenz sowie die Steigerung des Umweltbewusstseins bei den (aktiv beteiligten) Schülern selbst.

In enger Kooperation mit der Stadt und der örtlichen Volkshochschule konnten zunächst vier Schulen und eine Jugend-Naturschutzgruppe für die Zusammenarbeit gewonnen werden. Bis zum Ende des Projektes wurden insgesamt dreizehn Grundschulen und weiterführende Schulen eingebunden.

Die Schüler sollten selbst z. B. durch Kläranlagenbesichtigungen und Interviews mit Experten Wissen über dieses Thema erlangen, eigene Recherchen (z. B. Befragungen in der Stadt) durchführen und ihre erlangten Kenntnisse durch selbst entwickelte Instrumente kommunizieren. So sind beispielsweise interaktive Brettspiele, Kollagen, 3D-Modelle, Info-Flyer und ein Theaterstück von den Schülern erstellt worden, die bei verschiedenen Veranstaltungen vorgestellt wurden. Zum Beispiel wurde ein von Zehntklässlern einer Realschule im Rahmen des Projektes gedrehter Kinospot von drei Kinos in der Region als Vorprogramm gezeigt.



Abbildung 7: Beispiele von Aktionen von Schülern (links: PR-Aktion auf dem Wochenmarkt; rechts: Dreh eines Kinospots)

4 Fazit

In diesem Beitrag wurden verschiedene Beispiele dargestellt, die die grundsätzliche Machbarkeit von Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen des Eintrags von Mikroschadstoffen an der Quelle aufzeigen, nämlich die getrennte Erfassung von Röntgenkontrastmitteln und die Sensibilisierung von Bevölkerung und medizinischen Akteuren. Diese Handlungsoptionen sollten inhärenter Bestandteil einer nachhaltigen Emissionsminderungsstrategie von bestimmten Mikroschadstoffen im Wasserkreislauf sein.

Weder medizinische Akteure noch die Bürger sind in der Regel ausreichend über das Thema Medikamentenrückstände im Wasser informiert. Die Erfahrungen aus den hier dargestellten Demonstrationsbeispielen zeigen aber, dass eine Aktivierung dieser Akteure für die Sensibilisierung mit dem Zweck der Emissionsminderung möglich ist. Auch Schulen als Multiplikatoren können für entsprechende Aktivitäten erfolgreich gewonnen werden.

Viele Sensibilisierungsaktivitäten sind mit geringfügigen finanziellen Mitteln bundesweit durchführbar. Auch wenn der Umfang des Reduzierungspotentials sich schwer quantifizieren lässt und die Änderung von Verhalten Zeit in Anspruch nimmt, sollte bereits heute mit solchen Aktivitäten als „no regret“-Maßnahmen begonnen werden.

Medikamentenrückstände in der Umwelt sind ein gesellschaftlich verursachtes und demnach auch gemeinsam zu lösendes Problem. Bei einer frühzeitigen Fokussierung auf einen Teil der Lösung, wie z. B. die 4. Reinigungsstufe auf Kläranlagen, besteht die Gefahr, dass ggf. kosteneffizientere oder auch gesamtökologisch sinnvollere Handlungsoptionen nicht weiter verfolgt werden. Dies betrifft insbesondere Maßnahmen zur Verminderung oder Vermeidung der Ausbringung in die Umwelt durch Veränderungen am Produkt selber sowie auch bei der Verschreibung, beim Verkauf und bei der Anwendung.

Danksagung:

Das Projekt DSADS wurde vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) gefördert und vom Europäischen INTERREG-IV-B-Programm im Rahmen des Projekts „noPILLS in waters“ co-finanziert.

Das Projekt PILLS wurde vom Europäischen INTERREG-IV-B-Programm co-finanziert.

Literatur

- BIO Intelligence Service (2013): Study on the environmental risks of medicinal products. Final Report prepared for Executive Agency for Health and Consumers
- EU-Kommission (2000): Mitteilung der Europäischen Kommission zur Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. [KOM (2000) 1 endgültig]
- EU-Kommission (2013): Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Union L 226/1 vom 24.08.2013
- EU-Kommission (2015): Durchführungsbeschluss 2015/495 der EU-Kommission zur Erstellung einer Beobachtungsliste von Stoffen für eine unionsweite Überwachung im Bereich der Wasserpolitik gemäß der Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union L 78/40 vom 24.03.2015
- Gälli R., Ort C., Schärer M. (2009): Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung. Umwelt-Wissen Nr. 0917. Bundesamt für Umwelt, Bern
- Heinzmann Bernd, Petra Schuster, Rolf-Jürgen Schwarz (2006): Getrennte Erfassung von jodorganischen Röntgenkontrastmitteln mit mobilen Urinbehältern in zwei Krankenhäusern: Ergebnisse der Testphase, Gas- und Wasserfach, vol. 147, Nr. 11 pp.710-716
- IKSR (2010): Strategie Mikroverunreinigungen - Strategie für die Siedlungs- und Industrieabwässer. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) (Hrsg.). Bericht Nr. 181
- Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH (2008, Hrsg.): Humanarzneimittelwirkstoffe - Handlungsmöglichkeiten zur Verringerung von Gewässerbelastungen. Eine Handreichung für die Praxis. Frankfurt a.M.
- Kallaos J., Wheeler K., Wong C., Zahler M. (2007): Pharmaceuticals in Wastewater Streams - Disposal Practices and Policy Options in Santa Barbara. A Master's Project for the Donald Bren School of Environmental Science and Management.
- Kormos, J. L. (2010): Investigating the Environmental Fate of Iodinated X-ray Contrast Media in den Urban Water Cycle: Identification, Characterization, and Occurrence of Biotransformation Products, Uni Koblenz-Landau, Dissertation

Stemplewski J, Pfeiffer E, Nafó I, Liesenfeld J, Müller R, Stachowiak J (2014):
Herausforderung Spurenstoffe im Wasser – Empirische Befunde zum
Umgang mit Medikamenten. In KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2014
(61) - Nr. 10

Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässer-
verordnung) vom 20 Juli 2011, BGBl I S. 1429

Korrespondenz an:

Dr.-Ing. Issa Nafó
Emschergenossenschaft/Lippeverband
Kronprinzenstr. 24
45128 Essen
Tel.: 0201/104-2779
Fax.: 0201/104-2231
E-Mail: nafo.issa@eglv.de

Mikroschadstoffe in Gewässern – Bewertung aus Sicht der Kommunen

Bürgermeister Aloysius Söhngen
Vorsitzender des Gemeinde- und Städtebunds Rheinland-Pfalz
Deutschhausplatz 1, 55116 Mainz

Kurzfassung: Die Anschlussgrade und Reinigungsleistungen der kommunalen Abwasserbeseitigung haben zwischenzeitlich einen hohen Stand erreicht. Mit den Mikroschadstoffen stehen neue Herausforderungen an, denen sich die kommunalen Aufgabenträger nicht verweigern. Die Maßnahmen dürfen jedoch nicht vorschnell und einseitig auf "end-of-pipe"-Ansätze in den kommunalen Kläranlagen reduziert werden. Mindestens genauso dringlich ist die Vermeidung bzw. Minimierung der Belastungen auf der Eintragsseite – von der Arzneimittelzulassung und -anwendung bis zur Entsorgung der Reststoffe. Aus kommunaler Sicht muss es darum gehen, die richtige Kombination einzelner Maßnahmen und Instrumente zu wählen. Die Umsetzung muss sorgfältig mit den vielfältigen anderen zu beachtenden Restriktionen und Zielsetzungen (z. B. Energieeffizienz, Akzeptanz, Entgeltbelastung der Bürger, Geltung des Verursacherprinzips, verfügbare Finanzmittel u. a. m.) abgewogen werden. Die Umsetzung muss schrittweise und mit Augenmaß anhand einer klaren Prioritätensetzung erfolgen.

Key-Words: Mikroschadstoffe, Arzneimittelrückstände, kommunale Kläranlagen, weitergehende Abwasserreinigung, Entgeltbelastung

1 Einführung

Die kommunalen Abwasserbetriebe der Städte, Gemeinden und Verbandsgemeinden in Rheinland-Pfalz sind unter dem Dach des Gemeinde- und Städtebunds und des Städtetags im Fachbeirat Eigenbetriebe und kommunale Unternehmen repräsentiert. Der Fachbeirat arbeitet in allen die Abwasserbeseitigung betreffenden Fragen eng mit der Wasserwirtschaftsabteilung im MULEWF sowie mit der DWA zusammen.

Die kommunalen Eigenbetriebe der Abwasserbeseitigung haben seit Anfang der 1970er Jahre erheblich in die sog. Ertüchtigung der Kanäle und Kläranlagen zur Sicherstellung einer geordneten und den technischen und rechtlichen Anforderungen

entsprechenden Abwasserbeseitigung investiert. Die Anschlussgrade liegen deutlich über 99 %, die Reinigungsleistung lag in 2014 im Schnitt bei 98,5 % für den Parameter BSB₅, bei 95,3 % für den Parameter CSB, bei 83 % für den Parameter Gesamtstickstoff sowie 89 % für den Parameter Phosphor (vgl. MULEWF-Lagebericht kommunale Abwasserbeseitigung 2014). Dies alles war im Hinblick auf die Entgeltbelastung unserer Bürger nur mit erheblicher finanzieller Förderung durch das Land möglich, das – über die Jahre zusammengerechnet – alleine für diesen Zweck viele hundert Millionen Euro bereitgestellt hat. Wir alle gemeinsam können auf diese Leistung zu Recht stolz sein. Gemeinsam mit dem Land haben die kommunalen Abwasserbetriebe maßgebliche Beiträge zum Gewässerschutz geleistet.

Nun stehen neue Herausforderungen an. Die Energieeffizienz vieler Kläranlagen kann noch verbessert werden. Auch daran arbeiten wir gemeinsam mit dem Land seit einigen Jahren. Dies mindert auch die Entgeltbelastung der Bürger. Ziel ist die energieautarke Kläranlage, die ersten Anlagen stehen kurz vor diesem Ziel. Aktuell sind wir alle gemeinsam gefordert, bis 2025 die Verwertung bzw. Entsorgung des Klärschlammes im Hinblick auf die Sicherung des Phosphats auf neue Füße zu stellen. Auch das gehen wir im Kooperationsprojekt "Regionale Klärschlammverwertungsstrategien Rheinland-Pfalz" gemeinsam an.

Kennzeichnend für alle diese Weiterentwicklungen waren und sind die Grundsätze der Verhältnismäßigkeit und einer regelmäßig sorgfältigen Ausübung des wasserwirtschaftlichen Bewirtschaftungsermessens unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit sowohl der kommunalen Aufgabenträger als auch der finanziellen Mittel des Landes. Kurz: Die Umsetzung erfolgte immer mit dem notwendigen Augenmaß.

2 Mikroschadstoffe in kommunalen Kläranlagen

Eine ganz neue und wohl auch gewaltige Herausforderung sind die Mikroschadstoffe, die – davon muss man wohl ausgehen – nahezu ausschließlich über die Einleitung aus Kläranlagen in die Gewässer gelangen. Um welche Stoffe es sich dabei im Einzelnen handelt, wo sie herkommen und über welche Pfade, in welchem Umfang und mit welchen Konsequenzen sie in die Kläranlagen bzw. in die Gewässer gelangen, ist heute ausführlich dargestellt worden, ebenso die möglichen Gegenmaßnahmen und Handlungsoptionen.

Die kommunalen Abwasserbetriebe nehmen dieses Thema sehr ernst. Es wird seit Jahren in unserem Fachbeirat Eigenbetriebe beraten, wir beteiligen uns aktiv an den Diskussionen, Beratungen und Veranstaltungen sowohl auf Landes- als auch über den DStGB auf der Bundesebene.

Wir befinden uns allerdings noch mitten in einem Prozess der Gewinnung neuer Erkenntnisse, der Weiterentwicklung der rechtlichen Vorgaben, der Entwicklung und Erprobung wirtschaftlicher technischer Verfahren zur Eliminierung von Mikroschad-

stoffen usw. usf. Wann und wie dieser Prozess abgeschlossen wird, ist derzeit offen. Indiz dafür ist beispielsweise die sehr kontrovers geführte Debatte darüber, welche Stoffe in der EU-Richtlinie über prioritäre Stoffe bzw. in der deutschen Oberflächengewässerverordnung auf der Verbotsliste und welche nur auf der Beobachtungsliste stehen sollen. Die Analysemethoden werden immer mehr verfeinert, wir können also immer mehr Stoffe in immer geringeren Konzentrationen nicht nur nachweisen, sondern auch messen.

Neue Wirkstoffe und Arzneimittel kommen auf den Markt, der Verbrauch an Arzneimitteln, insbesondere der frei verkäuflichen Schmerzmittel mit dem Indikator-Wirkstoff Diclofenac, nimmt offenbar weiter zu, die Metaboliten sind anfangs häufig unbekannt, werden also erst nach und nach erkannt und können ggf. dann erst gemessen werden; Gleiches gilt für Pflanzenschutzmittel und andere Wirkstoffe.

Die Wirkungen auf Flora und Fauna sind vielfältig und teils noch nicht ausreichend erforscht. Von einigen Stoffen weiß man, dass sie fischtoxisch sind, andere sind persistent und reichern sich über die Nahrungskette in tierischen Geweben an, wieder andere sind hormonwirksam wie z. B. die Östrogene und ihre Metaboliten – um nur einige Schlaglichter zu nennen.

Dem Grunde nach – das ist aus der bisherigen Diskussion und auch aus der heutigen Veranstaltung erkennbar – gibt es zwei Ansatzpunkte: Das ist erstens die Vermeidung des Eintrags von der Quelle her und zweitens der sog. "end-of-pipe"-Ansatz, also die Installation von – vereinfacht gesagt – "Technik" auf den Kläranlagen, um diese Schadstoffe vor der Einleitung in die Gewässer herauszufiltern, kurz: weitergehende Abwasserreinigung, besser bekannt als "4. Reinigungsstufe".

Ganz am Anfang befindet sich noch die Debatte im Bereich der Arzneimittelforschung bzw. der ärztlichen Praxis. Die Frage der Auswirkungen der Anwendung von Arzneimitteln auf die Gewässer wird beim Zulassungsverfahren nicht thematisiert. Bei den Pflanzenschutzmitteln ist man da schon etwas weiter. Das Problem der Verschreibungspraxis insbesondere bei den Antibiotika ist auch in der Öffentlichkeit hinreichend bekannt.

Eine Daueraufgabe ist die Sensibilisierung der Anwender von Arzneimitteln oder Pflanzenschutzmitteln bzgl. sachgerechter Anwendung und Entsorgung der Reststoffe. Arzneimittelrückstände gehören in die Abfalltonne, nicht in die Toilette. Eintragsseitig kaum in den Griff zu bekommen sind die Arzneimittelrückstände, die über die menschlichen Ausscheidungen zwangsläufig ins Abwasser gelangen; ähnlich verhält es sich mit den Einträgen von Mikroschadstoffen aus Abrieb oder Auswaschung aus den Gegenständen des täglichen Bedarfs – als Beispiel sei nur die Stoffgruppe der PFT genannt, die u. a. für die Imprägnierung von Kleidung verwendet werden.

Abwasserseitig haben sich die technischen Verfahren der Ozonung und die Aktivkohleverfahren als praxistauglich erwiesen. Ein breites Spektrum an Mikroschadstoffen

kann damit in hohem Maße eliminiert werden, insbesondere der Großteil der Arzneistoffe. Allerdings gibt es auch einige Substanzen, die selbst mit diesen Verfahrenstechniken nicht oder nur in vergleichsweise geringem Umfang aus dem Abwasser eliminiert werden können, wie beispielsweise einige Röntgenkontrastmittel (vgl. zu allem UBA-Texte 86/2014). Daher kann es auch nicht „die eine“ zusätzliche Reinigungsstufe geben, die alles leisten kann.

Zugleich sind diese weitergehenden Reinigungsverfahren mit enorm hohen Kosten verbunden. Sie erfordern regelmäßig große Investitionen und verursachen teils enorm hohe Betriebskosten, teils alleine wegen des exorbitanten Energiebedarfs.

Vor diesem Hintergrund und im Hinblick auf vielfältige andere zu beachtende Zielsetzungen (z. B. Energieeffizienz, Akzeptanz, Entgeltbelastung der Bürger, Geltung des Verursacherprinzips, verfügbare Finanzmittel u. a. m.) muss es aus kommunaler Sicht darum gehen, die richtige Kombination einzelner Maßnahmen und Instrumente zu wählen. Weder der eine noch der andere Ansatz ist für sich genommen ein "Königsweg" und ohne weiteres in der Praxis umsetzbar. Vor allem darf das Thema nicht vorschnell ausschließlich auf die kommunalen Kläranlagen verengt werden. Die Kombination einzelner Maßnahmen muss zudem ausreichend flexibel und dynamisch einsetzbar sein, um dem steten Erkenntnisgewinn und der technischen Weiterentwicklung Rechnung tragen zu können.

Zusammengefasst ergeben sich daraus folgende kommunale Positionen:

3 Positionen aus kommunaler Sicht

1. Die Probleme in Angriff nehmen

Angesichts des heutigen Kenntnisstands und aus Vorsorgegründen besteht zweifellos Handlungsbedarf. Die Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie geben das Ziel vor ("guter Gewässerzustand"). Dazu sind die kommunalen Abwasserbetriebe grundsätzlich auch bereit.

2. Vordringlich an den Eintragspfaden ansetzen

Die Maßnahmen dürften nicht einseitig nur an den Kläranlagen ansetzen. Vorrangiges Ziel muss es sein, den Eintrag solcher Stoffe möglichst zu vermeiden bzw. von der Eintragsquelle her zu minimieren. Wir plädieren dafür, sich verstärkt den Minderungen in den Eintragspfaden zu widmen und die jeweils maßgeblichen Determinanten genau zu analysieren. Bei den in der Landwirtschaft bzw. im Weinbau eingesetzten Pflanzenschutzmitteln wurden damit bereits gute Erfahrungen gemacht: Gezielte Beratung und Verbesserung der Spritztechnik haben die Einträge über die Kanalisation aus der Spritzenreinigung bzw. der Abschwemmung von Wegen reduzieren können.

Zugegeben – schwierig wird es im privaten Bereich. Die kommunalen Satzungen enthalten zwar schon seit Jahrzehnten das Verbot, solche Stoffe einzuleiten, Kontrollmöglichkeiten gibt es jedoch praktisch keine. Dabei geht es sowohl um die Entsorgung von Arzneimittelresten als auch um die Anwendungspraxis. Hier sind vor allem Aufklärung und Appelle gefragt, auch von Seiten der ärztlichen Praxis. Dies ist eine Gemeinschaftsaufgabe aller Beteiligten. Die kommunalen Aufgabenträger sind bereit, ihren Beitrag zu leisten. Der GStB wird sein Satzungsmuster diesbezüglich auch nochmals klarstellen.

Mittel- bis langfristig sollte auch der Gewässerschutz integraler Bestandteil der Arzneimittelzulassung werden. Warum sollte es nicht möglich sein, möglichst gewässer- verträgliche Wirkstoffe zu entwickeln bzw. solche, die im biologischen Klärprozess mit abgebaut werden? Hier sind vorrangig die Bundes- und Landesregierung sowie die Wissenschaft gefragt.

3. Maßnahmen an den Kläranlagen ausgerichtet an Prioritäten und mit Augenmaß

Da die vorgenannten Maßnahmen nur mittel- bis langfristig wirken, kann im Einzelfall kurzfristiger Handlungsbedarf entstehen. Dazu sollten wir uns zunächst auf die Bereiche konzentrieren, wo einerseits hohe Belastungen in den Gewässern festzustellen sind und wo zugleich ein vordringliches Schutzinteresse vorliegt. Das heute hier vorgestellte Projekt Mikro_N gibt dazu vielfältige und wertvolle Hinweise. Absolut vordringlichen Schutz gehört dabei den Grundwasservorkommen, die für Trinkwasserzwecke genutzt werden bzw. dafür vorgesehen sind.

Diese Prioritäten sollten dann Schritt für Schritt unter Berücksichtigung der verfügbaren Finanzmittel, der Entgeltbelastung der Bürger im Bereich der betreffenden Kläranlagen sowie der Planungen für ohnehin anstehende größere Umbau-, Ertüchtigungs- oder Sanierungsmaßnahmen auf den Kläranlagen sowie unter sorgfältiger Abwägung der Kosten und des Nutzen in Angriff genommen werden. Es nützt nichts, jetzt panikartig viel Geld in "Technik" zu investieren.

4. Pilotprojekte und -anlagen fördern

Die notwendigen Techniken für abwasserseitige Maßnahmen stehen dem Grunde nach zur Verfügung, bedürfen jedoch, was Betriebssicherheit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit angeht, noch weiteren Verbesserungen. Das sehen wir vorrangig als Aufgabe des Landes an – in Zusammenarbeit mit insbesondere der DWA, der Wissenschaft und den Ingenieurverbänden. Die Anlagen der kommunalen Abwasserbetriebe stehen dafür selbstverständlich zur Verfügung.

5. Qualifiziertes Personal

Die Techniken der weitergehenden Abwasserbehandlung erfordern nochmals höher qualifiziertes Personal in den Abwasserbetrieben. Bereits heute ist es für viele Abwasserwerke schwierig geworden, die notwendigen Fachkräfte zu rekrutieren. Es muss unser gemeinsames Anliegen sein, die Ausbildung in den abwassertechnischen Berufen weiter zu fördern und auch für eine den Aufgaben angemessene Entlohnung zu sorgen.

6. Entgeltbelastung durch finanzielle Förderung abfedern

Insbesondere im dünn besiedelten und vom zu erwartenden Bevölkerungsrückgang ohnehin gebeutelten ländlichen Raum ist die Entgeltbelastung aus der Abwasserbeseitigung schon heute sehr hoch; weitere Erhöhungen finden wenig Akzeptanz und sind kaum zumutbar. Auch in dieser Frage erwarten wir vom Land eine angemessene finanzielle Förderung – wie es sich auch bei der Bewältigung der vergangenen Herausforderungen bewährt hat.

Korrespondenz an:

Bürgermeister Aloysius Söhngen
Gemeinde- und Städtebund Rheinland-Pfalz
Deutschhausplatz 1
55116 Mainz
Tel.: 06551 943 203
E-Mail: Aloysius.Soehngen@vg-pruem.de

**Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft
der Technischen Universität Kaiserslautern**

- Band 1: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. K. Jacobitz, Kaiserslautern 1987 EUR 20,--
- Band 2: Horster, Monika: Untersuchungen zur Stickstoffelimination in Belebungsanlagen mit separater Belüftung des Rücklaufschlammes, Dissertation Kaiserslautern 1990 EUR 12,--
- Band 3: Festschrift zum 10-jährigem Jubiläum des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft an der Universität Kaiserslautern: Vorträge zu aktuellen Problemen der Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft am 25.10.1991, Kaiserslautern 1992 EUR 10,--
- Band 4: Wagner, Wolfgang: Optimierung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Kläranlagen auf der Basis von Risikoanalysen, Dissertation Kaiserslautern 1992 vergriffen
- Band 5: Burde, Michael: Vorsorgende und langfristige Grundwassersicherung durch Ausweisung von Grundwasservorranggebieten als Aufgabe von Raumplanung und Fachplanung, Dissertation Kaiserslautern 1992 EUR 15,--
- Band 6: Welker, Antje: Die Belastung von Reststoffen aus der Papierindustrie mit halogen-organischen Verbindungen – Aufklärung der chemischen Zusammensetzung und Folgerungen für die Reststoffentsorgung, Dissertation Kaiserslautern 1992 EUR 15,--
- Band 7: Vom Stadtbauwesen zur Siedlungswasserwirtschaft; Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr.-Ing. K. Jacobitz, Kaiserslautern November 1995 EUR 15,--
- Band 8: Neuer Umgang mit Regenwasser in Siedlungen, Beiträge der 4. Umwelttage Kaiserslautern, Kaiserslautern 1995 EUR 20,--

- Band 9: Steinmetz, Heidrun: Einfluß von Abwasserinhaltsstoffen, Stoffwechselprozessen und Betriebsparametern von Belebungsanlagen auf den Sauerstoffeintrag in Abwasser-Belebtschlamm-Gemische, Dissertation Kaiserslautern 1996 EUR 15,--
- Band 10: Hansen, Joachim: Der Einsatz von Fuzzy Control für Regelungsaufgaben im Bereich der Nährstoffelimination in kommunalen Kläranlagen, Dissertation Kaiserslautern 1997 EUR 15,--
- Band 11: Fuzzy Control und Neuronale Netze zur Optimierung der Stickstoff- und Phosphorelimination, Beiträge der Fachtagung zum Einsatz innovativer Methoden der Steuerungstechnik in der Abwasserbehandlung, Kaiserslautern 1998 EUR 20,--
- Band 12: Dynamische Simulation als Werkzeug zur optimierten Planung und Betriebsführung von Abwasserreinigungsanlagen, Kaiserslautern 1999 EUR 20,--
- Band 13: Zettl, Ulrike: Einsatz der Dynamischen Simulation als Bemessungshilfe für Kläranlagen in Weinbaugebieten, Dissertation Kaiserslautern 2000 EUR 20,--
- Band 14: Einsatz der SBR-Technologie in der kommunalen und industriellen Abwasserbehandlung, Kaiserslautern 2001 EUR 20,--
- Band 15: Regenwasserbehandlung – Anwendungspraxis und Perspektiven, Kaiserslautern 2002 EUR 20,--
- Band 16: Leinweber, Ulla: Anforderungen an die integrierte Modellierung von Entwässerungssystem und Kläranlage, Dissertation Kaiserslautern 2002 EUR 20,--
- Band 17: Kasting, Ulrich: Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen, Dissertation Kaiserslautern 2003 EUR 20,--
- Band 18: Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum in kommunalen und industriellen Abwasserbehandlungsanlagen, Kaiserslautern 2003 EUR 20,--

- Band 19: Wiese, Jürgen: Entwicklung von Strategien für einen integrierten Betrieb von SBR-Kläranlagen und Mischkanalisationen – Simulation und Großtechnik, Dissertation Kaiserslautern 2005 EUR 20,--
- Band 20: Welker, Antje: Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf – Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen, Habilitation Kaiserslautern 2005 EUR 20,--
- Band 21: Integrale Betrachtung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer, Kaiserslautern 2005 EUR 20,--
- Band 22: Klepizewski, Kai: Analyse und modelltechnische Nachbildung der Reinigungswirkung eines kombinierten Bauwerks zur Mischwasserbehandlung, Dissertation Kaiserslautern 2006 EUR 20,--
- Band 23: Dittmer, Ulrich: Prozesse des Rückhaltes und Umsatzes von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen in Retentionsbodenfiltern zur Mischwasserbehandlung, Dissertation Kaiserslautern 2006 EUR 20,--
- Band 24: Wozniak, Renata: Ermittlung von Belastungsgrenzen an Bodensubstraten zu weitergehenden Mischwasserbehandlung in Retentionsbodenfiltern, Dissertation Kaiserslautern 2007 EUR 20,--
- Band 25: siwawi 2030 – Themen und Lösungsansätze für die nächsten 25 Jahre, Kaiserslautern 2006 vergriffen
- Band 26: Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft – Schwerpunkt Energieoptimierung von Kläranlagen, Kaiserslautern 2007 vergriffen
- Band 27: Illgen, Marc: Das Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Siedlungsflächen und seine urbanhydrologische Quantifizierung, Dissertation Kaiserslautern 2009 EUR 20,--
- Band 28: KOMPLETT – Ein innovatives System zur Schließung von Wasser- und Stoffkreisläufen, Kaiserslautern 2009 EUR 20,--

- Band 29: Md. Aktaruzzaman: High Resolution Digital Surface Model (DSM) to Support Modelling of Urban Flooding, Dissertation Kaiserslautern 2011
EUR 20,--
- Band 30: Schlammfäulung statt aerober Stabilisierung – Trend der Zukunft?, Kaiserslautern 2011
EUR 20,--
- Band 31: Meyer, Daniel: Modellierung und Simulation von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Mischwasserbehandlung, Dissertation Kaiserslautern 2011
EUR 20,--
- Band 32: Aqua Urbanica 2012 – Siedlungsentwässerung im Wandel, D-A-CH Gemeinschaftstagung, München 2012
EUR 20,--
- Band 33: Knerr, Henning: Untersuchungen zur Zusammensetzung und zum Abbau von Schwarzwasser mittels des Belebungsverfahrens sowie zur Kinetik des heterotrophen und autotrophen Stoffwechsels, Dissertation Kaiserslautern 2012
EUR 20,--
- Band 34: Kaufmann Alves, Inka: Strategieentwicklung zur Integration ressourcenorientierter Abwasserbewirtschaftung durch mathematische Optimierung, Dissertation Kaiserslautern 2012
EUR 20,--
- Band 35: Hasselbach, Ralf: Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen im Mischsystem mit Lavasand als Filtersubstrat, Dissertation Kaiserslautern 2013
EUR 20,--
- Band 36: Siedlungswasserwirtschaft 20..40..60 – Herausforderungen und Perspektiven 'insight outside K'town', Kaiserslautern 2013
EUR 20,--
- Band 37: Dierschke, Martina: Methodischer Ansatz zur Quantifizierung von Feinpartikeln (PM63) in Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche, Dissertation Kaiserslautern 2014
EUR 20,--
- Band 38: Aydin, Nazli Yonca: Scenario-Based Sustainability Assessment to Provide Interactive Decision Support for the Long-Term Transition of Urban Water Supply Systems, Dissertation Kaiserslautern 2014
EUR 20,--