



# ARBEITSPAPIER

## Mikroschadstoffe in Gewässern

Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green –  
Transformationspfade zu einer Green Economy

Siegfried Behrendt (IZT)

Stand: Januar 2017

### Projektleitung

#### **adelphi research gemeinnützige GmbH**

Alt-Moabit 91  
14193 Berlin

T +49 (0)30-89 000 68-0  
F +49 (0)30-89 000 68-10

[www.adelphi.de](http://www.adelphi.de)  
[office@adelphi.de](mailto:office@adelphi.de)

### Projektpartner

#### **Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH**

Clayallee 323  
14169 Berlin

T: +49 (0)30 - 306 45 1000

[www.borderstep.de](http://www.borderstep.de)  
[info@borderstep.de](mailto:info@borderstep.de)

#### **IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH**

Schopenhauerstr. 26  
14129 Berlin

T: +49 (0) 30 80 30 88-0

[www.izt.de](http://www.izt.de)  
[info@izt.de](mailto:info@izt.de)

Abbildung Titel: Luis Deliz, <https://www.flickr.com/photos/clondike7/6712511817/>

evolution2green wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.



## Executive Summary

This transformation field analysis has been conducted as part of the „Evolution2Green - Transformation Paths towards the Green Economy: Shaping Path Change“ project. As one out of four studies regarding the field of resources, it investigates the transformation field “Micropollutants in surface waters”. The paper describes the transformation field as well as relevant players. Path dependencies that hinder the transformation towards a sustainable economy have been identified, and relevant transformation approaches analysed.

In many bodies of water, the amount of micropollutants exceeds the regulatory environmental standards. To counteract, both source-targeted measures as well as measures aiming at the removal of micropollutants are available, each having specific advantages and disadvantages. They differ in their degree of development and in the level of detail of the approach. In order to remove micropollutants from bodies of water, the technology for a 4th cleaning stage is effectively fully developed, so that the challenge rather lies in the broad application. In contrast, the preventive measures available are considerably more heterogeneous in nature, with many approaches being in early stages of development.

There are a number of path dependencies that influence source-targeted measures to avoid and reduce micropollutants, many of which are specific to certain substances or uses:

- Especially drugs are excreted from the body; therefore, they will inevitably be input into sewage treatment plants and reach surface waters.
- In most cases (e.g. for drugs), there are no substitutes available. The development of substitutes is generally complicated and expensive.
- Micropollutants are removed in centralised sewage treatment plants. A decentralised infrastructure for collection and removal does not exist.
- Limitations and prohibitions on the usage of micropollutants with regards to water protection are possible only to a very limited degree.

In order to change paths, equipping sewage treatment plants with a 4th cleaning stage („end-of-pipe“) will not be sufficient; rather, a stronger focus has to be put on source-targeted measures. This includes the implementation of the „polluter pays“ principle for micropollutants: stronger consideration of water protection in approval procedures of chemicals and drugs, binding instruments for the usage of plant protection products, and a new drug strategy. Only through an efficient combination of these multiple approaches, eco-political goals can be reached.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Transformationsfeldanalyse wurde im Rahmen des Projekts „Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy: den Pfadwechsel gestalten“ angefertigt. Als eine von vier Studien aus dem Bereich Rohstoffe untersucht sie das Transformationsfeld „Mikroschadstoffe in Gewässern“. Das Papier beschreibt das Transformationsfeld sowie beteiligte Akteure. Im Rahmen der Untersuchung wurden Pfadabhängigkeiten identifiziert, die eine Transformation hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise verhindern, sowie relevante Transformationsansätze analysiert.

Mikroschadstoffe überschreiten in vielen Gewässern die gesetzlich vorgegebenen Umweltqualitätsnormen. Für die Verringerung der Mikroschadstoffe stehen sowohl quellenorientierte und nachsorgende Maßnahmen zur Verfügung stehen, die jeweils ihre spezifischen Vor- und Nachteile haben. Allerdings sind die Maßnahmen unterschiedlich weit entwickelt und konkretisiert. Während für nachsorgende Maßnahmen die Techniken für eine 4. Reinigungsstufe faktisch ausgereift sind und es hier vor allem um eine flächendeckende Umsetzung geht, ist die Situation bei den vorbeugenden Maßnahmen deutlich heterogener, Viele der Ansätze sind bis dato wenig entwickelt.

Quellenorientierte Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Mikroschadstoffen sind mit stoff- und anwendungsspezifischen Pfadabhängigkeiten konfrontiert:

- Speziell bei Arzneimitteln ist eine Ausscheidung aus dem Körper gegeben, so dass der Eintrag über die Kläranlagen in die Gewässer zwangsläufig erfolgt.
- Substitutionsmöglichkeiten stehen nicht zur Verfügung. Dies ist beispielsweise bei vielen Arzneistoffen der Fall. Die Entwicklung von Alternativen ist in der Regel aufwendig und kostenintensiv.
- Eine Entsorgung von Mikroschadstoffen erfolgt über zentrale Kläranlagen. Dezentrale Sammel- und Entsorgungsinfrastrukturen existieren nicht.
- Verwendungsbegrenzungen und -verbote sind mit Blick auf Gewässerschutz nur in sehr begrenztem Rahmen möglich.

Ein Pfadwechsel setzt voraus, dass über die Aufrüstung von Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe („End-of-Pipe“) den quellenorientierten Maßnahmen ein höheres Gewicht einzuräumen. Dazu gehört die Umsetzung des Verursacherprinzips für Mikroschadstoffe: die stärkere Berücksichtigung des Gewässerschutzes bei Zulassungsverfahren von Chemikalien und Arzneimitteln, verbindliche Instrumente zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie eine neue Arzneimittelstrategie. Nur durch eine effiziente Kombination der verschiedenen Ansätze können die umweltpolitischen Zielsetzungen erreicht werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>1 Ziel und Methodik</b>	<b>7</b>
<b>2 Transformationsfeld</b>	<b>8</b>
2.1 Mikroschadstoffe	8
2.2 Akteure	10
2.3 Historische Entwicklung	12
2.4 Umweltwirkungen	12
<b>3 Pfadabhängigkeiten</b>	<b>15</b>
3.1 Charakterisierung der Stärken des etablierten Pfades	15
3.2 Transformationshemmnisse und Pfadabhängigkeiten	15
3.2.1 Rechtliche Pfadabhängigkeiten	15
3.2.2 Ökonomische Pfadabhängigkeiten	16
3.2.3 Technologische Pfadabhängigkeiten	17
3.2.4 Organisationale Pfadabhängigkeiten	17
3.2.5 Nutzerbezogene Pfadabhängigkeiten	18
3.3 Angriffspunkte und Schwächen des etablierten Pfades	18
<b>4 Transformationsansätze</b>	<b>20</b>
4.1 Stoffsubstitution	20
4.2 Veränderungen auf Ebene der Produkte	21
4.3 Veränderungen im Anwendungsbereich	22
4.4 Geregelte Entsorgung	22
4.5 Bewertung	23
<b>5 Fazit und Möglichkeiten für einen Pfadwechsel</b>	<b>24</b>
5.1 Pfadabhängigkeiten	24
5.2 Auswirkungen der Pfadabhängigkeiten auf die Transformationsansätze	24
5.3 Erste Handlungsempfehlungen	26
<b>Experteninterviews</b>	<b>29</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>30</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1:	Eintragspfade in die Oberflächengewässer	10
Abbildung 2:	Pfadwechsel	27
Tabelle 1:	Mikroschadstoffe	8
Tabelle 2:	Vermeidungs- und Verminderungspotentiale quellenbezogener Maßnahmen	20
Tabelle 3:	Auswirkungen der Pfadabhängigkeiten auf Transformationsansätze	25
Tabelle 4:	Vorteile und Grenzen quellenorientierter und nachgeschalteter Maßnahmen	26

## Abkürzungsverzeichnis

<b>BfG</b>	Bundesanstalt für Gewässerkunde
<b>BfR</b>	Bundesinstitut für Risikobewertung
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BUND</b>	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
<b>DCE</b>	1,2-Dichlorethan
<b>DCM</b>	Dichlormethan
<b>DEHP</b>	Diethylhexylphthalat
<b>DWA</b>	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft
<b>ECHA</b>	Europäische Chemikalienagentur
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>GK</b>	Größenklasse
<b>HBCDD</b>	Hexabromcyclododecan
<b>HCB</b>	Hexachlorbenzol
<b>HCBD</b>	Hexachlorbutadien
<b>Gamma-HCH</b>	Hexachlorcyclohexan
<b>IKSR</b>	Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
<b>KomSBW</b>	Kompetenzzentren Spurenstoffe Baden-Württemberg

---

<b>MCPA</b>	2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure
<b>MTBE</b>	Methyl-t-butylether
<b>NABU</b>	Naturschutzbund Deutschland
<b>NGO</b>	Non-governmental Organization, Nichtregierungsorganisation
<b>NP</b>	Nonylphenol
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>OP</b>	Octylphenol
<b>OGewV</b>	Oberflächengewässerverordnung
<b>PAK</b>	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
<b>PCP</b>	Pentachlorphenol
<b>PE</b>	Polyethylen
<b>PeCB</b>	Pentachlorbenzol
<b>PET</b>	Polyethylenterephthalat
<b>Penta-BDE</b>	Pentabromdiphenylether
<b>PFOS</b>	Perfluorooctansulfonat
<b>PFT</b>	Perfluorierte Tenside
<b>ppb</b>	Parts per billion
<b>RiSKWa</b>	Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf
<b>RL</b>	Richtlinie
<b>TBT</b>	Tributylzinn
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>WRRL</b>	Wasserrahmenrichtlinie

## 1 Ziel und Methodik

Das Projekt Evolution2Green wird von adelphi gemeinsam mit dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und dem Borderstep Institut durchgeführt. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung thematisiert das Vorhaben Transformationspfade hin zu einer Green Economy und die Gestaltung von Pfadwechsell.

Im zweiten Arbeitspaket des Projektes erfolgt die Analyse von 15, durch signifikante Umweltauswirkungen und erhebliche Transformationshemmnisse geprägten, Transformationsfeldern in den Bereichen Mobilität, Energie, Ernährung/Landwirtschaft und Ressourcen.<sup>1</sup> Diese Transformationsfelder werden anhand des im ersten Arbeitspaket entwickelten Modells der evolutorischen Ökonomik (Clausen und Fichter 2016) auf Pfadabhängigkeiten untersucht, die einer Transformation zur Green Economy entgegenwirken. Weiter wird ein Überblick über die bekannten Transformationsansätze geschaffen und diese den drei Leistungsstrategien Effizienz, Konsistenz und Suffizienz zugeordnet (Behrendt et al. 2016).

Basis der Problemanalyse sind neben den Vorarbeiten der drei Institute in den jeweiligen Feldern umfangreiche Analysen der Literatur und der verfügbaren Internetquellen. Interviews mit ausgewählten Experten, die zum Ziel haben, die Pfadabhängigkeit und deren Faktoren in den einzelnen Themenfeldern (Binnenlogik und -kultur) besser zu verstehen, erweitern die Datengrundlage. Außerdem wird eruiert, ob und welche Transformationsansätze für einen wünschenswerten Pfadwechsel in Richtung einer Green Economy in Frage kommen.

Primäres Ergebnis je Problem- bzw. Transformationsfeld ist eine Beschreibung der Akteure, Kräfte und Sekordynamiken mit ihren jeweiligen Pfadabhängigkeiten. Teil der Studie sind auch die Analyse der bisher konzipierten und erprobten Transformationsansätze sowie erste Hinweise auf politische Gestaltungsmöglichkeiten.

Das vorliegende Papier beschreibt das Transformationsfeld „Mikroschadstoffe in Gewässern“.

<sup>1</sup> In die Auswahl der Problemfelder sind sowohl die aus den Indikatoren der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2012) ersichtliche Problemfelder, als auch Bemühungen zur Herstellung eines Gleichgewichts zwischen verschiedenen Handlungsbereichen, sowie Bezügen zu den Zukunftsherausforderungen Globalisierung und Digitalisierung eingeflossen.



## 2 Transformationsfeld

Mikroschadstoffe überschreiten in vielen Gewässern die gesetzlich vorgegebenen Umweltqualitätsnormen. Sie gelangen durch industrielle Betriebe oder durch Anwendungen in der Landwirtschaft in die Gewässer. Hinzu kommt der private Gebrauch von Medikamenten, Kosmetika und Wellnessprodukten, der zu Rückständen im Wasser führt. Unter den Mikroschadstoffen gewinnt auch „Mikroplastik“ zunehmend an Bedeutung. Aufgrund ihrer geringen Größe können Mikroplastikpartikel von verschiedensten, auch kleineren Lebewesen aufgenommen werden und gelangen somit in die Nahrungskette. Konventionelle Kläranlagen, die mit einer mechanisch-biologischen Abwasserreinigung ausgestattet sind, sind nach dem heutigen Stand der Technik nicht darauf ausgelegt, Mikroschadstoffe gezielt aus dem Abwasser zu entfernen. Selbst durch Optimierung des Betriebs kann die Elimination nur unwesentlich erhöht werden. Eine Verbesserung der Elimination der Mikroverunreinigungen in der kommunalen Abwasserbehandlung wäre durch Einführung einer vierten Reinigungsstufe möglich. Noch besser wäre ein Pfad, der nicht nur nachsorgend Mikroschadstoffe eliminiert, sondern bereits wirksam an der Quelle die Entstehung und den Eintrag von Mikroschadstoffen in die Umwelt vermeidet, zumal auch moderne Kläranlagen mit weitergehenden Behandlungsverfahren keine vollständige Elimination sicher stellen können. Auch blieben die diffusen Einträge von Mikroschadstoffen in die Gewässer davon unberührt. Quellenbasierte, vorsorgende Maßnahmen erweisen sich allerdings bis dato in vielen Bereichen als nicht umsetzbar operabel (UBA 2015b).

### 2.1 Mikroschadstoffe

Unter Mikroschadstoffen versteht man synthetische organische Substanzen, die im Gewässer in Konzentrationen von Nano- bis maximal wenigen Mikrogramm pro Liter vorkommen. Aufgrund dieser Eigenschaft wird oftmals auch von Mikroverunreinigungen gesprochen. Es handelt sich um eine Vielzahl von Chemikalien (Arzneimittel, Haushaltschemikalien, Kosmetikprodukte, Industriechemikalien, aber auch Pflanzenschutzmittel). Eine weitere Gruppe der Mikroschadstoffe ist Mikroplastik, wobei zwischen primären (direkt als Mikropartikel z.B. in Reinigungsmitteln eingesetzt) und sekundärem Mikroplastik (durch Fragmentierung oder Zersetzung makroskopischer Kunststoffteile, z.B. durch Reifenabrieb) unterschieden wird.

**Tabelle 1: Mikroschadstoffe**

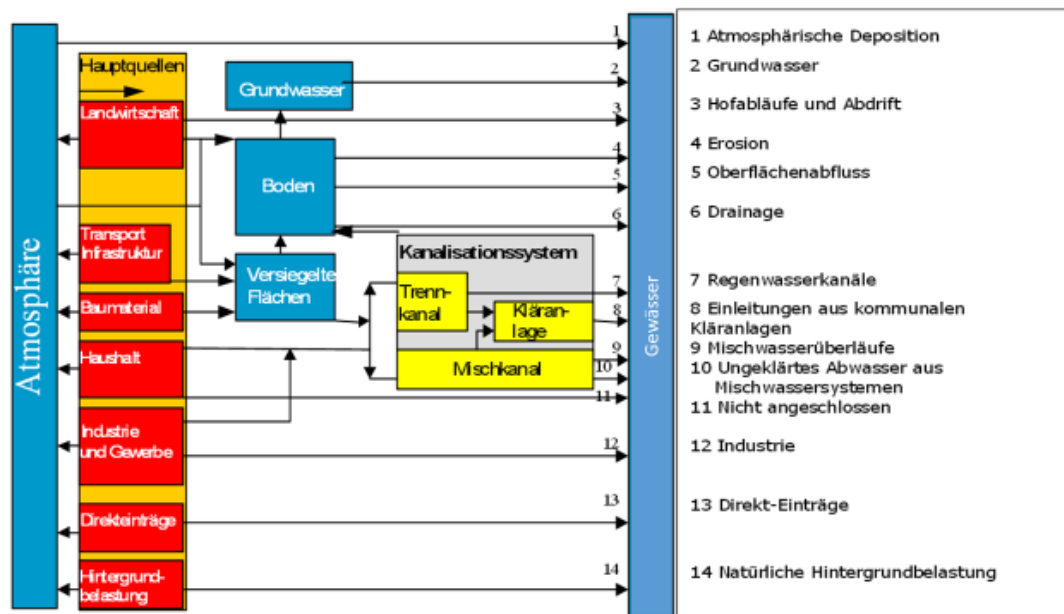
Stoffgruppe	Beispiele
Arzneimittel	Saure Pharmaka (Ibuprofen, Diclofenac, Benzafibrat, Clofibrinsäure), Estrogene (Estron, Estradiol, Ethinylestradiol), Antibiotika (Sulfamethoxazol, Roxithromycin), Neutrale Pharmaka (Carbamazepin, Diazepam), Röntgenkontrastmittel (Iopromid, Diatrizoat, Iopamidol)

Industriechemikalien	Benzol, Chlorparaffine, kurzkettige (C10-13-Chloralkane), Chloroform, Cyanid, Diethylhexylphthalat (DEHP), 1,2-Dichlorethan (DCE), Dichlormethan (DCM), Fluoranthen, Hexabromcyclododecan (HBCDD), Hexachlorbenzol (HCB), Nonylphenol (NP), Octylphenol (OP), PAK (Polyaromatische Kohlenwasserstoffe: Anthracen, Naphthalin und Fluoranthen), Pentabromdiphenylether (Penta-BDE), Perfluoroctansulfonat (PFOS), Octa- und Decabromdiphenylether (Octa-/Deca-BDE), Pentachlorphenol (PCP), Tributylzinnverbindungen (TBT), Trichlorbenzol, Triclosan
Pflanzenschutzmittel	Alachlor, Aclonifen, Atrazin, Bifenox, Chlorfenvinphos, Chlorpyrifos, Cybutryn, Cypermethrin, Dichlorvos, Dicofol, Dioxine, Diuron, Endosulfan, Isoproturon, Heptachlor, Hexachlorcyclohexan (Gamma-HCH, Lindan), Pentachlorbenzol (PeCB), Quinoxyfen, Simazin, Terbutryn, Trifluralin
Schwermetalle	Blei(-Verbindungen), Cadmium (-Verbindungen), Nickel, Quecksilber (Hg)
Mikroplastik	Primäre Mikropartikel (Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel, kosmetische Produkte, Strahlmittel zum Entgraten von Oberflächen, mikronisierte Kunststoffwachse in technischen Anwendungen), Sekundäre Mikropartikel (Fragmentierung von Kunststoffabfällen, Synthetische Chemiefasern aus Textilien, Verlust von Pellets in der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoffen, Reifenabrieb)

Quellen: UBA 2015a, UBA 2015b, RL 2000/60/EG

Mikroschadstoffe gelangen zum einen durch das Abwassersystem in Kläranlagen und anschließend in Oberflächengewässer. Zum anderen stellen Direkteinleitungen der Industrie, die Hauptquellen für Mikroschadstoffe dar. Hinzu kommen diffuse Quellen aus der Landwirtschaft, wo beispielsweise Pestizide ausgewaschen werden, oder sie stammen aus Haushalten, Gebäuden und Siedlungen. So werden beispielsweise Biozide, wie Terbutryn, das als Algizid in verschiedenen kunstharzgebundenen Fassadenanstrichen und -beschichtungen enthalten ist, durch Schlagregen von den Fassaden und Dächern, aber auch durch Taubildung und Kondenswasser, ausgewaschen. Die Stoffe gelangen über Regenwasserkanäle in die Oberflächengewässer, durch Versickerung über den Boden ins Grundwasser oder über Mischkanalisationen in die Kläranlage und von dort in die Gewässer (UBA 2015b). Bezüglich der Arzneimittel wird geschätzt, dass bis zu 50 % der eingenommenen Arzneimittelwirkstoffe allein bei der Ausscheidung ins Abwasser gelangen und damit in die Gewässer. Zudem werden abgelaufene Medikamente oder Restbestände durch den Konsumenten einfach über das Abwassersystem entsorgt. Schätzungen zufolge gelangen bis zu einem Drittel der gesamten in Deutschland verkauften Arzneimittelmengen in den Hausmüll oder als Abfall ins Abwasser. In den Kläranlagen werden sie nur unvollständig oder gar nicht entfernt und können so in Flüsse, Seen und Grundwasser eingetragen werden.

Abbildung 1: Eintragspfade in die Oberflächengewässer



Quelle: nach IKSR 2010c

## 2.2 Akteure

Die Frage, wie die Problematik der Mikroschadstoffe entschärft werden kann, berührt diverse Akteursgruppen:

- Industrie und Gewerbe, die Schadstoffe direkt oder die Vorläufer von Mikroschadstoffen erzeugen bzw. einsetzen,
- Landwirtschaft, Krankenhäuser und Altersheime sowie Haushalte,
- Wasser- und Abwasserbetriebe, die für die Abwassereinigung und Bereitstellung von Trinkwasser zuständig sind,
- Staatliche Institutionen, die legitimiert sind, politische Rahmenbedingungen zur Vermeidung und Eliminierung von Mikroschadstoffen zu setzen und für Umsetzung von Maßnahmen und Monitoring zuständig sind, sowie
- Zivilgesellschaftliche Gruppen, die die Problematik der Mikroschadstoffe thematisieren.

Im Bereich von *Industrie und Gewerbe* sind vor allem Chemie-, Pharma- und Kosmetikindustrie relevant. Verschiedene Unternehmensverbände dienen als Plattform zur Diskussion und Positionierung mit Blick auf die Mikroschadstoff-Problematik. Darunter befindet sich der Europäische Dachverband der Kosmetikindustrie, *Cosmetics Europe*. Er hat seinen Mitgliedern beispielsweise empfohlen, bis 2020 feste Kunststoffartikel in Produkten, die wieder abgewaschen werden (wie z.B. Peelings), durch alternative Stoffe zu ersetzen.

Neben *Industrie und Gewerbe* stellen die *Haushalte* die wichtigste Quelle dar. Krankenhäuser und Altersheime sind weitere Quellen für den Eintrag von Arzneimitteln in das Abwasser und damit ebenfalls wichtige Akteure. Für einige Stoffgruppen wie z.B. Biozide, Pflanzenschutzmittel und Östrogene sind diffuse Einträge aus der Landwirtschaft eine relevante Quelle. Insbesondere Arzneimittel wie Antibiotika werden in der Tierhaltung eingesetzt. Die Stoffe können über das Abwasser als Arzneimittelrückstände in die Gewässer gelangen. Akteure sind hier *Landwirte und Landwirtschaftsverbände*.

*Wasser- und Abwasserbetriebe* sind überwiegend kommunal organisiert und teilweise auch sehr kleinteilig strukturiert. Für viele Mikroschadstoffe ist das gereinigte kommunale Abwasser der relevante maßgebliche Eintragspfad. Einige Kläranlagen sind mit einer PAK-Stufe in Betrieb, verschiedene befinden sich im Bau oder in unterschiedlichen Planungsstadien. Ein übergreifender Akteur ist die DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Die DWA setzt sich für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein.

Auf *politisch-rechtlicher Ebene* gibt es ein abgestuftes, vielschichtiges Akteurssystem, was für rechtliche Rahmenbedingungen, Umsetzung und Monitoring der Einhaltung von Anforderungen zuständig ist. Die Rahmenbedingungen für die Wasseranlagenbetreiber werden wesentlich durch die EU-Gesetzgebung beeinflusst. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) vereinheitlicht den rechtlichen Rahmen für die Wasserpolitik innerhalb der EU und bezweckt, die Wasserpolitik stärker auf eine nachhaltige Wassernutzung auszurichten. 2012 wurde eine Liste prioritärer Stoffe zur Wasserrahmenrichtlinie festgelegt. Die EU-Mitgliedsstaaten, so auch Deutschland, sind für Maßnahmen- und Überwachungsprogramme zuständig, setzen aber auch eigene Standards. Die Wasserverschmutzung durch relevante Schadstoffe oder Schadstoffgruppen sind in diversen Richtlinien, Verordnungen, Konventionen und Verträgen thematisiert. 2016 hat das Bundeskabinett mit der Neufassung der Oberflächengewässerverordnung das EU-Recht in deutsches Recht umgesetzt. Für das Monitoring und die Bewertung von Mikroschadstoffen einschließlich der Maßnahmen zu ihrer Verringerung sind Institutionen relevant, wie das Umweltbundesamt (UBA), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BFG) und die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR). Vom Umweltbundesamt wurde relevante Stoffe/Stoffgruppen in der Studie "Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer" auf Basis verschiedener Richtlinien untersucht. Zur IKSR gehören die Rhein-Anliegerstaaten Schweiz, Liechtenstein, Österreich, Frankreich, Deutschland, Niederlande und Luxemburg. Sie hat u.a. die nachhaltige Entwicklung des Ökosystems Rhein und die Sicherung der Nutzung von Rheinwasser zur Trinkwassergewinnung zum Ziel und entwickelt Strategien gegen die Verunreinigung des Rheins durch Mikroschadstoffe. Forschungsseitig spielt das BMBF eine wichtige Rolle, weil Forschungsvorhaben zur Analytik von Mikroschadstoffen und zur Entwicklung von Reinigungsverfahren sowie dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen gefördert werden (BMBF o.J.).

Auf Ebene der Bundesländer haben Baden-Württemberg und NRW Kompetenzzentren für den Umgang mit Mikroschadstoffen eingerichtet. 2012 hat das "*Kompetenzzentrum Spurenstoffe*" in Baden-Württemberg seine Arbeit aufgenommen (KomS BW). Es wird vom Umweltministerium Baden-Württemberg gefördert und wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem DWA-Landesverband errichtet. In Nordrhein-Westfalen ist seit 2012 das "*Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW*" aktiv. Zentrales Ziel des Kompetenzzentrums ist die Förderung des nationalen und internationalen Erfahrungsaustauschs zur Elimination von Mikroschadstoffen in Gewässern. Es bündelt in Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern vorhandenes Wissen zur Behandlung von Mikroschadstoffen, wertet dieses aus und stellt es der Fachöffentlichkeit zur Verfügung.

Seitens der *Zivilgesellschaft* thematisieren nationale und internationale Umwelt- und Naturschutzverbände die Problematik der Mikroschadstoffe. Die „internationale Kampagne gegen Mikrobeads in Kosmetika“ (beatthemicrobead.org) wird von über 80 NGOs aus 35 Ländern unterstützt. Aus Deutschland sind unter anderen der BUND sowie der NABU beteiligt. Umweltverbände kritisieren die Entscheidung der Bundesregierung, dass Deutschland am freiwilligen Ausstieg festhält. Umwelt- oder Verbraucherschutzorganisationen können im Zusammenspiel mit Medien und wissenschaftlichen Einrichtungen durch eine öffentliche Skandalisierung von Stoffen erheblichen Einfluss auf das Innovationsgeschehen nehmen. Immer wieder berichten Medien von Arzneimittlrückständen im Trinkwasser. Teilweise werden

Trinkwasseruntersuchungen von zivilgesellschaftlichen Gruppen veranlasst und veröffentlicht.

---

## 2.3 Historische Entwicklung

---

Das Vorhandensein von Mikroschadstoffen in Gewässern wird seit Anfang der 1990er Jahre diskutiert. Über die Problematik wurde in verschiedenen Medien berichtet, teilweise wurde sie auch skandalisiert, so dass sich im Zuge der Debatte ein Problembewusstsein entwickelt hat, das von der Politik aufgegriffen wurde. Dies führte zu zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen und Messprogrammen. 2000/2001 wurde ein repräsentatives Messprogramm in Deutschland durchgeführt. Ein zentrales Ergebnis aus diesem Messprogramm war, dass es einen allgemeinen Eintrag u.a. von Arzneiwirkstoffen in die Gewässer gibt. Dabei ist für sehr viele Wirkstoffe eine Konzentrationsverminderung vom Zulauf bis zum Ablauf der Kläranlage durch Abbau und Adsorption in der Kläranlage sowie Verdünnung im Oberflächengewässer bis hin zum Uferfiltrat feststellbar. Aus einem weiteren Messprogramm in Sachsen-Anhalt, das über mehrere Jahre lief, wurden besonders hohe Wirkstoffkonzentrationen von Arzneiwirkstoffen vor allem in Ufernähe unterhalb von Kläranlagen festgestellt. Trinkwasser aus Uferfiltrat gilt deshalb als besonders gefährdet. Aus den Untersuchungen wurde insgesamt deutlich, dass die Wasserwirtschaft vor besonderen Herausforderungen steht.

Die bis Mitte der 90er Jahre gebauten Klärwerke mit ihren bis zu drei Reinigungsstufen sind nicht ausreichend, die Mikroschadstoffe in ihrer Breite zu eliminieren. Die 1. Reinigungsstufe umfasst mechanische Verfahren, in der 2. Reinigungsstufe erfolgt eine biologische Abwasserreinigung. Ammonium wird durch die Zuführung von Sauerstoff (aerobe Bedingungen) zu Nitrat umgesetzt. Die 3. Reinigungsstufe wird eingesetzt, um problematische Stoffe wie Stickstoff- und gelöste Phosphorverbindungen, schwer abbaubare Stoffe, Schwermetalle oder Salze zu verringern. Da die Technik des bakteriellen Abbaus und der Aufbereitung von Trinkwasser keine Eliminierung von Mikroschadstoffen ermöglicht, wird bereits seit den 90er Jahren versucht, adäquate Reinigungsverfahren zu entwickeln. Heute stehen technische Behandlungsverfahren zur Entfernung von Spurenstoffen zur Verfügung. Zur Entfernung der Mikroverunreinigungen kommen dabei Aktivkohleverfahren zum Einsatz, welche derzeit neben der Ozonung als geeignete Verfahren zur Spurenstoffelimination im Abwasser angesehen werden.

Eine Reihe von Wasserbetrieben hat solche Verfahren bereits realisiert, insgesamt verläuft die Nachrüstung um eine 4. Reinigungsstufe aber eher schleppend. Aus diesem Grunde sind verschiedene Einrichtungen gegründet worden, wie u.a. das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe in NRW und das Kompetenzzentrum Spurenstoffe in Baden-Württemberg, die die Aufgabe haben, den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch zu fördern, Kompetenzen sowie Wissen zu bündeln und den Kläranlagenbetreibern zur Verfügung zu stellen. Da die Spurenstoffentnahme auf der Kläranlage als „End-of-pipe -Technologie“ das Problem der zunehmenden Umweltbelastung durch Mikroverunreinigungen allein nicht lösen kann, werden darüber hinaus quellenorientierte Maßnahmen als notwendig gesehen (UBA 2014, 2016b).

---

## 2.4 Umweltwirkungen

---

Mikroschadstoffe belasten die Gewässer. Sie bergen langfristig für den Menschen und die Ökosysteme teilweise schwer abschätzbare Risiken. Empfindliche Organismen können durch Mikroschadstoffe dauerhaft geschädigt werden. Sofern sich anreichernde Mikroschadstoffe, wie beispielsweise PFT (perfluorierte Tenside), in die Nahrungskette gelangen (beispielsweise über Fischgenuss oder Trinkwasser) stellen sie auch für Menschen ein gesundheitliches Risiko dar. Die Umweltwirkungen hängen wesentlich von dem Eintragspfad, der

Konzentration und den Stoffeigenschaften, wie Bioakkumulation (Anreicherung im Gewebe), Persistenz (Langlebigkeit) und Toxizität (Giftigkeit) ab.

In Siedlungsabwässern sowie in nahezu allen Oberflächengewässern, im oberflächenwasserbeeinflussten Grundwasser und vereinzelt sogar im Trinkwasser finden sich Arzneimittelreste und -abbauprodukte (z.B. Diclofenac, Benzafibrat, Ibuprofen, Iopamidol, Iopromid usw.). Außerdem finden sich verschiedene Pflanzenschutzmittel und deren Abbauprodukte (z.B. Atrazin, Diuron, Isoproturon etc.). Nachweisbar sind schwer abbaubare Stoffe, wie beispielsweise PFTs oder MTBE (Methyl-t-butylether). Sie alle stellen die Abwasserbehandlung, aber auch mittlerweile die Trinkwasseraufbereitung vor besondere Herausforderungen. In NRW wurden umfangreiche Gewässeruntersuchungen durchgeführt. Dabei wurden erhebliche Belastungen der Gewässer mit Mikroschadstoffen festgestellt. Die Befunde sind auch deshalb relevant, weil in NRW das Trinkwasser vorwiegend aus Oberflächengewässern gewonnen wird. „Viele Mikroverunreinigungen können sich in Gewässersedimenten oder Böden, anreichern. Diese Depots können über lange Zeiträume zu Gewässerbelastungen durch Remobilisierung der festgelegten Stoffe führen“ (UBA 2015b).

Aus einem weiteren Messprogramm in Sachsen-Anhalt, das seit fünf Jahren läuft, wurden besonders hohe Wirkstoffkonzentrationen vor allem in Ufernähe unterhalb von Kläranlagen festgestellt. Trinkwasser aus Uferfiltrat gilt deshalb als besonders gefährdet. Ob diese Elimination für den Schutz der Gewässer ausreicht, kann – nach bisheriger Sicht – nur stoff- und einzelfallbezogen geklärt werden. Bewiesen ist die Aufnahme von Mikroschadstoffen von aquatischen Organismen bis hin zu verzehrbaren Pflanzen, z. B. Karotten, Zucchini und Gurken.

Setzt man als Maßstab die Umweltqualitätsnormen der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer, die RL 2008/105/EG, an, so werden (für den Zeitraum 2009-2011) in Deutschland die geltenden Umweltqualitätsnormen bei den Metallen im Schwebstoff für Zink, Kupfer, Arsen und Chrom und für gelöste Konzentrationen für Silber und Selen, bei den Umweltchemikalien für Dibutylzinn-Kation, einige polychlorierte Biphenyle und Tetra-butylzinn und bei Pflanzenschutzmitteln für 2,4-D, Bentazon, Dichlorprop, Diflufenican, Dimethoat, MCPA, Mecoprop, Monolinuron und Parathion-Ethyl überschritten (ForumZ 2014).

Die „Bewertung des Umweltzustands (Anfangsbewertung) der deutschen Nord- und Ostseegebiete zeigt, dass der gute Umweltzustand in beiden Meeren in großen Teilen verfehlt wird. Dazu trägt auch die Verschmutzung durch Schadstoffe bei. Ursache ist der Eintrag über Flüsse mit Kläranlagen“ (UBA 2015b).

Mögliche Auswirkungen können bei Hormonen oder hormonähnlichen Substanzen, die in Gewässer eingetragen werden, hormonaktive Effekte auf Organismen sein. Außerdem nachweisbar sind Stoffwechseleränderungen und eine verzögerte Entwicklung. Die Wirkungen sind teilweise reversibel, aber eine lebenslange Prägung durch eine kurzzeitige Exposition während einer sensiblen Phase ist möglich. Wie Arzneimittelrückstände in Ökosysteme eingreifen können, zeigt der Rückgang der Kolonien an Bengalengeiern in Pakistan und Indien. Ursache ist der Eintrag von Diclofenac. Bei Regenbogenforellen wurde festgestellt, dass bei einer Konzentration von 1 ppb Diclofenac zytologische Veränderungen hervorgerufen werden. Besonders problematisch im Wasser sind Antibiotika und Chemotherapeutika, da sie die Entwicklung resistenter Bakterien fördern können.

Eine weitere, viel diskutierte, mit Umweltbelastungen im Wasserkreislauf verbundene Herausforderung ist Mikroplastik. Umwelteffekte durch Mikroplastik sind Gegenstand der neueren Forschung (UBA 2016). Mikroplastik wurde sowohl im marinen Bereich als auch in limnischen und terrestrischen Umweltkompartimenten sowie Organismen nachgewiesen, so in Seehunden, Fischen, Muscheln und kleineren Organismen, die es mit ihrer Nahrung aufnehmen. Untersuchungen deuten darauf hin, dass Mikroplastikpartikel sich in der Nahrungskette anreichern. In Honig wurden Mikroplastikteilchen gefunden. Nachgewiesen ist auch, dass sich giftige und teilweise krebserregende Stoffe an Mikroplastik-Partikel anlagern. Die-

se Funde sagen bislang aber noch nichts über die Wirkungen durch Mikroplastik in Organismen aus. Die Umweltwirkungen dieser mikroskopisch kleinen Kunststoffpartikel sind bislang nicht ausreichend wissenschaftlich geklärt (UBA 2016).

## 3 Pfadabhängigkeiten

---

### 3.1 Charakterisierung der Stärken des etablierten Pfades

---

Kennzeichnend ist eine nachgeschaltete Abwasserentsorgung. Die Haushalte in Deutschland sind praktisch flächendeckend an die Kanalisation und Kläranlagen (> 95,7 %) angeschlossen. Gleiches gilt für die Industrie, dort wo sie direkt in Gewässer einleitet, erfolgt dies durch eine vorherige Behandlung des Abwassers in Kläranlagen. Mit der vorhandenen, in den letzten 50 bis 100 Jahren entstandenen, Infrastruktur aus Kanalisationen und Kläranlagen sowie dem erreichten Stand der Technik (mechanische, biologische und chemische Verfahren) konnten der Eintrag sauerstoffzehrender Substanzen und auch die Einträge der Nährstoffe aus dichter besiedelten Gebieten in Gewässer deutlich reduziert werden. Dies hat zu einer erheblichen Verbesserung der Gewässergüte geführt. Allerdings sind damit die stofflichen Probleme in den Gewässern nicht umfassend gelöst, da weiterhin, wenn auch in geringeren Mengen, potenziell schädliche Mikroschadstoffe in die Gewässer gelangen (UBA 2015b). Mit dem heutigen Stand der Technik der Kläranlagen ist die Elimination verschiedener Mikroverunreinigungen ungenügend. Selbst durch Optimierung des Betriebs kann die Elimination nur unwesentlich erhöht werden. Allerdings besteht gerade die Stärke des etablierten Pfades darin, dass zur Elimination der Mikroverunreinigungen in der kommunalen Abwasserbehandlung weitergehende Verfahren möglich sind. So können Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe nachgerüstet werden. Notwendig wäre dies für Kläranlagen der Größenklasse 5 sowie kleinere Kläranlagen, die in sensitive Gewässer einleiten. Am wirksamsten und kosteneffizientesten sind dabei gegenwärtig die Verfahren der Ozonierung und der Aktivkohleadsorption (UBA 2015b). Sie werden großtechnisch bereits auf verschiedenen Kläranlagen erprobt. Dabei zeigt sich, dass „mit beiden Verfahrenstechniken ein breites Spektrum an Mikroschadstoffen in vergleichsweise hohen Umfang aus dem Abwasser entfernt werden kann“ (UBA 2014). Eine Stärke ist zudem ihre gute Integrierbarkeit in bestehende Reinigungsprozesse einer Kläranlage (UBA 2014).

---

### 3.2 Transformationshemmnisse und Pfadabhängigkeiten

---

#### 3.2.1 Rechtliche Pfadabhängigkeiten

Die Rahmenbedingungen für die Wasseranlagenbetreiber werden wesentlich durch die EU-Gesetzgebung beeinflusst. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) vom 22.12.2000 vereinheitlicht den rechtlichen Rahmen für die Wasserpolitik innerhalb der EU und bezweckt, die Wasserpolitik stärker auf eine nachhaltige Wassernutzung auszurichten. Somit wurde ein Ordnungsrahmen für den Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers geschaffen. Auf die besondere Problematik der Mikroschadstoffe wurde rechtlich im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie der EU in Form einer Liste von 33 „prioritären“ Stoffen und Stoffgruppen reagiert. Für diese Stoffe gelten Umweltqualitätsnormen, die eine Begrenzung der Einleitung in Gewässer erfordert. Von diesen 33 „prioritären“ Stoffen werden 13 als „prioritäre gefährliche“ Stoffe eingestuft, für die gilt, dass innerhalb der nächsten 20 Jahre der Eintrag in die Umwelt schrittweise zu beenden ist (Phasing-Out Verpflichtung). 2013 wurde diese Liste fortgeschrieben und um zwölf Stoffe erweitert, so dass mittlerweile für 45 Stoffe Anforderungen definiert worden sind. Teilweise wurden Umweltqualitätsnormen verschärft und es wurde ein Verfahren zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der Stoffliste festgelegt.

Zudem ist „in der Wasserrahmenrichtlinie vorgesehen, dass für Chemikalien, die auf lokaler Einzugsgebiets- bzw. nationaler Ebene als bedenkliche Stoffe, aber nicht als prioritäre Stoffe



auf EU-Ebene eingestuft wurden, Umweltqualitätsnormen auf nationaler Ebene festgelegt werden (flusseinzugsgebietsspezifische Schadstoffe). Für Deutschland wurden die stoffbezogenen Anforderungen in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) 2011 zusammengefasst, die nun vor dem Hintergrund der Entwicklungen auf europäischer Ebene fortgeschrieben wird“ (UBA 2014). 2016 wurde die Oberflächengewässerverordnung neugefasst. Neu sind europaweit standardisierte Messkampagnen, außerdem wird die Datenauswertung zur Gewässerbelastung einheitlich geregelt. Umweltqualitätsnormen wurden für neue prioritäre bzw. spezifische Stoffe festgelegt. Dabei handelt es sich vor allem um Pflanzenschutzmittel, Biozide und Industriechemikalien. Bei Überschreiten der Umweltqualitätsnormen sind Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge in die Gewässer vorzusehen.

Rechtliche Pfadabhängigkeiten, die den Umgang mit Mikroschadstoffen auf einen nachsorgenden Gewässerschutz festlegen, bestehen nicht. Die rechtlichen Rahmenbedingungen stellen vielmehr Anforderungen an die Qualität eines Gewässers und verlangen nicht den Einsatz bestimmter Technologien, sondern sind maßnahmenoffen. Damit kommen sowohl nachgeschaltete Abwasserbehandlungstechniken, die die Einführung einer vierten Reinigungsstufe erfordern, als auch Vermeidungsmaßnahmen in Betracht. Möglich sind beispielsweise stoff- und produktrechtbezogene Anwendungsbeschränkungen und -verbote oder Maßnahmen zur Verminderung von Luftemissionen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Stoffregelungen bis hin zu Verwendungsbegrenzungen und -verboten in die Regelungskompetenz der EU fallen und nationale Lösungen nur in sehr begrenztem Rahmen möglich sind (UBA 2014, UBA 2016). Dazu führt das Umweltbundesamt aus: „Für alle stoffrechtlichen Maßnahmen zur Beschränkung oder zu Verboten der Verwendung ist das europäische Stoffrecht einschlägig. Allerdings werden dieselben Stoffe, je nach Verwendung (z.B. als Pflanzenschutzmittel oder Biozid), zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt und mit unterschiedlichen Restriktionen reguliert (UBA 2015c).

### 3.2.2 Ökonomische Pfadabhängigkeiten

Zur Verminderung und Vermeidung der Emissionen der relevanten Stoffe spielen die Kosten und die Wirksamkeit von Maßnahmen eine wesentliche Rolle. In einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes haben Hillenbrand et al. (2014) die verfügbaren Kostendaten ausgewertet. Im Ergebnis liegen die mittleren Kosten je nach Größe der Anlage zwischen 5 und 7 Cent (Größenklasse 5) und zwischen 8 und 11 Cent (Größenklasse 4) pro m<sup>3</sup> behandelten Abwassers. Dazu kommen noch Kosten zwischen 5 und 8 Cent pro m<sup>3</sup> für eine mögliche Nachbehandlung. Die Abwassergebühren würden sich somit um durchschnittlich 2 bis 10 % erhöhen. Hochgerechnet auf die gesamte Bundesrepublik ergeben sich Jahreskosten (Investitions- und Betriebskosten) in Höhe von 690 Mio. € für die GK 4 (davon 322 Mio. € für die evtl. Nachbehandlungsstufe) und 469 Mio. € für die GK 5 (davon 219 Mio. € für die evtl. Nachbehandlungsstufe) (UBA 2015b). Pro Person Jahr wäre mit Kosten zwischen 6 bis 16 Euro pro Jahr und Person zu rechnen. Maßnahmen zum Ausbau der bestehenden Kläranlagen scheinen zwar relativ günstig, trotzdem müssen Kostensteigerungen in einem kommunalpolitischen Umfeld legitimiert werden. Dies erklärt auch, weshalb die 4. Reinigungsstufe bis dato nur punktuell umgesetzt wurde. Dies ist aber nicht auf eine Pfadabhängigkeit im engeren Sinne zurückzuführen, vielmehr handelt es sich um ökonomische Hemmnisse und berührt insbesondere die Frage, wer die Kosten für die Aufrüstung der kommunalen Kläranlagen trägt.

Dahingegen können bei quellenorientierten Maßnahmen ökonomische Pfadabhängigkeiten konstatiert werden. So hängen beispielsweise die Kosten für Stoffsubstitutionen davon ab, inwieweit wettbewerbsfähige Ersatzlösungen zur Verfügung stehen. Ist dies nicht der Fall können Substitutionsmaßnahmen sehr aufwendig und kostenintensiv sein. Ökonomische Pfadabhängigkeiten sind dort zu vermuten, wo vermeidungsorientierte Maßnahmen nicht zur Verfügung stehen und ihre Entwicklung deshalb zusätzliche Kosten verursacht. Dies ist insbesondere bei sehr hochwertigen, nicht oder kaum zu beschränkenden Verwendungen der Fall. Ökonomische Pfadabhängigkeiten bestehen beispielsweise bei der Entwicklung um-

weltfreundlicherer Arzneistoffe. Die Entwicklung und Zulassung neuer oder veränderter Medikamente ist in der Regel sehr aufwändig und kostenintensiv. Entsprechend groß sind hier ökonomische Hemmnisse, den eingeschlagenen Pfad zu verlassen. Anders sieht es aus bei der Reduktion der Mengen durch angepasste Verschreibungen (z.B. Packungsgrößen) oder der Änderung der Gebrauchs- und Entsorgungsmuster (z.B. Getrenntsammlung). Die Kosten für entsprechende Maßnahmen sind hier vergleichsweise gering. Angesichts der Heterogenität der Mikroschadstoffe, ihrer Quellen, Verwendungs- und Eintragungspfade in die Gewässer, sind ökonomische Pfadabhängigkeiten nicht grundsätzlich festzustellen, sondern bestehen nur im Einzelfall dort, wo keine ausreichend effizienten Alternativen oder Eingriffsmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

### 3.2.3 Technologische Pfadabhängigkeiten

Technisch ist es möglich, Arzneimittelrückstände, Hormone und andere Mikroschadstoffe aus dem Abwasser zu eliminieren. Weit entwickelt ist die Adsorption mit Aktivkohle und die Ozonierung, die sich als kostengünstige Technologien darstellen. Durch Adsorption mit Aktivkohle lassen sich vor allem unpolare Stoffe aus dem Abwasser entfernen. Die Auswertung von Forschungsarbeiten zeigt, dass bis zu 80 Prozent der Arzneimittelrückstände verringert werden können, wenn Pulveraktivkohle dem biologisch gereinigten Wasser zugesetzt wird (UBA 2014). Ozonierung erweist sich als effektives Verfahren zur Entfernung von Mikroschadstoffen, insbesondere Arzneimittelrückständen. Antibiotika, Lipidsenker, Betablocker, Hormone, Antiepileptika und Antiphlogistika sind nach Behandlung von biologisch gereinigtem Abwasser mit Ozon im Abwasser nicht mehr nachweisbar. „Durch die weitergehende Abwasserbehandlung entstehende Transformationsprodukte, die ggf. andere und höhere Wirkungspotenziale aufweisen können als die Ausgangsstoffe, werden nach Entstehung durch Ozonierung über die Wiedereinleitung in die biologische Klärstufe abgebaut. Kläranlagen mit einer nachgeschalteten zweiten biologischen Klärung haben bislang keine erhöhten Toxizitätswerte gezeigt“ (UBA 2015b). Angesichts des erreichten Standes der Technik spricht vieles dafür, die bestehende Infrastruktur weiterzuentwickeln und um eine 4. Reinigungsstufe zu ergänzen.

Während bei der Nachrüstung von Kläranlagen auf einen bestehenden Technologiepfad der nachgeschalteten Abwassereinigung aufgesetzt wird, bestehen bei quellenorientierten Maßnahmen technologische Pfadabhängigkeiten. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn keine Ersatzstoffe zur Verfügung stehen und erst neue Stoffe bzw. neue Herstellungsverfahren entwickelt werden müssen. Die Pfadabhängigkeit ist geringer, wenn Ersatzstoffe bereits vorhanden sind, wie beispielsweise bei umweltfreundlichen Textilchemikalien, insbesondere, wenn sie bereits auf dem Markt eingeführt sind.

### 3.2.4 Organisationale Pfadabhängigkeiten

Wasserver- und Abwasserentsorgung funktionieren in Deutschland in den meisten Fällen auf der Grundlage einer netzförmigen, zentralen Infrastruktur, die über Gebietsmonopole geschützt wird (ISOE 2012). Die Verfügbarkeit von Technologien, aber auch Kundenwünsche und Wettbewerb spielen bisher nur eine untergeordnete Rolle für Neuerungen in der Wasserwirtschaft. Für die Verringerung und Vermeidung von Mikroschadstoffen klafft eine erhebliche Lücke zwischen den Forschungsergebnissen, wie sie u.a. aufgrund der Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (z.B. BMBF- Fördermaßnahme „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf – RiSKWa) erarbeitet worden sind, und der Anwendung neuer Technologien in der Praxis. Die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure aus Politik, Behörden, Wasserwirtschaft, Industrie, Landwirtschaft, Wissenschaft, Grundstückseigentümer, Eigentümer von Rechten etc. ist weitgehend punktuell. Vor diesem Hintergrund sind in letzten Jahren mehrere Kompetenzzentren (NRW, Baden-Württemberg) zur Mikroschadstoffproblematik auf Länderebene entstanden. Die DWA unterstützt den Wissenstransfer, um den Dialog unter allen Beteiligten zu

fördern. Bislang fehlt es der Wasserwirtschaft an Bereitschaft flächendeckend in eine zusätzliche Reinigungsstufe zu investieren. Die quellenorientierte Verminderung und Vermeidung von Mikroschadstoffen ist bisher nur gering ausgeprägt. Treiber sind an erster Stelle Kostendruck, behördliche Forderungen sowie nationale Gesetze und Verordnungen. Das ISOE beschreibt die Wasserinfrastrukturen als ein „träges“ System. „Die Umsetzung von Innovationen in solchen ‚trägen‘ Systemen ist besonders dann problematisch, wenn die damit verbundenen Änderungen Auswirkungen auf das Gesamtsystem besitzen“ (ISOE 2008).

### 3.2.5 Nutzerbezogene Pfadabhängigkeiten

Die Verringerung und Vermeidung von Mikroschadstoffen stößt auf nutzerbezogene Pfadabhängigkeiten. Mögliche Maßnahmen hängen von der Akzeptanz durch die Nutzer ab und stehen damit eng im Zusammenhang mit der Risikoeinschätzung von Mikroschadstoffen in der gesellschaftlichen Wahrnehmung. Die Bereitschaft, Produktveränderungen, Stoffsubstitutionen oder Veränderungen im Anwendungsbereich vorzunehmen, ist gering. So wird beispielsweise die richtige Entsorgung von Arzneimittelresten auf verschiedenen Ebenen schon länger thematisiert, trotzdem verändert sich das Entsorgungsverhalten nicht. Immer noch gelangen jährlich über 1000 t Arzneimittelreste durch unsachgemäße Entsorgung in das häusliche Abwasser. Kaum Veränderungen gibt es auch bei den Verschreibungspraktiken. Vorkonfektionierte Packungsgrößen erzeugen überschüssige Arzneimittel, die anschließend vom Verbraucher entsorgt werden müssen. Wenig Fortschritte gibt es bei der dezentralen Behandlung von Klinikabwässern oder Abwässern von Altenheimen. Zwar könnten Reinigungstechniken, wie zum Beispiel Membranbioreaktoren, aber auch Vergärungsverfahren, effektiver eingesetzt werden, da die Konzentrationen der Arzneimittelwirkstoffe in diesen Abwässern höher sind. Bisher ist die separate Erfassung und Behandlung von Punktquellen aber nur auf Pilotprojekte beschränkt. Die Umsetzungsbereitschaft in Krankenhäusern oder Pflegeeinrichtungen ist bisher gering. Bei Hausbesitzern, Kommunen und Entsorgern wird die Bereitschaft, getrennte Sanitärsysteme einzuführen, als sehr gering und die Widerstände gegen solche Maßnahmen als hoch eingeschätzt.

## 3.3 Angriffspunkte und Schwächen des etablierten Pfades

Erfahrungen mit nachgeschalteten Reinigungsstufen zeigen, dass ein breites Spektrum an Mikroverunreinigungen reduziert werden kann. Für Arzneimittel, Biozide, Östrogene und Duftstoffe wird eine erhebliche Verbesserung der Eliminationsleistung erreicht. Eine Eliminierung von Mikroschadstoffen aus dem Abwasser durch eine 4. Reinigungsstufe ist aber nicht vollständig möglich. Der dabei erreichte Eliminationsgrad ist stoffabhängig (IKSR o.J.):

- Einige Stoffe wie Röntgenkontrastmittel oder einige Arzneimittel und Komplexbildner werden mit weiteren Reinigungstechniken nur in eingeschränktem Umfang eliminiert.
- Bei oxidativen Prozessen bildet sich eine Vielzahl von komplexen Reaktionsprodukten, über deren Toxizität zumeist nichts bekannt ist – ein Problem, das besonders berücksichtigt werden sollte.
- Unberührt bleiben diffuse Einträge von Mikroschadstoffen in Gewässer, die nicht über nachgeschaltete Maßnahmen (Kläranlagen) erfasst werden. Dies gilt beispielsweise für atmosphärische Depositionen. Auch aus der Anwendung verschiedener Biozide in Fassadenmaterialien, resultieren Emissionen, die von Kläranlagen nicht erfasst werden, da die Stoffe ausgewaschen werden. Die Einträge in die Gewässer werden vor allem durch das Niederschlagswasser verursacht.
- Eine zusätzliche Reinigungsstufe erzeugt spezifische Jahreskosten in Höhe von 0,05 – 0,19 €/m<sup>3</sup>. Entsprechend würden sich die Abwassergebühren um durchschnittlich 2 – 10 % erhöhen, was relativ gering ist, aber trotzdem Herausforderungen der Akzeptanz aufwirft.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass nachgeschaltete Maßnahmen unerlässlich sind, sie können das Problem des Eintrags von Mikroschadstoffen in die Gewässer aber nur bedingt lösen.

## 4 Transformationsansätze

Maßnahmen zur Minderung von Mikroverunreinigungen sollten möglichst an der Quelle ansetzen, um Einträge zu reduzieren. Ansätze hierfür liegen in der Substitution von Stoffen, der Veränderung der Produkte, der Reduzierung der Anwendungen in Industrie, Gewerbe und Haushalten sowie einem verantwortungsvolleren Umgang beim Gebrauch und bei der Entsorgung von Produkten. Die Potentiale sind jeweils stoffspezifisch. Das Umweltbundesamt hat in einer Studie (UBA 2014) für eine Reihe von Maßnahmen die Vermeidungs- und Verminderungspotentiale für Mikroschadstoffe untersucht, mit folgendem Ergebnis:

**Tabelle 2: Vermeidungs- und Verminderungspotentiale quellenbezogener Maßnahmen**

Maßnahmen	Biozide			Arzneistoffe					Sonstige organische Stoffe			
	Terbutryn	Triclosan	TBT	Diclofenac	Ibuprofen	Metoprolol	Iomeprol	Sulfamet.	PAK	Nonylphen	PFOS	HBCDD
<b>Stoffsubstitution</b>	+	p	-	+	+	p	+	+	o	+	+	p
<b>Produktveränder.</b>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	p	+
<b>Anwendungsveränder.</b>	p	-	-	-	-	-	-	-	+	-	p	p
<b>Geregelte Entsorgung</b>	-	-	p	p	p	p	p	p	-	-	P	p

+ hohes Potential, o mittleres Potential, - schwaches/kein Potential; p positiver Effekt

Quelle: UBA 2014

### 4.1 Stoffsubstitution

Die Substitution von Schadstoffen durch umweltfreundlichere Alternativen stellt eine wirksame Maßnahme dar. Beispielsweise bei Bioziden geht es um biozidfreie Alternativen oder um den Einsatz von Wirk- und Hilfsstoffen mit umweltfreundlicheren Stoffeigenschaften, insbesondere was die Toxizität und Abbaubarkeit angeht. Terbutryn, das als Biozid in Fassadenmaterialien eingesetzt wird, könnte durch Terbutryn-freie Produkte bei Neuanstrichen ersetzt werden. Bis zur wirtschaftlichen Anwendbarkeit von Ersatzstoffen sind aber noch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu leisten. Bei Triclosan, das als Konservierungsmittel und Biozid in Körperpflegemitteln und in Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sowie im Textilbereich als Geruchshemmer eingesetzt wird, empfiehlt die BfR (2006) den Einsatz auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Ein wesentlicher Grund ist das Risiko von Antibiotikaresistenzbildungen. TBT wurde als Biozid bereits verboten, wodurch die Emissionen erheblich zurückgegangen sind. Der Stoff belastet aber immer noch Sedimente, die durch frühere Emissionen eingetragen wurden (UBA 2014).

Was Arzneistoffe anbelangt, sind alternative Stoffe denkbar. Entsprechende Aktivitäten laufen unter dem Label „Green Pharmacy“. Allerdings spielt die biologische Abbaubarkeit von Arzneimitteln bis dato eine geringe Rolle. Die Entwicklung und Zulassung veränderter oder neu-

er Medikamente ist sehr zeit- und kostenintensiv. Die Maßnahme wäre jedoch langfristig und flächendeckend wirksam.

Bezüglich Nonylphenol, das bei der Textilherstellung Verwendung findet und über die häusliche Textilwäsche in Gewässer eingetragen wird, existieren Substitute, insbesondere aus der Gruppe der Alkoholethoxylate, die vergleichsweise gut biologisch abbaubar sind (UBA 2014). Schweden hat im Rahmen der EU eine Begrenzung von Nonylphenol vorgeschlagen. Der Vorschlag wird von der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) unterstützt, eine Entscheidung der EU-Kommission steht noch aus.

Als Ersatzstoffe für PFT/PFOS in der Galvanik, in Löschschaumprodukten, sonstigen PFT-/PFOS-Anwendungen sind nach Möglichkeit fluorfreie Produkte einzusetzen bzw. zu entwickeln oder weiterzuentwickeln, damit nicht der Verbrauch anderer Per- oder Polyfluorverbindungen mit ähnlichen Eigenschaften ansteigt. Als Alternative zu fluorfreien Ersatzstoffen sind Standards zur Vermeidung des Eintrags an der Quelle (z.B. geschlossene Systeme, Kreislaufführung, Teilstrombehandlung, thermische Entsorgung, etc.) möglich. Anstelle von Einzelstoffregulierungen (wie derzeit für PFOS) sollten Zulassung, Einsatz und Anwendung für die gesamte Stoffgruppe der PFT oder der per- und polyfluorierten Chemikalien insgesamt in Betracht gezogen werden.

Eine spezielle Problematik stellt Mikroplastik dar. Zu unterscheiden ist einerseits Mikroplastik in Anwendungen, wo Mikropartikel gezielt eingesetzt werden, wie beispielsweise Kosmetika, und andererseits Mikroplastik, das aufgrund von Abrieb oder Zersetzungsprozessen aus Kunststoffen entsteht. Für den Ersatz von Microbeads in Kosmetika gibt es eine Vielzahl von Alternativen. Darunter Naturprodukte wie zermahlene Nusschalen, Aprikosenkerne, Bienenwachs oder Salzkristalle sowie biobasierte und biologisch abbaubare Polymere (Polyhydroxyfettsäuren Polyhydroxyalkanoate, Polymilchsäure, Polybutylensuccinat), die bakteriell produziert werden. Die größten Herausforderungen sieht das Umweltbundesamt in der technischen Machbarkeit, um sicherzustellen, dass ein vollständiger biologischer Abbau der Polymere auch in der marinen Umwelt garantiert ist und zudem in der Realisierung mengenmäßig relevanter Produktionsvolumen und Marktanteile dieser Polymere (UBA 2015a). Als Substitute für Kunststoffe werden insbesondere Biokunststoffe diskutiert. Schätzungen zufolge, könnten bis zu 90 % der konventionellen Polymere durch biobasierte Rohstoffe substituiert werden. Allerdings sind nicht alle Biokunststoffe biologisch abbaubar. „Drop-in-Lösungen“ verfügen über einen nahezu gleichen chemischen Aufbau und haben damit auch gleiche Eigenschaftsprofile wie die petrochemischen Vergleichsprodukte. Beispiele hierfür sind das biobasierte Polyethylenterephthalat (Bio-PET) und das biobasierte Polyethylen (Bio-PE). Außerdem werden Biokunststoffe mit petrochemischen Kunststoffen gemischt, wodurch sogenannte Blends entstehen. Dementsprechend existiert eine Vielzahl von Materialkombinationen aus Biokunststoffen und herkömmlichen Kunststoffen. Für die Problematik des Mikroplastiks in Gewässern ist jedoch nicht das Ausgangsprodukt, sondern die Frage der biologischen Abbaubarkeit der Kunststoffe zentral (VDI 2015).

---

## 4.2 Veränderungen auf Ebene der Produkte

---

Durch Veränderung der Produkte kann auf die Emission von Mikroschadstoffen Einfluss genommen werden. Bei Terbutryn könnten beispielsweise Veränderungen darin bestehen, das Biozid im Fassadenanstrich oder in Dachfarben zu verkapseln. Durch eine Verkapselung wird die Auswaschung erheblich verringert (UBA 2014). Durch Verkapselung von Diuron, einem Biozid in Fassadenputz, wurde eine deutlich geringere Auswaschung festgestellt. (BP 2012) Pflanzenschutzmittel werden ebenfalls seit einigen Jahren in mikroverkapselter Form (Kapselsuspension) verkauft. Bei vielen anderen Mikroschadstoffen sind die Möglichkeiten, durch Produktänderungen die Emissionen zu reduzieren, deutlich geringer bzw. gar nicht vorhanden (s. Tabelle 2).

---

### 4.3 Veränderungen im Anwendungsbereich

---

Bei der Anwendung von Produkten mit Stoffen, die potenziell als Mikroschadstoffe in die Gewässer gelangen können, bestehen auf verschiedenen Ebenen Möglichkeiten, den Eintrag zu verringern. Bei Terbutryn lassen sich durch bauliche Veränderungen an der Fassade gezielt Auswaschungen reduzieren. Bei Arzneimitteln können die Mengen durch angepasste Verschreibungen zum Beispiel von Packungsgrößen verringert werden. In diese Richtung zielen auch bessere Möglichkeiten der Einzelabgabe durch Apotheken und Ärzte. Auch Vorsorgemaßnahmen und alternative, nichtmedikamentöse Therapien sind denkbar ohne therapeutische Wirkungen zu beeinträchtigen. Laut einer Krankenkassenstudie verschreiben Ärzte ihren Patienten Antibiotika in den meisten Fällen auf Verdacht. Die Wirksamkeit der Medikamente könnte jedoch vorab durch eine Diagnostik geklärt werden. Zu den umstrittenen Indikationen gehören unspezifische Atemwegsinfektionen, eine akute Bronchitis oder ein grippaler Infekt. Bekannt ist, dass Appelle an den medizinischen Sachverstand und der Hinweis auf Leitlinien das Ordnungsverhalten der Ärzte wenig bewirken. Aus Tests mit Ärzten geht hervor, dass das Verschreibungsverhalten sich erst ändert, wenn der Arzt bei potenziell umstrittenen Indikationen seine Entscheidung begründen muss. Auch Softwareprogramme, die Alternativen für die Verordnung von anderen symptomatischen Medikamenten vorschlagen, zeigten Wirkung auf das Verschreibungsverhalten von Ärzten (Ärzteblatt 2016).

Relativ groß ist auch das Verringerungspotential von Mikroschadstoffen, die durch die Landwirtschaft in die Gewässer eingetragen werden. Hier geht es insbesondere um eine Reduzierung von Arzneimitteln wie Antibiotika in der Tierhaltung. Die Thematik wird bereits in verschiedenen Programmen aufgegriffen, darunter das Programm „Gewässerschonende Landwirtschaft“ des Landes Rheinland-Pfalz. Ziel ist es, die Landwirtschaft darin zu unterstützen, den Eintrag von Schadstoffen in die Umwelt zu verringern, um das von der EG-WRRL geforderte Ziel eines guten Zustandes zu erreichen (MUEEF 2016). Die jüngste Auswertung des Bundesamtes für Verbraucherschutz dokumentiert einen um 27 % verringerten Antibiotikaeinsatz in der Nutztierhaltung seit der ersten Erfassung in 2011. Dies wird auf das Antibiotika-Monitoring von Wirtschaft und Behörden zurückgeführt (DBV 2015).

---

### 4.4 Geregelter Entsorgung

---

Durch eine geregelte Entsorgung kann bei einigen Mikroschadstoffen der Eintrag in die Umwelt verringert werden. Ansätze gibt es insbesondere bei Arzneimitteln. Auf Ebene der Haushalte geht es darum, Medikamente nicht über Sanitäreinrichtungen, sondern über Abfallsammelbehälter zu entsorgen bzw. in der Apotheke zurückzugeben, die dann die Entsorgung über den Restmüll vornimmt. Der durch unsachgemäße Entsorgung über das Abwasser eingetragene Anteil wird auf 3-4 % geschätzt (UBA 2014). Das UBA geht davon aus, dass durch bundeseinheitliche Regelungen, die unsachgemäße Entsorgung, nahezu vollständig vermieden werden könnte. Entsprechende Erfahrungen in Schweden legen diesen Schluss nahe. Für Deutschland empfiehlt das Umweltbundesamt die Einrichtung von „bundesweit einheitlichen Entsorgungswegen für Alt- und unverbrauchte Humanarzneimittel“ in „Kombination mit einer breit angelegten Kommunikationskampagne“ und „die Beachtung der geltenden rechtlichen Bestimmungen in Form eines sachgerechten und knappen Entsorgungshinweises auf der Verpackung/Packungsbeilage“ (UBA 2014). Ein weiterer Ansatz betrifft die Krankenhäuser und andere Institutionen des Gesundheitswesens. Diese sind Orte, wo besonders konzentriert Arzneistoffe in die kommunalen Abwassersysteme eingetragen werden (so genannte Hotspots). Um diese Frachten zu minimieren, bietet sich der dezentrale Einsatz nachgeschalteter Reinigungstechnologien (Ozonierung, Aktivkohlefilter) an. Aufgrund der höheren Konzentration von Medikamenten im Krankenhausabwasser können höhere Eliminationswerte als in der zentralen Kläranlage erreicht werden. Ebenfalls denkbar ist eine Behandlung eines Teilstromes, so dass geringer belastetes Abwasser in

das kommunale System abgeleitet wird und kommunale Kläranlagen entlastet werden (UBA 2014).

---

## 4.5 Bewertung

---

Grundsätzlich steht ein breites Spektrum an quellenbezogenen Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Emissionen, die zu Mikroverunreinigungen in Gewässern führen, zur Verfügung. Die Potentiale möglicher Transformationsansätze sind wie folgt einzuschätzen:

- Die Stoffsubstitution bietet erhebliche Potentiale zur Vermeidung und Verminderung des Eintrags von Emissionen für viele Mikroschadstoffe. Die Wirksamkeit der Stoffsubstitution ist langfristig und flächendeckend. Allerdings ist die Eingriffstiefe hoch. Die Entwicklung von Substituten ist in der Regel zeit- und kostenintensiv.
- Auf Ebene der Produkte gibt es vergleichsweise wenige Möglichkeiten, die Emission von Schadstoffen zu verringern. Ein Beispiel ist die Verkapselung von Bioziden (z.B. Terbutryn) in Fassadenanstrichen oder in Dachfarben.
- Im Anwendungsbereich gibt es Potenziale insbesondere beim Einsatz von Bioziden, etwa durch bauliche Veränderungen an der Fassade, was dazu führt, dass Biozide aus der Farbe im geringeren Umfang ausgewaschen und über Abläufe in die Gewässer eingetragen werden. Große Potentiale gibt es im Bereich der Landwirtschaft.
- Vor allen bei Medikamenten könnte durch eine geregelte Entsorgung der Eintrag von Arzneimitteln in die Gewässer deutlich reduziert werden. Durch eine dezentrale, gezielte Behandlung von Abwässern aus Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen könnten höhere Eliminierungswerte erreicht werden als in der zentralen Kläranlage.



## 5 Fazit und Möglichkeiten für einen Pfadwechsel

Im Folgenden werden die wichtigsten Pfadabhängigkeiten zusammengefasst, die einer Vermeidung bzw. Verminderung von Mikroschadstoffen an der „Quelle“ entgegenstehen. Außerdem werden ihre Auswirkungen auf mögliche Transformationsansätze betrachtet und erste Handlungsempfehlungen gegeben, wie Pfadabhängigkeiten aufgebrochen werden könnten.

### 5.1 Pfadabhängigkeiten

Mikroschadstoffe resultieren aus einem nahezu allgegenwärtigen Einsatz von chemischen Substanzen in der Industrie, in Krankenhäusern, in der Landwirtschaft und in Haushalten. Quellenorientierte Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Mikroschadstoffen sind daher mit stoff- und anwendungsspezifischen Pfadabhängigkeiten konfrontiert:

- Speziell bei Arzneimitteln ist eine Ausscheidung aus dem Körper gegeben, so dass der Eintrag über die Kläranlagen in die Gewässer zwangsläufig erfolgt. Bei Kontrastmitteln ist sogar eine vollständige Ausscheidung erwünscht. Die Abgabemenge von Medikamenten beträgt nach Einschätzung des Umweltbundesamtes allein im Bereich der gesetzlichen Krankenversicherung etwa 25.000 t jährlich (UBA 2014). Angesichts der demografischen Entwicklung wird sich die Mengenproblematik eher noch verschärfen.
- Ökonomische Pfadabhängigkeiten sind dort besonders ausgeprägt, wo die Entwicklung von Alternativen in der Regel aufwendig und kostenintensiv ist. Substitutionsmöglichkeiten stehen nicht zur Verfügung. Dies ist beispielsweise bei vielen Arzneistoffen der Fall.
- Die Abwasserentsorgung ist heute weitgehend zentral organisiert. Dezentrale Infrastrukturen zur Eliminierung von Mikroschadstoffen existieren kaum, im Wesentlichen handelt es sich um Pilotprojekte. Die weitgehende Elimination (zum Beispiel) von Röntgenkontrastmitteln aus Abwasser ist sehr aufwendig.
- Verwendungsbegrenzungen und -verbote sind mit Blick auf Gewässerschutz nur in sehr begrenztem Rahmen möglich. Häufig werden nur besonders wichtige Anwendungen beschränkt und es verbleiben Einträge aus kleineren, nicht beschränkten und auch nicht substituierbaren Anwendungen. Die Regelungen betreffen „nur die Herstellung, Vermarktung und Anwendung, weshalb die Emissionen während des Nutzungszeitraums –etwa bei Baumaterialien– teilweise mehrere Jahrzehnte betragen können und auch die Entsorgung der Reststoffe unberücksichtigt bleibt. Humanarzneimittel werden in den entsprechenden europäischen Zulassungsverfahren bislang zwar im Hinblick auf Umweltrelevanz bewertet, es erfolgen aber keine Anwendungsverbote oder -einschränkungen bei nachgewiesener Umweltrelevanz“ (UBA 2016b).

### 5.2 Auswirkungen der Pfadabhängigkeiten auf die Transformationsansätze

Auf die in Kapitel 3 vorgestellten Transformationsansätze wirken sich die Pfadabhängigkeiten mit unterschiedlicher Intensität aus. Eine starke Pfadabhängigkeit stabilisiert dabei das System mit seinen Akteuren in besonders hohem Ausmaß. Sie stellt damit ein besonders starkes Hemmnis für eine umfassende Umsetzung quellenorientierter Maßnahmen dar (siehe Tabelle 3). Besonders ausgeprägt sind die Pfadabhängigkeiten bei Ansätzen zur

Stoffsubstitution, dort, wo bis dato keine Alternativen zur Verfügung stehen. Dies ist bei Arzneistoffen der Fall. Bezüglich Textilchemikalien ist die Situation eine andere. Hier existieren bereits vielfach Ersatzstoffe. Groß sind auch die Pfadabhängigkeiten in der Landwirtschaft. Zwar gibt es erhebliche Verringerungspotentiale von Mikroschadstoffen. Eine weitgehende Senkung setzt aber alternative Formen der Landwirtschaft voraus, die beispielsweise ohne einen routinemäßigen Einsatz von Antibiotika oder Pestiziden auskommen. Relativ gering sind Pfadabhängigkeiten bei Ansätzen für eine geregelte Entsorgung von Arzneimitteln. Hier geht es vor allem Information und die Schaffung von Anreizen für eine getrennte Sammlung von Medikamenten, u.a. über Apotheken.

**Tabelle 3: Auswirkungen der Pfadabhängigkeiten auf Transformationsansätze**

Transformationsansatz	Stoffsubstitution	Produktveränderungen	Anwendungsveränderung	Geregelte Entsorgung
Leitstrategie	Konsistenz	Effizienz	Effizienz	Effizienz
<b>Pfadabhängigkeit</b>				
Fehlende Substitutionsmöglichkeiten	stark-gering	stark-mittel	stark-mittel	gering
Erwünschte Freisetzung	stark	mittel	mittel	gering
Zentrale Abwasserentsorgung	mittel	mittel	mittel	gering
Fehlende Verwendungsbegrenzungen und –verbote	stark	stark	stark	stark

Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.3 Erste Handlungsempfehlungen

Die Analyseergebnisse zeigen, dass für die Verringerung der Mikroschadstoffe in Gewässern sowohl quellenorientierte und nachsorgende Maßnahmen zur Verfügung stehen, die jeweils ihre spezifischen Vorteile und Grenzen haben.

**Tabelle 4: Vorteile und Grenzen quellenorientierter und nachgeschalteter Maßnahmen**

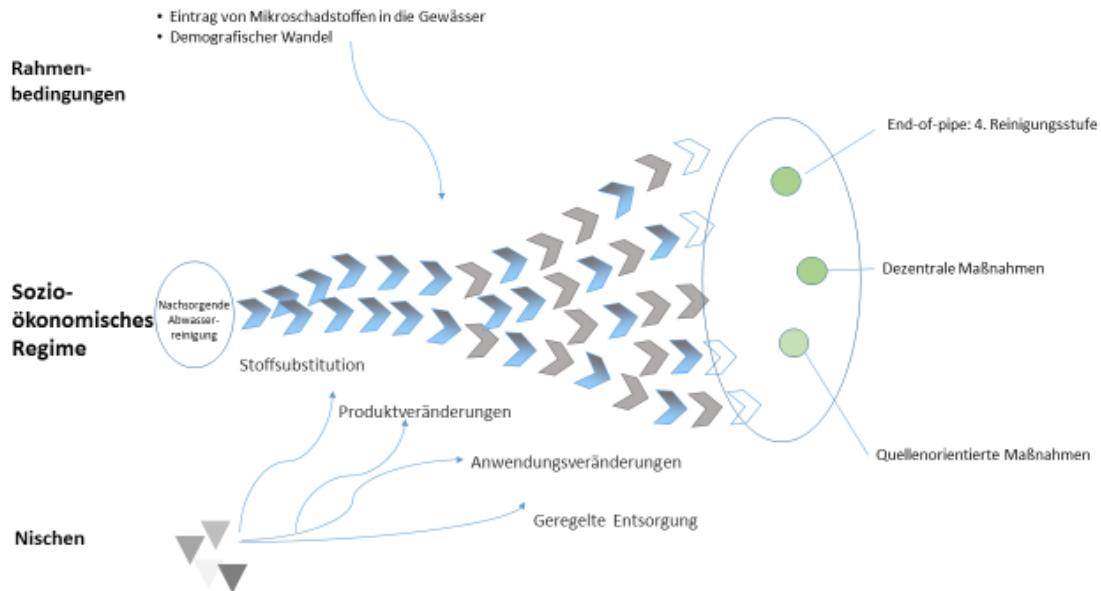
	Quellenorientierte Maßnahmen	Nachgeschaltete Maßnahmen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzung des Verursacherprinzips</li> <li>• Flächendeckende, umweltmedien-übergreifende Minderung der Umweltbelastungen</li> <li>• Reduktion der Emissionen aus Eintragspfaden, die nicht oder nicht ausreichend über nachgeschaltete Maßnahmen erfasst werden können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erprobte Techniken stehen zur Verfügung</li> <li>• Breitbandwirkung</li> <li>• Techniken können in vorhandene Anlagen integriert und betrieben werden</li> <li>• 4. Reinigungsstufe in GK 5: kosteneffiziente Maßnahme zur Verringerung der Grundbelastung der Gewässer</li> </ul> <p style="text-align: center;">Positive Zusatzeffekte</p>
Grenzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissionen aus bereits vorhandenen Anwendungen mit z.T. zeitlich verzögerten bzw. sehr lang anhaltenden Emissionen („Lager“ bzw. „Depots“)</li> <li>• schwer oder nur unvollständig zu begrenzende Anwendungen bzw. Emissionspfade (z.B. Importprodukte, Nischenprodukte, luftbürtige Ferntransporte)</li> <li>• sehr hochwertige, nicht oder kaum zu beschränkende Verwendungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei speziellen Stoffen je nach Verfahrenstechnik nur geringe Eliminationswirkung</li> <li>• bei sensiblen Gewässern oder Schutz regionaler Trinkwasserreserven zusätzlich Einbindung von Anlagen &lt;GK 5 sowie ggf. zusätzliche Maßnahmen notwendig</li> <li>• erhöhter Verbrauch von Betriebsmitteln (Energie, Aktivkohle, etc.)</li> </ul>

Quelle: UBA 2016b

Während für nachsorgende Maßnahmen die Techniken (für eine 4. Reinigungsstufe) faktisch ausgereift sind und es hier vor allem um eine flächendeckende Umsetzung geht, ist die Situation bei den vorbeugenden Maßnahmen deutlich heterogener. Von den Ansätzen, die hier diskutiert werden, sind bis dato viele noch umsetzungsfern. Der Schluss, dass nur eine nachgeschaltete Abwasserbehandlungstechnik Erfolg verspricht, wohingegen zur Reduzierung der Einträge die möglichen Vermeidungsmaßnahmen, wie Anwendungsbeschränkungen oder -verbote über Stoffrecht, Produktrecht, Verminderung von Luftemissionen nicht ausreichen (UBA 2015b) würde, greift aber zu kurz. Nachsorgende Techniken vermögen nicht vollständig die Mikroschadstoffe zu eliminieren, auch werden viele diffuse Einträge nicht über kommunale Kläranlagen erfasst. Vielmehr kommt es darauf an, über nachgeschaltete Maßnahmen hinaus, stärker als bisher auch quellenbezogene Maßnahmen zu entwickeln und in der Breite umzusetzen. Nur durch eine effiziente Kombination der verschiedenen Ansätze können die verschiedenen umweltpolitischen Zielsetzungen (ausreichende Emissionsminderung unter Berücksichtigung unterschiedlicher lokaler Belastungen,

hohe Effizienz, Umsetzung des Verursacherprinzips, Akzeptanz etc.) erreicht werden (UBA 2014).

**Abbildung 2: Pfadwechsel**



Quelle: eigene Darstellung

Ein Pfadwechsel würde also in diesem Fall bedeuten, neben der Aufrüstung von Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe („End-of-Pipe“) den quellenorientierten Maßnahmen, wie sie hier beschrieben worden sind, ein höheres Gewicht einzuräumen. Dazu gehören:

- Umsetzung des Verursacherprinzips für Mikroschadstoffe: Hierzu bedarf es der Entwicklung spezifischer Instrumente, die Hersteller, Handel und Anwender der entsprechenden Chemikalien erreichen. Dies umfasst außerdem eine verursachergerechte Lösung für die Finanzierung der Emissionsminderungsmaßnahmen auf Kläranlagen (Abgabenlösungen etc.).
- Zulassungsverfahren von Chemikalien und Arzneimitteln: Die Zulassungsverfahren von Chemikalien und Arzneimittel müssen den Gewässerschutz stärker berücksichtigen.
- Verbindliche Instrumente zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln: Der Nationale Pestizid-Aktionsplan (NAP) der Bundesregierung hat das Ziel, die Risiken der Verwendung von Pestiziden die Umwelt zu reduzieren und die Abhängigkeit vom chemischen Pflanzenschutz zu verringern. Da der Aktionsplan bisher wenig Wirkung entfaltet, haben sich verschiedene Akteure (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft bdew, Pestizid Aktions-Netzwerk PAN Germany) von dem Aktionsplan distanziert, Der Nationale Aktionsplan Pestizide ist damit gescheitert. Gefragt sind vor allem verbindlichere Instrumente für einen besseren Schutz der Gewässer vor den negativen Auswirkungen des Pestizideinsatzes.
- Eine neue Arzneimittelstrategie: Kernelement muss sein, dass Arzneimittel abbaubar sind und nicht in Nahrungsketten und Organismen akkumuliert werden. Sofern dies nicht möglich ist, sind Anwendungsregelungen (z.B. dezentrale Sammlung von Abwässern mit Röntgenkontrastmitteln) notwendig, die die Schadstofffracht in die Gewässer verringern.

Es ist sinnvoll, für die unterschiedlichen Handlungsbereiche (Landwirtschaft, Humanmedizin, Krankenhäuser, Haushalte etc.) spezifische, auf die Akteure zugeschnittene und mit den Akteuren gemeinsame Innovationsfahrpläne (Roadmaps) für eine Vermeidung und Verringerung von Mikroschadstoffen zu entwickeln. Sie sind ein leistungsfähiges Instrument, das viele Handlungsoptionen bündelt, Hemmnisse identifiziert und Prioritäten mit konkreten Zielsetzungen, Zeitplänen, Meilensteinen und Zuständigkeiten benennt. Voraussetzung ist die Einbindung aller relevanten Akteure. Die existierenden Netzwerke, wie die Kompetenzzentren für Mikroschadstoffe, bieten hierfür bereits eine geeignete Basis, reichen aber nicht aus. Daher ist der am 6.11.2016 vom BMUB gestartete Stakeholder-Dialog zur Mikroschadstoffstrategie eine vielversprechende Maßnahme für eine gemeinsam von den Akteuren getragene Strategie. Ein Policy-Paper soll im Frühjahr 2017 vorgelegt werden. Damit könnten Interessen, Sichtweisen und Strategien der Länder, der Wasserwirtschaft und anderer Stakeholder in eine künftige Gesamtstrategie integriert werden. Entscheidend bleibt aber die Umsetzung von Maßnahmen. Hier öffnet sich mit der nächsten Bundestagswahl im Oktober 2017 ein Zeitfenster, um in den danach anstehenden Koalitionsverhandlungen die Ergebnisse des Dialogs politisch abzusichern. Für die Bundesländer böte sich ein entsprechender Beschluss der Umweltministerkonferenz an (vgl. Wagner 2016).

## Experteninterviews

Semi-strukturierte Interviews wurden geführt mit:

- Dr.-Ing. Stephan Fuchs, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütwirtschaft, KIT Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
- Michael Kersting, Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik (RUFIS), Bochum
- Dr. Steffen Metzger, Kompetenzzentrum Spurenstoffe, Stuttgart

## Literaturverzeichnis

Ärztblatt 2016: Einfache „Anstöße“ senken Antibiotika-Verschreibung,  
<http://www.aerzteblatt.de/nachrichten/65684>

BMBF 2014, Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung von „Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Mach-Was“: <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-948.html>

DBV 2015: Verringerung des Antibiotikaeinsatzes ist ein Erfolg, Pressemitteilung,  
<http://www.bauernverband.de/verringderung-des-antibiotikaeinsatzes-ist-ein-erfolg>

DWA-Position 2010: Anthropogener Spurenstoffe im Gewässer  
[http://de.dwa.de/tl\\_files/\\_media/content/PDFs/Abteilung\\_AuG/Position-Anthropogene-Spurenstoffe-end-20110110.pdf](http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/Abteilung_AuG/Position-Anthropogene-Spurenstoffe-end-20110110.pdf)

ForumZ 2014: Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser - Konzeption Nordrhein-Westfalen,  
<http://www.forumz.de/Default.asp?Menue=19&Bereich=4&SubBereich=9&KW=61&ArtikelPPV=26298>

Fraunhofer 2014: Biowachspartikel als Alternative zu Mikroplastik, Pressemitteilung,  
<http://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/2014/140612-mikroplastik.html>

HELCOM 2014-Baltic Marine Environment Protection Commission (2014): BASE project 2012-2014: Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment

IKSR 2010a: Auswertungsbericht Humanarzneimittel,  
[http://www.iksr.org/fileadmin/user\\_upload/Dokumente\\_de/Berichte/Bericht\\_Nr.\\_182d.pdf](http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Berichte/Bericht_Nr._182d.pdf)

IKSR 2010b: Strategie Mikroverunreinigungen,  
[http://www.iksr.org/fileadmin/user\\_upload/Dokumente\\_de/Berichte/Bericht\\_Nr.\\_181d.pdf](http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Berichte/Bericht_Nr._181d.pdf)

IKSR 2010c: Strategie Mikroverunreinigungen -Strategie für die Siedlungs- und Industrieabwässer  
[http://www.iksr.org/fileadmin/user\\_upload/Dokumente\\_de/Berichte/Bericht\\_Nr.\\_181d.pdf](http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Berichte/Bericht_Nr._181d.pdf)

IKSR 2012; Auswertungsbericht Industriechemikalien,  
[http://www.iksr.org/fileadmin/user\\_upload/Dokumente\\_de/Berichte/202\\_d.pdf](http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Berichte/202_d.pdf)

IKSR 2013: Mikroverunreinigungen,  
[http://www.masterplan-wasser.nrw.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/IKSR\\_FLY\\_Mikro\\_DE\\_RZ\\_NEU\\_Kopie.pdf](http://www.masterplan-wasser.nrw.de/fileadmin/user_upload/Downloads/IKSR_FLY_Mikro_DE_RZ_NEU_Kopie.pdf)

ISOE 2012: Kluge, Th., Beck, S., Hansjürgens, B., Hiessl, H., Sartorius, Ch., Schramm, E: Wege zu einer nachhaltigen und exportstarken Wasserwirtschaft,  
<http://www.isoe.de/uploads/media/msoe-35-isoe-2012.pdf>

MUEEF 2016: Gewässerschutz in der Landwirtschaft, <http://www.wrrl.rlp.de/servlet/is/8441/>

RL 2000/60/EG: Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG

UBA 2014: Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer,  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_85\\_2014\\_massnahmen\\_zur\\_verminderung\\_des\\_eintrages\\_von\\_mikroschadstoffen\\_in\\_die\\_gewaesser\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_85_2014_massnahmen_zur_verminderung_des_eintrages_von_mikroschadstoffen_in_die_gewaesser_0.pdf)

UBA 2015a: Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_63\\_2015\\_quellen\\_fuer\\_mikroplastik\\_mit\\_relevanz\\_fuer\\_den\\_meeresschutz\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_63_2015_quellen_fuer_mikroplastik_mit_relevanz_fuer_den_meeresschutz_1.pdf)

- UBA 2015b: Position: Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge,  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/organische\\_mikroverunreinigungen\\_in\\_gewassern\\_vierte\\_reinigungsstufe\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/organische_mikroverunreinigungen_in_gewassern_vierte_reinigungsstufe_0.pdf)
- UBA 2015c: UBA (2015c): Position März 2015 – Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern. Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. Hrsg. v. Umweltbundesamt. Dessau,  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/organische\\_mikroverunreinigungen\\_in\\_gewassern\\_vierte\\_reinigungsstufe.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/organische_mikroverunreinigungen_in_gewassern_vierte_reinigungsstufe.pdf)
- UBA 2016: Mikroplastik: Entwicklung eines Umweltbewertungskonzepts, Erste Überlegungen zur Relevanz von synthetischen Polymeren in der Umwelt,  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_32\\_2016\\_mikroplastik\\_entwicklung\\_eines\\_umweltbewertungskonzeptes.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_32_2016_mikroplastik_entwicklung_eines_umweltbewertungskonzeptes.pdf)
- UBA 2016b: Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer, Phase 2, Texte 60/2016, Dessau  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/mikroschadstoffen\\_in\\_die\\_gewasser-phase\\_2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/mikroschadstoffen_in_die_gewasser-phase_2.pdf)
- VDI 2015: Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken und Lösungsansätze,  
[https://www.fona.de/mediathek/pdf/Plastik\\_in\\_der\\_Umwelt\\_Forschung.pdf](https://www.fona.de/mediathek/pdf/Plastik_in_der_Umwelt_Forschung.pdf)
- Wagner, J. 2016: Die Mikroschadstoffstrategie des Bundes, BMUB, Vortrag am 19.9.2016, Düsseldorf