**Projekt : Wasserwiederverwendung**

Wissenschaftliche Studie als Argumentationsbasis zur Betroffenheit relevanter Schutzgüter, insbesondere Von Grundwasser und Boden, durch die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser

von
Hella Schwarzmüller, Christoph Sprenger, Christian Menz,

Abteilung “Nachhaltige Nutzung und Schutz der Ressource Grundwasser”

Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Cicerostraße 24, 10709 Berlin, Deutschland

Email: christoph.sprenger@kompetenz-wasser.de, Tel. +49 (0)30-536-53815

Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Important Legal Notice

Disclaimer: The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. KWB disclaims liability to the full extent for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of application, or reliance on this document. KWB disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein. It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications. In addition, KWB disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfil any of your particular purposes or needs. The disclaimer on hand neither seeks to restrict nor to exclude KWB’s liability against all relevant national statutory provisions.

Wichtiger rechtlicher Hinweis

Haftungsausschluss: Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren. KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information hierin. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind. Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

Impressum

Titel

Wissenschaftliche Studie als Argumentationsbasis zur Betroffenheit relevanter Schutzgüter, insbesondere von Grundwasser und Boden, durch die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser

#### Projekt-Nr.

G 2.16

Autoren

*Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB)*

Hella Schwarzmüller, Bereichsleiterin Grundwasser

Christoph Sprenger, Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Christian Menz, Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Qualitätskontrolle

Christine Reuther, Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern

Endversion

20.07.2018

Zusammenfassung

Mit dem Ziel, die Wiederverwendung von behandelten Abwasser als Maßnahme gegen zunehmende Wasserknappheit in Europa zu stärken und die Anforderungen an die Qualität des behandelten Abwassers und die Erfordernisse des vorsorgenden (Verbraucher-,) Boden- und Gewässerschutzes zu harmonisieren, hat die Gemeinsame Forschungsstelle der EU-Kommission Joint Research Centre (JRC) einen Berichtsentwurf zu Mindestqualitätsanforderungen an behandeltes Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung und künstliche Grundwasseranreicherung vorgelegt. Der finale Bericht soll die fachliche Grundlage für eine Ableitung verbindlicher europäischer Standards bilden.

Ziel der vorliegenden Studie war, neben der Analyse der durch das JRC formulierten Mindestanforderungen, der Abgleich mit dem rechtlichen Rahmen Deutschlands einschließlich der Vorgaben zur Abwasserbehandlung und gewässerschutzrechtlicher Bestimmungen der Bundesländer. Daneben erfolgte eine Literaturstudie zum Stand der Forschung hinsichtlich der möglichen Auswirkungen der Wasserwiederverwendung auf Böden und Grundwasser zur Identifizierung des Bedarfs zusätzlich zu regelnder Parameter. Der Begriff „Wasserwiederverwendung“ bezieht sich dabei ausschließlich auf die Nutzung von behandeltem Abwasser aus kommunalen Kläranlagen.

Nach einer Einführung in die Problemstellung wird zunächst der Inhalt des JRC-Berichtes Version 3.2 vom Dezember 2016 [JRC (2017a)](#_ENREF_39) und JRC-Bericht Version 3.3 vom Juni 2017 ([JRC 2017b](#_ENREF_40)) zusammengefasst. An einzelnen entsprechend gekennzeichneten Stellen wird auf die Version 3.1 ([JRC 2016](#_ENREF_38)) Bezug genommen. In allen JRC Berichtsversionen werden die Mindestqualitätsanforderungen nach der Nutzung zur landwirtschaftlichen Bewässerung und zur künstlichen Grundwasseranreicherung unterschieden. Im Anschluss wird ein kurzer Überblick über die in Deutschland bestehenden rechtlichen Vorgaben, im Wesentlichen in Form der Verordnungen zur Umsetzung der EU-Richtlinien, gegeben. Dabei stehen der vorsorgende Boden- und Grundwasserschutz im Vordergrund. Fragen des Verbraucher- und Gesundheitsschutzes werden entsprechend des Auftrags ausgeklammert. Das folgende Kapitel 4 fasst den Stand der Forschung für die vom JRC als wesentlich adressierten und im Auftrag formulierten Stoffe bzw. Stoffgruppen zusammen. Einleitend wird ein kurzer Überblick über Risikomanagement-Ansätze gegeben, da das JRC vielfach auf das Erfordernis der Erstellung von Risikoanalysen verweist. Analog zum JRC-Bericht werden dann zunächst landwirtschaftlich relevante Parameter beschrieben und anschließend entsprechend dem Auftrag hygienisch relevante mikrobielle Verunreinigungen und anthropogene Spurenstoffe. Das Kapitel schließt mit einer kurzen Zusammenstellung der als wesentlich bewerteten Risiken für Boden und Grundwasser. In Kapitel 5 wird schließlich aus dem Vergleich der JRC-Mindestqualitätsanforderungen mit i) dem deutschen rechtlichen Rahmen und ii) den Ergebnissen der Bewertung des Standes der Forschung der zusätzliche Regelungsbedarf für Gesetzgebung und Vollzug geschlussfolgert.

Im Ergebnis folgt, dass sowohl der Bedarf, als auch die Relevanz und der Stand der Abwasserbehandlung europaweit als sehr heterogen angesehen werden können. Während in Deutschland z.B. die dritte Reinigungsstufe Standard bei der Abwasserbehandlung ist, das Klarwasser jedoch nicht desinfiziert wird, wird in Ländern, die die Wasserwiederverwendung bereits praktizieren z.T. nur bis zur zweiten Reinigungsstufe aufbereitet, dafür das behandelte Abwasser abhängig von der vorgesehenen Nutzung aber desinfiziert. Umgesetzte Projekte betreffen v.a. die landwirtschaftliche Bewässerung in Ländern mit bereits bestehender Wasserknappheit. Entsprechend adressiert der JRC-Bericht auch die Risiken für die menschliche Gesundheit und schlägt Indikator-Mikroorganismen bzw. zu erreichende Log-Entfernungsstufen vor.

Für Deutschland kann ein potentieller Nutzen der Wasserwiederverwendung nur in einzelnen Regionen aus dem Bewässerungsbedarf abgeleitet werden. Künstliche Grundwasseranreicherung wird indirekt über die Trinkwasseranreicherung aus Uferfiltration betrieben, mit teilweise hohen Klarwasseranteilen in den Oberflächengewässern. In diesem Zusammenhang wären alle potentiellen Eintragspfade von behandeltem Abwasser in Boden und Grundwasser einer Gesamtbilanzierung zu unterziehen. Forschungsbedarf besteht außerdem weiterhin hinsichtlich der Priorisierung mobiler, persistenter Spurenstoffe und der Verbreitung von Antibiotikaresistenzen und dem Überleben von Mikroorganismen in Dauerstadien.

#### Inhaltsverzeichnis

[Impressum 3](#_Toc495409976)

[Zusammenfassung 4](#_Toc495409977)

[Kapitel 1 Problemstellung 1](#_Toc495409978)

[Kapitel 2 Zusammenfassung des JRC-Entwurfs 4](#_Toc495409979)

[2.1 Hintergrund und Ziele 4](#_Toc495409980)

[2.2 Einordnung in den Rahmen existierender EU-Richtlinien und Normen 5](#_Toc495409981)

[2.3 Einordnung in den Rahmen existierender Verordnungen der EU-Mitgliedsstaaten 6](#_Toc495409982)

[2.4 Mindestqualitätsanforderungen für die landwirtschaftliche Bewässerung 6](#_Toc495409983)

[2.4.1 Überwachung der Abwasserqualität 6](#_Toc495409984)

[2.4.2 Überwachung der durch die Bewässerung beeinflussten Umweltkompartimente 9](#_Toc495409985)

[2.4.3 Validierungsüberwachung 9](#_Toc495409986)

[2.4.4 Betriebliche Überwachung 10](#_Toc495409987)

[2.5 Mindestqualitätsanforderungen für die Grundwasseranreicherung 11](#_Toc495409988)

[2.5.1 Überwachung der Abwasserqualität 11](#_Toc495409989)

[2.5.2 Überwachung der durch die Grundwasseranreicherung beeinflussten Umweltkompartimente 13](#_Toc495409990)

[2.5.3 Validierungsüberwachung 13](#_Toc495409991)

[2.5.4 Betriebliche Überwachung 14](#_Toc495409992)

[2.6 Position des JRC zum Thema Mikroschadstoffe 14](#_Toc495409993)

[2.7 Position des JRC zum Bezug auf die zulässige Höchstkonzentration der Umweltqualitätsnorm für prioritäre Stoffe 15](#_Toc495409994)

[Kapitel 3 Boden- und Grundwasserschutz im Rahmen der deutschen Gesetzgebung 16](#_Toc495409995)

[3.1 Rechtlicher Rahmen 17](#_Toc495409996)

[3.2 Wasserwiederverwendung im Kontext Grundwasserschutz 22](#_Toc495409997)

[3.3 Wasserwiederverwendung im Kontext Bodenschutz **Fehler! Textmarke nicht definiert.**](#_Toc495409998)

[3.4 Wasserwiederverwendung im Kontext Trinkwasserschutz 22](#_Toc495409999)

[3.5 Offene Fragen im Zusammenhang zum rechtlichen Rahmen in Deutschland 23](#_Toc495410000)

[Kapitel 4 Stand der Forschung zum Einfluss der Wiederverwendung behandelten Abwassers auf Boden und Grundwasser 25](#_Toc495410001)

[4.1 Risikobewertung allgemein 26](#_Toc495410002)

[4.2 Stoffinventar im behandelten Abwasser 27](#_Toc495410003)

[4.2.1 Salze 28](#_Toc495410004)

[4.2.2 Nährstoffe 28](#_Toc495410005)

[4.2.3 Schwermetalle 29](#_Toc495410006)

[4.2.4 Mikroorganismen 29](#_Toc495410007)

[4.2.5 Antibiotikaresistenz-Gene 31](#_Toc495410008)

[4.2.6 Mikroschadstoffe 31](#_Toc495410009)

[4.3 Relevante Stoffeigenschaften 33](#_Toc495410010)

[4.4 Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers 34](#_Toc495410011)

[4.4.1 Boden 34](#_Toc495410012)

[4.4.2 Grundwasser 36](#_Toc495410013)

[4.4.3 Kritische Kontrollpunkte 37](#_Toc495410014)

[Kapitel 5 Fazit 39](#_Toc495410015)

[5.1.1 Mindestqualitätsanforderungen des JRC-Berichtes im Vergleich zu den aus den deutschen Verordnungen resultierenden Anforderungen 39](#_Toc495410016)

[5.1.2 Mindestqualitätsanforderungen des JRC-Berichtes im Vergleich zum Stand der Forschung 40](#_Toc495410017)

[5.1.3 Empfehlungen hinsichtlich der Gesetzgebung 42](#_Toc495410018)

[5.1.4 Empfehlungen hinsichtlich des Vollzugs 43](#_Toc495410019)

[5.1.5 Schlussbemerkungen 43](#_Toc495410020)

[5.1.6 Ausblick 44](#_Toc495410021)

[Referenzen 46](#_Toc495410022)

[Anhang 50](#_Toc495410023)

#### Verzeichnis der Abbildungen

[Abbildung 1: Absterben von links) Konzentration der Mikroorganismen in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit in einen aeroben Grundwasserleiter (NRMMC-EPHC-NHMRC 2008) und rechts) abwasserbürtigen Mikroschadstoffen (als Konzentration) in der Untergrundpassage; Datengrundlage (Literaturauswertung im Rahmen des Projektes NASRI, KWB 2006, nach Reddersen (2004), Schittko et al. (2004), Zühlke (2004) 3](#_Toc519846301)

[Abbildung 2: Verfahrensalternativen und Entfernung von Indikatoren für anthropogene Spurenstoffe unter Angabe ökobilanzieller Daten (Jekel et al. 2015) 33](#_Toc519846302)

[Abbildung 3: Kritische Kontrollpunkte innerhalb eines Anreicherungsschemas mit naturnaher Aufbereitung in der Bodenpassage (Soil-Aquifer-Treatment SAT) mit Zuordnung des rechtlichen Rahmens in Europa; A) mit kontrollierter Entnahme (z.B. künstliche Grundwasseranreicherung zur Speicherung zur späteren Entnahme und Nutzung); B) ohne Entnahme (z.B. künstliche Grundwasseranreicherung zur Stützung grundwasserabhängiger Ökosysteme oder landwirtschaftliche Bewässerung) (Miret et al. 2012b) 38](#_Toc519846303)

#### Verzeichnis der Tabellen

[Tabelle 1: Mindestqualität des aufbereiteten Abwassers für die Wiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung [Tabellen 1+2 im JRC-Entwurf V 3.2] 8](#_Toc519846304)

[Tabelle 2: Empfehlungen zur Betriebsüberwachung der typischen Aufbereitungsschritte [JRC-Entwurf v3.2 Tabelle 6 nach WHO (2006), NRMMC (2006), USEPA (2012)] 10](#_Toc519846305)

[Tabelle 3: Mindestqualität und Überwachungsintervall des aufbereiteten Abwassers für die Wiederverwendung zur Grundwasseranreicherung [Tabellen 7+8 im JRC-Draft V 3.2; nach Spanish Presidential Ministry (2007)] 13](#_Toc519846306)

[Tabelle 4: Derzeitig in Deutschland geltende Rechtsgrundlagen für die Wasserwiederverwendungsarten (i) Beregnung landwirtschaftlicher Flächen und (ii) Grundwasseranreicherung 16](#_Toc519846307)

[Tabelle 5: Zusammenfassung der sich aus dem rechtlichen Rahmen zum Gewässer- und Bodenschutz ergebenden Anforderungen. 20](#_Toc519846308)

[Tabelle 6: Eigenschaften der verschiedenen Zonen eines Soil-Aquifer-Treatment Schemas (Zietzschmann et al. (2016) nach Amy (2009)) 26](#_Toc519846309)

[Tabelle 7: Auswahl an im Abwasser auftretenden Krankheitserregern (WHO 2006), ergänzt nach Hupfauf (2007) und Asano et al. (2007) 29](#_Toc519846310)

[Tabelle 8: Indikatororganismen, nach JRC (2017a)(z.T. ergänzt um weitere Quellen) 30](#_Toc519846311)

[Tabelle 9: Kennzahlen und Parameter zur Beschreibung des Stoffverhaltens für die Mikroschadstoffe 33](#_Toc519846312)

[Tabelle 10: Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers in der landwirtschaftlichen Bewässerung und künstlichen Grundwasseranreicherung für das Umweltmedium Boden 34](#_Toc519846313)

[Tabelle 11: Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers in der landwirtschaftlichen Bewässerung und künstlichen Grundwasseranreicherung für das Umweltmedium Grundwasser 36](#_Toc519846314)

[Tabelle 12: Definition der kritischen Kontrollpunkte für die Überwachung der Wiederverwendung behandelten Abwassers (Miret et al. 2012b) 37](#_Toc519846315)

[Tabelle 13: Überblick über Grenzwerte chemischer Parameter für die Wiederverwendung behandelten Abwassers für verschiedene Nutzungen (nach Salgot et al. (2006) zit. in Steinel and Margane (2011)) 54](#_Toc519846316)

[Tabelle 14: Vorgeschlagene Grenzwerte für behandeltes Abwasser zur Wiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung (WHO (2006)) 56](#_Toc519846317)

[Tabelle 15: Maximal zulässige Konzentrationen toxisch wirkender Chemikalien im Boden (EU-Klärschlammrichtlinie (86/278/EWG 1986) und WHO (2006)) 57](#_Toc519846318)

[Tabelle 16: Anforderungen an kommunales Abwasser für die Einleitestelle (AbwV (2017) Anhang 1C) 58](#_Toc519846319)

[Tabelle 17: Anforderungen für die indirekte und direkte Grundwasseranreicherung im Vergleich zu den Grenzwerten der TrinkwV (Kazner et al. (2012) nach Bixio et al. (2006)) 59](#_Toc519846320)

[Tabelle 18: Liste nach GOW bewerteter Stoffe (UBA 2016b) 60](#_Toc519846321)

#### Index der Richtlinien & Abkürzungen

AbwRL Richtlinie 91/271/EWG - Behandlung von kommunalem Abwasser

BWP Bewirtschaftungsplan

EuGH Europäischer Gerichtshof

GrwRL Richtlinie 2006/118/EG zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung

ISO International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung)

JRC Joint Research Centre (Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission)

NitratRL Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen

UQNRL Richtlinie 2008/105/EG über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik

USEPA United States Environmental Protection agency (US Umweltschutzbehörde)

WHO World Health Organisation (Weltgesundheitsbehörde)

WRRL Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG - Ordnungsrahmen für Maßnhamen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

# Problemstellung

Die vorliegende Studie soll die Frage beantworten, inwieweit die durch das Joint Research Centre (JRC) der EU-Kommission vorgelegten Empfehlungen zu Mindestqualitäts­anforderungen an gereinigtes Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung und/oder Grundwasseranreicherung dem Vorsorgeprinzip des Boden- und Grundwasserschutzes Rechnung tragen.

Dazu wurden neben der Analyse der durch JRC vorgelegten Empfehlungen die Vorgaben zur Abwasserbehandlung im Rahmen der deutschen Bundes- und Ländergesetzgebung gesichtet. Aus dem Vergleich des Parameterumfangs und des Vorgehens zur Bewertung der Abwasserwiederverwendung auf die Umweltschutzgüter Boden und Grundwasser folgen die Identifizierung des zusätzlichen Regelungsbedarfs und die Ableitung von Empfehlungen als Argumentationsgrundlage auf nationaler und europäischer Ebene.

Gefährdungspotentiale aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers resultieren insbesondere aus den Frachten hygienisch relevanter Mikroorganismen, der Verbreitung von Antibiotikaresistenz-Genen sowie abwasserbürtiger organischer Mikroschadstoffe. Dazu wird auf den Stand von Wissenschaft und Technik zum Verbleib und Transport der genannten Stoffe und Stoffgruppen eingegangen, sowie auf Parameter, die geeignet sind, das Transport- und Abbauverhalten zu beschreiben.

Den Rahmen der Gewässerschutzpolitik setzen dabei auf europäischer Ebene die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)[[1]](#footnote-2), die Umweltqualitätsnormen im Bereich der Gewässerpolitik (UQNRL)[[2]](#footnote-3), die Grundwasserrichtlinie (GrwRL)[[3]](#footnote-4), die Kommunalabwasserrichtlinie (AbwRL)[[4]](#footnote-5) und die Nitratrichtlinie (NitratRL)[[5]](#footnote-6). In nationales Recht sind sie per Wasserhaushaltsgesetz (WHG)[[6]](#footnote-7), Oberflächengewässerverordnung (OGewV)[[7]](#footnote-8), Grundwasserverordnung (GrwV)[[8]](#footnote-9), Abwasserverordnung (AbwV)[[9]](#footnote-10) und Düngeverordnung (DüV)[[10]](#footnote-11) umgesetzt. Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)[[11]](#footnote-12) und die dazu gehörige Verordnung (BBodSchV)[[12]](#footnote-13) sowie die Klärschlammverordnung (AbfKlärV)[[13]](#footnote-14) bestimmen den vor- und nachsorgenden Schutz des Bodens und seiner Funktionen.

In Deutschland wird der Ablauf der Kläranlagen, das behandelte Abwasser, in der Regel in nahegelegene Oberflächengewässer eingeleitet. Dabei regelt die Abwasserverordnung die Mindestanforderungen an die Abwasserqualität an der Einleitestelle. Die Abwasserbehandlung umfasst i.d.R. eine biologische Reinigungsstufe, die auch die Aufbereitung bis zur so genannten dritten Reinigungsstufe, d.h. Belebungsverfahren mit Nitrifikation/Denitrifikation und Phosphorelimination beinhaltet. Darüber hinaus würde eine so genannte vierte Reinigungsstufe vor allem der Entfernung von organischen Mikroschadstoffen dienen. Die Behandlungsmöglichkeiten umfassen Aktivkohlefiltration, Ozonierung, Membranfiltrationsverfahren oder biologischen Abbau und sind für den großmaßstäblichen Einsatz verfügbar. Die Einführung der vierten Reinigungsstufe wird kontrovers diskutiert. Abwasserentsorger argumentieren unter Verweis auf die hohen Kosten vor allem damit, dass sie nicht dem Verursacherprinzip entspräche und stattdessen der Eintrag in das Abwasser reduziert werden müsse ([Bode 2014](#_ENREF_16)), während andere Studien zeigen, dass die resultierenden Mehrkosten bei einer stufenweisen Einführung moderat ausfallen würden ([UBA 2016c](#_ENREF_76)). Es sollte ferner bedacht werden, dass einige Spurenstoffe wie z.B. das Schmerzmittel Dicolfenac auch durch eine vierte Reinigungsstufe nicht vollständig entfernt werden und somit über die Abwassereinleitung in die Umwelt gelangen.

Die Oberflächengewässer als Vorfluter werden hinsichtlich ihres chemischen und ökologischen Zustands über die Oberflächengewässerverordnung und die darin implementierten Umweltqualitätsnormen geschützt. Sie regelt die Stoffe, die einzuleiten verboten oder zu begrenzen sind, die Untersuchungsparameter und Berichtspflichten der Vollzugsbehörden. Analog regelt die Grundwasserverordnung die Benutzung, Zustandsüberwachung und Einleitung verbotener bzw. zu begrenzender Stoffe für die Grundwasserkörper.

Abwasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung spielt in Deutschland aufgrund der ausreichenden Verfügbarkeit von Oberflächen- und Grundwasser nur eine sehr untergeordnete Rolle. Dabei ist die großmaßstäbliche, bisher nicht bedarfsgerechte Anwendung auf die Region Wolfsburg / Braunschweig begrenzt ([Seis et al. 2016](#_ENREF_65)). Dort ist die Bewässerung außerdem auf Futter- und Energiepflanzen begrenzt ([DWA 2008](#_ENREF_21)).

Anders ist dies in Ländern mit nicht ausreichender Wasserverfügbarkeit (z.B. Südeuropa, Israel, Tunesien, Ägypten, Australien, Japan, USA). Hier werden regional bis zu 70% des behandelten Abwassers in der Intensivlandwirtschaft wiederverwendet ([Hochstrat et al. 2008](#_ENREF_34)). Die Mindestqualitätsanforderungen sind dabei regional unterschiedlich und stark vom jeweiligen Stand der Technik bei der Abwasserbehandlung beeinflusst.

Eine gezielte künstliche Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser wird in Deutschland nur in geringem Umfang betrieben ([Schulz 2014](#_ENREF_64)). Europaweit und international nimmt die Zahl der Pilotprojekte und vollmaßstäblichen Anwendung jedoch zu ([Fuhrmann et al. 2012](#_ENREF_31)). In Deutschland und anderen europäischen Ländern findet jedoch, über die an zahlreichen Standorten praktizierte Trinkwassergewinnung durch Uferfiltration, auch eine Grundwasseranreicherung aus den Oberflächengewässern statt. Dabei können, wie bei der direkten künstlichen Grundwasseranreicherung auch, im Oberflächenwasser enthaltene abwasserbürtige Mikroschadstoffe und hygienisch relevante Mikroorganismen in das Grundwasser eingetragen werden. Während pathogene Mikroorganismen i.d.R. während der Untergrundpassage bei ausreichend langer Verweilzeit gut zurückgehalten werden, finden sich abwasserbürtige persistente organische Mikroschadstoffe wie Arznei- und Pflanzenschutzmittelrückstände und ihre Abbauprodukte auch im Grundwasser wieder (Abbildung 1).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Abbildung 1: Absterben von links) Konzentration der Mikroorganismen in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit in einen aeroben Grundwasserleiter ([NRMMC-EPHC-NHMRC 2008](#_ENREF_53)) und rechts) abwasserbürtigen Mikroschadstoffen (als Konzentration) in der Untergrundpassage;
Datengrundlage (Literaturauswertung im Rahmen des Projektes NASRI, KWB 2006, [nach Reddersen (2004)](#_ENREF_59), [Schittko et al. (2004)](#_ENREF_63), [Zühlke (2004)](#_ENREF_92" \o "Zühlke, 2004 #8)

Die Grundwasseranreicherung über Uferfiltration ist weder Gegenstand des JRC-Berichtes noch der vorliegenden Studie. Die Vielzahl an Forschungsergebnissen zum Abbauverhalten von Mikroorganismen und organischen Mikroschadstoffen sind jedoch übertragbar auf den Kontext landwirtschaftliche Bewässerung und/oder Grundwasseranreicherung. Beides wird nachfolgend in Bezug zum Boden-, Grundwasser- und Trinkwasserschutz gesetzt.

# Zusammenfassung des JRC-Entwurfs

Die folgenden Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf den Berichtsentwurf Version 3.2 vom Dezember 2016 ([JRC 2017a](#_ENREF_39)). Im Folgenden werden Verweise die sich auf andere Berichtsversionen beziehen explizit genannt.

## Hintergrund und Ziele

Das JRC adressiert mit dem vorliegenden Berichtsentwurf ([JRC 2017a](#_ENREF_39)) den von der EU-Kommission identifizierten Bedarf, die Wiederverwendung von behandelten Abwassers innerhalb der EU voranzutreiben, um den Nutzungsdruck auf die Frischwasserressourcen zu vermindern. In diesem Zusammenhang sollen Mindestqualitätsanforderungen zur Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung und die Grundwasseranreicherung EU-weit geregelt werden. Die Harmonisierung der Mindestqualitätsanforderungen wird insbesondere als Instrument für den Abbau von Barrieren bei der Implementierung der Wasserwiederver­wendung und einen verbesserten Marktzugang für mit behandeltem Abwasser bewässerte Produkte betrachtet und ergänzt die WRRL sowie die AbwRL.

Wasserwiederverwendung wird als eine mögliche Maßnahme im Kontext des Managements von Wasserknappheit und Dürre genannt. Dabei wird spezifisch darauf verwiesen, dass das Erschließen alternativer Quellen, wozu die Wiederverwendung für landwirtschaftliche oder industrielle Zwecke zählt, erst nach Ausschöpfen der höher gewichteten Optionen (Wasser sparen, Effizienz erhöhen, Einflussnahme über Wasserpreisgestaltung, Priorisierung der Nutzung) empfohlen wird ([EC 2007b](#_ENREF_23)). Auch der Blueprint zur Sicherung der europäischen Wasserressourcen ([EC 2012](#_ENREF_24)) zählt die Wasserwiederverwendung als eine alternative Wasserquelle für die landwirtschaftliche Bewässerung und für industrielle Zwecke auf.

Das JRC bezieht sich ausschließlich auf Abwasser im Sinne der AbwRL. Die Systemkomponenten im Sinne des Berichtes umfassen: das Rohabwasser (Zufluss zur Kläranlage), die Abwasserbehandlung, eventuelle zusätzliche Behandlungsschritte, die erforderlich sind, um Wasser in der erforderlichen Qualität für die Wiederverwendung bereitzustellen, Speicherung und Verteilung sowie, im Fall der landwirtschaftlichen Bewässerung, das Bewässerungssystem selbst. Die Erarbeitung der Vorschläge zu den Mindestqualitätsanforderungen bezieht sich außerdem ausschließlich auf Risiken für die menschliche Gesundheit und Umweltrisiken. Eine „adäquate Behandlung“ des Abwassers wird vorausgesetzt, ohne dass diese näher definiert wird.

Zur Erarbeitung herangezogen wurden neben den rechtlichen Rahmenvorschriften der EU, WRRL und GrwRL, Verordnungen und Empfehlungen der Mitgliedsstaaten, außereuropäische Leitlinien, insbesondere der WHO, Australischer Leitfaden für Wasserwiederverwendung und der US Umweltschutzbehörde (USEPA), die ISO-Norm 16075, sowie wissenschaftliche Veröffentlichungen mit Bezug zu den Inhalten. Die Argumentationskette baut auf dem Risikomanagement-Ansatz nach WHO auf ([WHO 2009](#_ENREF_85)).

Demnach wurden die folgenden Elemente des Risikomanagement-Ansatzes einbezogen: Bewertung der Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt; Erarbeitung von Zielen für die Wasserqualität, die Systemleistung und Aufbereitungstechnologien; vorbeugende Maßnahmen gemäß Multi-Barrieren-Konzept; Überwachung der Aufbereitung und der Wasserqualitätsziele (vor und während des Betriebs).

Gegenüber dem Draft V3.1 vom Oktober 2016 wird hervorgehoben, dass die vorgeschlagenen Mindestqualitätsanforderungen durch die Mitgliedsstaaten durch strengere Anforderungen ersetzt werden können.

Im JRC-Entwurf V3.3 wird der Risikomanagement-Ansatz noch stärker in den Vordergrund gestellt und um weitere Elemente (Aufbauorganisation für Notfall- & Krisenmanagement, technische Beschreibung des Wiederverwendungssystems) entsprechend den WHO-Leitfäden ergänzt. Die Mitgliedstaaten werden aufgefordert, die Prinzipien des Risikomanagements auf die Nutzung behandelten Abwassers anzuwenden.

## Einordnung in den Rahmen existierender EU-Richtlinien und Normen

Den Rahmen auf europäischer Ebene setzen die WRRL, die AbwRL und die GrwRL.

Die WRRL definiert das Ziel eines chemischen und ökologisch guten Zustands aller Gewässer, nennt Parameter und prioritäre Stoffe, verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Einhaltung des Verschlechterungsverbots, gibt aber keine Grenz- oder Prüfwerte vor. In der WRRL werden Maßnahmen zur Förderung der Wasserwiederverwendung als ergänzende Maßnahme genannt ([EU 2000 Annex VI Part B](#_ENREF_29)). Aus der Umsetzung in nationales Recht folgen Genehmigungsvorbehalte für den Gewässerschutz und damit die Abwassereinleitung, sowie den Grundwasserschutz und damit die Grundwasseranreicherung.

Die AbwRL regelt das Sammeln, Behandeln und Ableiten kommunaler Abwässer sowie das Behandeln und Einleiten von Abwasser bestimmter Industriebranchen, mit dem Ziel, die Umwelt bzw. die Gewässer vor schädlichen Auswirkungen kommunaler Abwässer zu schützen. Anhang I umfasst Emissionsgrenzwerte für ausgewählte Nährstoffe als Zielkonzentration oder prozentuale Mindestverringerung. Artikel 12 schreibt die Wasserwiederverwendung „nach Möglichkeit“ und unter Begrenzung der Belastungen der Umwelt auf ein Minimum vor und definiert das Erfordernis einer „vorherigen Regelung und/oder Erlaubnis“. Der JRC-Bericht verweist in diesem Zusammenhang auf das Potential der Wasserwiederverwendung, die Oberflächengewässer zu entlasten, definiert jedoch keine Kriterien zur Auslegung von Artikel 12.

Die GrwRL legt in Ergänzung zur WRRL fest, dass Einträge von Schadstoffen in das Grundwasser zu verhindern oder zu begrenzen sind. Dazu werden zu berücksichtigende „bestimmte gefährliche“ Stoffe genannt, für die durch die Mitgliedsstaaten Schwellenwerte und Überwachungsprogramme festzulegen waren. Aus der Delegation der Definition der Schwellenwerte an die Mitgliedsstaaten folgt, dass diese unter Umständen nicht einheitlich festgelegt sind. Der JRC-Bericht greift dies nicht auf. Eine Ausnahme bilden die Grundwasserqualitätsnormen für Nitrate und Wirkstoffe in Pestiziden sowie der Verweis auf die UQNRL, wobei letztere nur die Oberflächenwasserkörper (unter Umständen einschließlich Sedimenten und/oder Biota) betreffen. In Bezug zur Wasserwiederverwendung legt Artikel 6 Abs. 3 lit. der GrwRL weiterhin dar, dass Schadstoffeinträge als Folge einer genehmigten künstlichen Anreicherung oder Auffüllung von Grundwasserkörpern von den Maßnahmen zur Verhinderung bzw. Begrenzung der Einträge ins Grundwasser ausgenommen werden können, wenn dies entsprechend Art. 11 Abs. 3 (f) der WRRL vorher genehmigt wurde. In dessen 2. Satz wird ausdrücklich auf die Verwendung von Wasser aus Oberflächengewässern und Grundwasser für die künstliche Grundwasseranreicherung verwiesen, nicht auf behandeltes Abwasser. Nach deutschem Recht darf auch bei einem Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit nicht zu besorgen sein (Besorgnisgrundsatz).

Hier sei zudem auf die EuGH-Rechtsprechung zum Verschlechterungsverbot verwiesen (EuGH Urteil vom 01.07.2015, C-461/13; EuGH Urteil vom 04.05.2016 C-346/14). Dort wird u.a. ausgeführt, dass das Verschlechterungsverbot „für jeden Typ und damit für jeden Zustand eines Oberflächenwasserkörpers, für den ein Bewirtschaftungsplan erlassen wurde“ gilt. Entsprechendes kann auch für Grundwasserkörper angenommen werden ([LAWA 2017](#_ENREF_47)). Weiter heißt es im Urteil vom 04.05.2016 Rz. 64: „Der betreffende Mitgliedstaat ist folglich verpflichtet, die Genehmigung eines Vorhabens zu versagen, wenn es geeignet ist, den Zustand des fraglichen Wasserkörpers zu verschlechtern oder die Erreichung eines guten Zustands der Oberflächenwasserkörper zu gefährden...“. In der Praxis kann das Verschlechterungsverbot nach § 27 Abs.1 Nr.1 und Abs.2 Nr.1 und nach § 47 Abs.1 Nr.1 WHG daher wie folgt angewandt werden: Maßgeblicher Ort der Beurteilung des Zustandes eines Grundwasserkörpers sind stets die repräsentativen Messstellen, bewertet wird der Zustand eines Wasserkörpers insgesamt. Die repräsentativen Messstellen sind im Bewirtschaftungsplan (BWP) für den jeweiligen Grundwasserkörper festgelegt und ausgewiesen. Nur lokal begrenzte Beeinträchtigungen, die sich an den repräsentativen Messstellen nicht nachweisen lassen, verstoßen also nicht gegen das Verschlechterungsverbot, soweit sie sich nicht auf den Wasserkörper insgesamt auswirken (siehe auch Kapitel 4.2.6). Durch diese Auslegung werden lokale Spitzenbelastungen jedoch weggemittelt. In diesem Zusammenhang ist auf den im § 48 Abs. 1 WHG verankerten Besorgnisgrundsatz hinzuweisen, der auch für lokal begrenzte Beeinträchtigungen gilt und in der Regel einen strengeren Maßstab bildet.

Normkonkretisierend ist die [ISO 16950 (2015)](#_ENREF_36) als Norm für die Nutzung behandelten Abwassers für Bewässerungsprojekte von Bedeutung. Der vierteilige Leitfaden enthält Empfehlungen für die Entwicklungsphase von Wasserwiederverwendungsprojekten, Kriterien zur Begrenzung der Gesundheitsrisiken, eine Beschreibung der Komponenten des Bewässerungssystems sowie Empfehlungen zur Überwachung. Letztere beinhalten die Qualität des behandelten Abwassers, Bodenparameter, die Überwachung angrenzender Wasserkörper und des Wassers in den Speichern und enthalten auch Methoden und Überwachungsintervalle.

## Einordnung in den Rahmen existierender Verordnungen der EU-Mitgliedsstaaten

Mitgliedsstaaten mit zentralen oder regionalen Verordnungen oder Leitlinien sind Zypern, Frankreich, Italien, Spanien, Griechenland (Richtlinien) sowie Portugal (Empfehlung). Die Wasserwiederverwendung zur Grundwasseranreicherung ist dabei nur in den Richtlinien Spaniens, Griechenlands und Zyperns enthalten, während Frankreich ausschließlich die landwirtschaftliche Bewässerung und Italien die Nutzung für landwirtschaftliche und industrielle Zwecke zulassen. Die Richtlinien Zyperns, Griechenlands und Italiens lehnen sich an die vergleichsweise strengen Standards Kaliforniens an ([CDPH 2014](#_ENREF_18)), Frankreich an die WHO-Empfehlung und die Australischen Leitfäden ([Angelakis & Gikas 2014](#_ENREF_7)).

Eine Zusammenstellung der darin enthaltenen Grenzwerte für chemische Parameter wurde im Rahmen des Projektes AQUAREC (EU-FP5) erarbeitet und ist in Tabelle 13 im Anhang angefügt. Der JRC-Bericht beruft sich auf die Richtlinien der EU-Mitgliedsstaaten und berücksichtigt für die Mindestqualitätsanforderungen ausdrücklich die am wenigsten strengen Kriterien.

## Mindestqualitätsanforderungen für die landwirtschaftliche Bewässerung

Der JRC-Bericht unterscheidet nutzungsbezogene Anforderungen an die Wasserqualität und regelt Parameter zur Überwachung der Einhaltung der Qualität des behandelten Abwassers und zur Überwachung der Aufbereitungsleistung. Das betriebliche Monitoring soll die Umweltkompartimente beinhalten, die durch die Wiederverwendung beeinflusst werden, ohne dass dazu nähere Ausführungen gemacht werden.

### Überwachung der Abwasserqualität

Die Mindestanforderungen setzt die AbwRL. Aus dieser und unter Einbezug der Mindeststandards der existierenden Richtlinien der EU-Mitgliedsstaaten ergeben sich folgende Parameter und Grenzwerte für das behandelte Abwasser (Tabelle 1). Dabei werden vier Klassen aufbereiteten Wassers für die Wiederverwendung nach [ISO 16950 (2015)](#_ENREF_36) (in Übereinstimmung mit [NRMMC (2006)](#_ENREF_55), [WHO (2006)](#_ENREF_84) und [USEPA (2012)](#_ENREF_80), und den Verordnungen zur Lebensmittelsicherheit 178/2002 ([EG 2002](#_ENREF_26)) und 852/2004 ([EG 2004](#_ENREF_27))) zugrunde gelegt. Analog definiert die [DIN 19650 (1999)](#_ENREF_19) vier Eignungsklassen mit bestimmten Bewässerungsqualitäten für die verschiedenen Anwendungen ([Seis et al. 2016:68f](#_ENREF_65)). Kontrollpunkt ist der Ablauf der Kläranlage.

Tabelle 1: Mindestqualität des aufbereiteten Abwassers für die Wiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung [Tabellen 1+2 im JRC-Entwurf V 3.2]

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Klasse | Empfohlene (Mindest-) Aufbereitung | Erlaubte Nutzung | E.coli | BSB5 | Susp. Schweb-stoffe | Trü-bung |
|  |  |  | KBE pro 100 mL | mg/l | mg/l | NTU |
| A | 2. Reinigungs­stufe, Filtration, Desinfektion | für den direkten Verzehr und die Weiterverarbeitung bestimmte Feldfrüchte | <= 10 | <= 10 | <= 10 | <= 5 |
| B | 2. Reinigungs­stufe und Desinfektion | in Abhängigkeit der Bewässerungsmethode: für den Rohverzehr bestimmte Feldfrüchte (nur Tröpfchen-bewässerung) oder Verzehr ohne Schale; Obstbäume, nicht für den direkten Verzehr bestimmte Feldfrüchte, Futter- und Energiepflanzen | <= 100 | <= 25 | <= 35 | - |
| C | 2. Reinigungs­stufe und Desinfektion | in Abhängigkeit der Bewässerungsmethode: für den Rohverzehr bestimmte Feldfrüchte (nur unterirdische Tröpfchenbewässerung) oder Verzehr ohne Schale; Obstbäume, nicht für den direkten Verzehr bestimmte Feldfrüchte, Futter- und Energiepflanzen | <= 1.000 | <= 25 | <= 35 | - |
| D | 2. Reinigungsstufe und Stabilisierungs-becken oder Pflanzenklär­anlage | Futter- und Energiepflanzen | <= 10.000 | <= 25 | <= 35 | - |

Darüber hinaus, und die Abwasserqualität sowie zusätzlich angrenzende Umweltkompartimente betreffend, enthält der JRC-Bericht die Festlegung, dass die Mitgliedsstaaten weitergehende physikochemische Parameter in Abhängigkeit der Konzentrationen im Abwasser und der standortspezifischen Gegebenheiten ausweisen müssen und empfiehlt einige Parameter, nicht jedoch Schwellenwerte. Zur Festsetzung der Schwellenwerte wird auf die Vorschläge der [WHO (2006)](#_ENREF_84) und der ISO 16075 (2015), außerdem auf Einhaltung der folgenden EU-Richtlinien verwiesen:

* WRRL,
* UQNRL,
* GrwRL,
* NitratRL.

Eine einheitliche Herangehensweise für die Auswahl der nötigen Parameter und Ableitung der standortspezifischen Schwellenwerte wird nicht gegeben.

Der Parameterumfang gemäß JRC-Bericht-Tabelle 3 und die empfohlenen Grenzwerte nach [WHO (2006)](#_ENREF_84) und [ISO 16950 (2015)](#_ENREF_36) für das aufbereitete Abwasser sind in Tabelle 14 im Anhang zusammengefasst.

### Überwachung der durch die Bewässerung beeinflussten Umweltkompartimente

Der JRC-Bericht empfiehlt generell die Verpflichtung zur Durchführung einer Risikobewertung unter Anwendung der Leitfäden der [WHO (2006)](#_ENREF_84) und der Australischen Umwelt- und Gesundheitsbehörden ([NRMMC 2006](#_ENREF_55)). Da die Risiken für die menschliche Gesundheit im Vordergrund stehen, wird der Pfad Boden-Pflanze-Mensch, und damit die Überwachung der mit behandeltem Abwasser bewässerten Böden, als Mindestanforderung festgelegt, jedoch ebenfalls ohne Parameter und deren Grenz- oder Schwellenwerte für die Bodenüberwachung und den Wirkungspfad Boden-Pflanze/ Pflanze-Mensch anzugeben.

Bezüglich Schwermetallen in mit behandeltem Abwasser bewässerten Böden wird empfohlen, die Klärschlammrichtlinie[[14]](#footnote-15) ([EU 1986](#_ENREF_28)) heranzuziehen, die für Cadmium, Kupfer, Nickel, Blei, Zink, Quecksilber und Chrom Konzentrationsgrenzwerte im Klärschlamm und im Boden, und zulässige jährliche Höchstmengen der Aufbringung festlegt. Maximal zulässige Konzentrationen im Boden aus den oben aufgeführten Leitfäden und der Klärschlammrichtlinie sind in Tabelle 15 im Anhang zusammengefasst.

Aus den in 2.4.1 aufgeführten Richtlinien, deren Ziele durch die Nutzung behandelten Abwassers zur landwirtschaftlichen Bewässerung nicht gefährdet werden dürfen, folgt unter Umständen ein Überwachungsbedarf für das Grundwasser und das angrenzende Oberflächengewässer als Vorfluter. Entsprechend enthält der JRC-Bericht den Verweis, dass eine Risikobewertung für die Umweltrisiken durchgeführt und ein Überwachungsprogramm einschließlich Parametern, Schwellenwerten, Beprobungsintervallen und Probenahmeorten festzulegen ist. Agronomische Parameter (elektr. Leitfähigkeit/ Salzgehalt, Härte, pflanzentoxische Stoffe usw.) sind dabei verpflichtend zu beachten, um Umweltrisiken für Böden, Pflanzen, Oberflächen- und Grundwasser auszuschließen. Der Parameterumfang ist standortspezifisch festzulegen.

### Validierungsüberwachung

Die Überwachung des Erreichens der Reinigungskapazität ist verpflichtend für Abwasser der Klasse A, geeignet zur Bewässerung von zum Rohverzehr geeigneten Feldfrüchten (mit Kontakt des Bewässerungswassers zu den essbaren Pflanzenteilen). Entsprechend dem Fokus auf Risiken für die menschliche Gesundheit werden nur hygienisch relevante Indikator-Mikroorganismen adressiert. Der JRC-Bericht definiert die Aufbereitungsziele als Log-Entfernungsstufen für die drei relevanten Gruppen pathogener Mikroorganismen Bakterien, Sporenbildner und Viren und nennt als Aufbereitungsziele für

* *E.coli* (Bakterien): >= 5 Log-Entfernungsstufen,
* F-spezifischen Coliphagen (Viren): >= 6 Log-Entfernungsstufen,
* *Clostridium perfringens* (Sporenbildner): >= 5 Log-Entfernungsstufen.

Probenahmen sollen vor Beginn der Wiederverwendung des Wassers erfolgen und bei Änderungen an der Ausstattung und/oder dem Aufbereitungsschema.

Für die anderen Nutzungsklassen werden keine mikrobiologischen Zielwerte für eine Validierungsüberwachung vorgegeben.

### Betriebliche Überwachung

Die betriebliche Überwachung des gesamten Wasserwiederverwendungsschemas, einschließlich Aufbereitung, Speicherung und Verteilung ist ebenfalls verpflichtend, aber durch die Mitgliedsstaaten in Abhängigkeit der Aufbereitungstechnologien und der standort- bzw. länderspezifischen Gegebenheiten abzuleiten. Der JRC-Bericht enthält Empfehlungen in Anlehnung an die Risikomanagement-Ansätze nach WHO, Australischem Leitfaden und USEPA. Dabei sind die Kontrollpunkte, die Parameter und die Überwachungsintervalle festzulegen. Empfohlene betriebliche Parameter zur Überwachung der Aufbereitung im Rahmen der Betriebsüberwachung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Empfehlungen zur Betriebsüberwachung der typischen Aufbereitungsschritte [JRC-Entwurf v3.2 Tabelle 6 nach [WHO (2006)](#_ENREF_84), [NRMMC (2006)](#_ENREF_55), [USEPA (2012)](#_ENREF_80)]

| Aufbereitungsart | Parameter | Messintervall |
| --- | --- | --- |
| 2. Reinigungsstufe (Belebtschlamm) | DurchflussNitrat/ NitritBSB5Susp. SchwebstoffeFeststoffrückhaltgelöster SauerstoffAufenthaltszeit | kontinuierlichwöchentlichwöchentlichwöchentlichwöchentlichkontinuierlichwöchentlich |
| Biologische Systeme (Teichkläranlagen) | DurchflussBSB5Algenkonzentration | kontinuierlichwöchentlichwöchentlich |
| Künstl. Anreicherung unter Ausnutzung der Bodenpassage (Soil-Aquifer-Treatment (SAT)) | DurchflussTOCNitrat/ Nitrit | kontinuierlichwöchentlichwöchentlich |
| Filter | DurchflussTrübung | kontinuierlichkontinuierlich |
| Membranbioreaktoren | pHTrübungSusp. SchwebstoffeFeststoffrückhaltgelöster SauerstoffAufenthaltszeitTransmembrandruck | kontinuierlichkontinuierlichwöchentlichwöchentlichkontinuierlichwöchentlichkontinuierlich |
| Membranfiltration | TransmembrandruckTrübungelektr. Leitfähigkeit | kontinuierlichkontinuierlichkontinuierlich |
| UV Desinfektion | DurchflussTrübung im ZuflussUV-DosisUV-Transmissivität | kontinuierlichkontinuierlichkontinuierlichkontinuierlich |

Weitergehende Anforderungen an die Überwachung des gesamten Schemas der Wasserwiederverwendung sind nicht vorgegeben. Die Berücksichtigung zusätzlicher risikomindernder Maßnahmen ist allerdings verpflichtend. So sollten im Rahmen der Risikobewertung folgende Punkte einbezogen werden:

* Einleiterkontrolle für die Kläranlage
* Untersuchung der Bodeneigenschaften
* Hydrogeologische Charakterisierung des Standortes
* Bewertung der Effekte auf angrenzende Oberflächengewässer hinsichtlich der Einhaltung der Qualitätsziele der WRRL
* Gefährdungsbeurteilung nahegelegener und/oder potentiell beeinflusster Trinkwasservorkommen
* klimatische Parameter, die sich auf die Effizienz der Bewässerung auswirken
* Auswahl der Kulturen
* Nährstoffbilanz
* Zugangskontrolle und Abstandszonen zum angrenzenden öffentlichen Raum, Kennzeichnung und Information

## Mindestqualitätsanforderungen für die Grundwasseranreicherung

Der JRC-Bericht bezieht sich auf die Grundwasseranreicherung als eine absichtlich herbeigeführte künstliche (artificial) bzw. überwachte (managed) Grundwasserneubildung (aquifer recharge). Im JRC Bericht wird die übliche Definition des Begriffes MAR als eine absichtliche Grundwasserneubildung zum Zwecke der späteren Entnahme durch Brunnen oder zum Nutzen der Umwelt angewandt. Der Bericht möchte alle Arten von Grundwasserleitern (Poren, Kluft und Karst) und die Anreicherungsmethoden über Infiltration sowie Injektion behandeln. Die Uferfiltration als ein MAR Typ der induzierten Infiltration ist damit ausgeschlossen. Auch ausgeschlossen ist die Trinkwassergewinnung direkt aus behandeltem Abwasser (direct potable reuse). Wohingegen die Grundwasseranreicherung für eine spätere Trinkwassernutzung (indirect potable reuse) explizit eingeschlossen ist. Die Ziele einer Grundwasseranreicherung werden genannt als:

* Barriere gegenüber Salzwasserintrusion
* Speicherung für eine spätere Entnahme und Nutzung
* Stützung grundwasserabhängiger Ökosysteme
* Verdünnung salzbeeinflusster oder anderweitig kontaminierter Grundwasserleiter
* Verhinderung von Geländeabsenkungen

Auffällig an dieser Auflistung ist, dass eine Wasserqualitätsverbesserung des angereicherten Wassers anscheinend kein Ziel darstellt.

### Überwachung der Abwasserqualität

Wie für die Nutzung zur landwirtschaftlichen Bewässerung werden die Mindestanforderungen durch die AbwRL gesetzt (vgl. Tabelle 1). Alle darüber hinausgehenden qualitativen Anforderungen sollen durch die Mitgliedsstaaten unter Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten so festgelegt werden, dass das Erreichen der Ziele nach WRRL, GrwRL und UQNRL nicht gefährdet wird. Entsprechend sind die Parameter der WRRL, GrwRL und UQNRL zu beachten.

Unter Bezug auf die existierenden Verordnungen der Mitgliedsstaaten (Zypern, Griechenland und Spanien; vgl. Abschnitt 2.3) werden außerdem die in Tabelle 3 zusammengefassten Mindestqualitätsanforderungen und Überwachungsintervalle dargelegt. Diese sind der spanischen Verordnung entnommen, da sie die am wenigsten strengen Kriterien definiert. Kontrollpunkt ist der Ausgang der Kläranlage.

Tabelle 3: Mindestqualität und Überwachungsintervall des aufbereiteten Abwassers für die Wiederverwendung zur Grundwasseranreicherung [Tabellen 7+8 im JRC-Draft V 3.2; [nach Spanish Presidential Ministry (2007)](#_ENREF_67)]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Kategorie | Empfohlene (Mindest-) Aufbereitung | E.coli | Susp. Schwebstoffe | Trübung |
|  |  | KBE pro 100 mL | mg/l | NTU |
| Oberflächen-versickerung | 2. Reinigungs­stufe, Desinfektion | <= 1.000- wöchentlich -  | <= 35- wöchentlich - |  -  |
| Direkte Injektion | 2. Reinigungs­stufe, Filtration, Desinfektion | <= 10 (oder unterhalb Nachweisgrenze)- 2x pro Woche -  | <= 10- 2x pro Woche -  | <= 2- kontinuierlich - |

KBE = Kolonie bildende Einheiten, NTU = [Nephelometric Turbidity Unit](https://de.wikipedia.org/wiki/Nephelometric_Turbidity_Unit)

### Überwachung der durch die Grundwasseranreicherung beeinflussten Umweltkompartimente

Im Rahmen des Nachweises, dass die Qualität des behandelten Abwassers mit den Mindestanforderungen übereinstimmt und die Ziele der relevanten Richtlinien nicht verletzt werden, schreibt der JRC-Bericht eine Charakterisierung des zur Anreicherung verwendeten Grundwasserleiters vor. Dazu soll Anhang II der GrwRL und die entsprechenden gemeinsamen Implementierungsstrategien herangezogen werden.

Je nach Vorhandensein im behandelten Abwasser und standortspezifischen Gegebenheiten sollen außerdem zusätzliche physikochemische und mikrobiologische Parameter überwacht werden, die das Potential haben, die Grundwasserqualität, grundwasserabhängige Ökosysteme oder in Wechselwirkung stehende Oberflächengewässer zu beeinträchtigen.

Bei der Definition der Mindestqualitätsanforderungen an das zu versickernde Wasser sollen im Fall der Oberflächenversickerung (Infiltrationsbecken, -gräben usw.) die Prozesse innerhalb der ungesättigten Zone (Filtration, Adsorption, Biodegradation usw.; vgl. Kapitel 4) als Reinigungsstufe einberechnet werden. Die Anforderungen können daher, laut JRC-Bericht, weniger streng sein als für die direkte Grundwasseranreicherung (Injektionsbrunnen). Der Grundwasserpassage wird im JRC Bericht keine reinigende Wirkung zugesprochen.

Wie für die Nutzung zur landwirtschaftlichen Bewässerung wird außerdem die Durchführung einer Risikobewertung als verpflichtend angesehen.

### Validierungsüberwachung

Eine Validierungsüberwachung der technischen Aufbereitung zum Nachweis, ob die erforderliche Mindestqualität des behandelten Abwassers erreicht wird, ist gemäß JRC-Bericht nur im Fall der direkten Grundwasseranreicherung (Injektion) erforderlich. Dieser Nachweis soll vor Inbetriebnahme der Grundwasseranreicherung erfolgen. Wie zuvor für die landwirtschaftliche Nutzung werden im Sinne der Risiken für die menschliche Gesundheit ausschließlich Indikator-Mikroorganismen für pathogene Bakterien, Sporenbildner und Viren aufgeführt. Die Indikatoren und die zu erreichenden Log-Entfernungsstufen sind dieselben wie für die Nutzung zur landwirtschaftlichen Bewässerung (vgl. Abschnitt 2.4.3). Die Log-Entfernungsstufen beziehen sich auf die Reduktion zwischen dem Rohwasserzufluss zur Kläranlage und dem zur Wiederverwendung behandelten Abwasser am Kläranlagenablauf.

### Betriebliche Überwachung

Die betriebliche Überwachung des gesamten Schemas der Wasserwiederverwendung ist verpflichtend durch die Mitgliedsstaaten festzulegen. Dabei gelten die gleichen Anforderungen wie bei der Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft, d.h. die Kontrollpunkte, Parameter und Überwachungsintervalle sind in Abhängigkeit der Aufbereitungstechnologie und der standort- bzw. länderspezifischen Gegebenheiten abzuleiten.

Ebenfalls wie zuvor sind weitergehende Anforderungen an die Überwachung des gesamten Schemas der Wasserwiederverwendung nicht vorgegeben, die Berücksichtigung zusätzlicher risikomindernder Maßnahmen jedoch verpflichtend. Für die Grundwasseranreicherung werden genannt (vgl. Abschnitt 0):

* die Einleiterkontrolle (Kläranlagen)
* Zugangskontrollen und Abstandszonen
* Trinkwasserschutz, durch JRC in Bezug zur Entnahme aus Oberflächengewässern unter Verweis auf Artikel 7 der WRRL
* Kontrolle der Grundwasserqualität durch Einrichtung von Beobachtungsbrunnen

## Position des JRC zum Thema Mikroschadstoffe

Nach Definition und Klassifizierung nach Nutzen (z.B. Arzneimittel, Haushaltschemikalien usw.), nach Umwelt- und Gesundheitseffekten (z.B. hormonell wirksame Substanzen, endokrine Disruptoren usw.) bzw. nach Typ (chemisch/mikrobiologisch, PAHs usw.) führt der JRC-Bericht aus, dass eine Überwachung aller Einzelsubstanzen weder machbar noch sinnvoll ist. Die Autoren verweisen auf Forschungsarbeiten zur Identifizierung und Priorisierung zu überwachender und regulierender Substanzen sowie zur Entwicklung eines Verfahrens zur Festlegung von Indikatorsubstanzen, das geeignet ist, die Effekte auf die menschliche Gesundheit und/oder die Aufbereitungsleistung zu überwachen Die Aufnahme von Mikroschadstoffen über Nahrungspflanzen wird nach [Paranychiankis et al. (2014)](#_ENREF_58) nicht als relevantes Risiko für die menschliche Gesundheit bewertet. Die fehlende Datengrundlage, insbesondere aus Langzeitbeobachtungen, schränkt die Bewertbarkeit der Gesundheitsrisiken weiter ein. Für die Grundwasseranreicherung werden Mikroschadstoffe als relevant für die direkte Wasserwiederverwendung zur Trinkwassergewinnung angesehen. Diese Nutzungsart schließt der JRC-Bericht jedoch aus.

Effekte aus der Addition und Mischung verschiedener Mikroschadstoffe aus verschiedenen Quellen (direkte Applikation von Pflanzenschutzmitteln, Bewässerung, Gülleverbringung usw.) werden als Forschungsbedarf eingestuft. Ebenso wird die Verbreitung von Antibiotikaresistenzgenen (ARG) über die Wasserwiederverwendung als bisher zu wenig untersucht bewertet, gleichzeitig auf eine Studie verwiesen, nach der keine Unterschiede im Vorkommen von ARG in mit behandeltem Abwasser und mit Frischwasser bewässerten Böden beobachtet wurden ([nach Negreanu et al. 2012](#_ENREF_50)).

Im Vergleich zum vorherigen Entwurf v3.1 wurde die Empfehlung, effektbasierte Überwachungsmethoden (Biomarkers, Bio-Assays) als Screening- und Priorisierungswerkzeug einzusetzen, auf den Verweis auf den Technischen Bericht 2014-077 ([EC 2014](#_ENREF_25)) und weiteren Forschungsbedarf reduziert.

Im JRC-Berichtsentwurf v3.3 ([JRC 2017b](#_ENREF_40)) wird die Rolle von Mikroschadstoffen und Antibiotikaresistenzen in der Landwirtschaft stärker diskutiert. Es wird dargelegt, dass bisher nur wenige Untersuchungen diese Thematik aufgreifen und diese keine Bezüge zu behandeltem Abwasser aufweisen. Insbesondere bei den Antibiotikaresistenzen fehlen Vergleichsdaten um ein Risikomanagement und Mindestqualitätsanforderungen zu etablieren.

## Position des JRC zum Bezug auf die zulässige Höchstkonzentration der Umweltqualitätsnorm für prioritäre Stoffe

Im Zusammenhang der möglichen Einleitung von Spurenstoffen mit dem Kläranlagenablauf und der Qualität der Oberflächengewässer im Sinne der WRRL verweist JRC auf das Konzept der Durchmischungsbereiche an der Einleiterstelle, d.h. die Berücksichtigung der Prozesse von der Punktquelle Abwasser über den Pfad Boden-Grundwasser/Oberflächenwasser. Die Mischung wird bestimmt von der Konzentration im Effluent und der Konzentration im Vorfluter sowie dem Effluentvolumen im Verhältnis zum Durchfluss des Vorfluters.

Zur Bestimmung einer tolerierbaren Konzentration innerhalb eines Wasserwiederverwendungs-schemas wird die zulässige Höchstkonzentration nach Umweltqualitätsnorm herangezogen. Dazu schlägt JRC einen umgekehrten Verdünnungsfaktor vor, d.h. eine Verdopplung bis Verzehnfachung der zulässigen Höchstkonzentration in Abhängigkeit der Polarität des Stoffes. Als Maß für die Polarität wird der stoffspezifische Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient logKow herangezogen. Je kleiner der LogKow Wert ist, desto polarer ist die Substanz und desto schneller erreicht sie das Grundwasser.

Aus einer parallelen Bewertung vorliegender Daten zu EU-weit gemessenen Spurenstoffkonzentrationen folgert JRC, dass lediglich Diuron, Estron und Diclofenac relevant sind, da ihre gemessenen Konzentrationen oberhalb der zulässigen Höchstkonzentration unter Berücksichtigung der Polarität liegt. Gleichzeitig wird auf die hohe Bandbreite der Relevanz und Konzentrationen im Kläranlagenablauf sowie der hydrochemischen Randbedingungen, Eintragspfade und Hintergrundbelastungen verwiesen und damit begründet, warum keine EU-weit einheitlichen zulässigen Höchstkonzentrationen vorgeschlagen werden. Unter Verweis auf die WRRL und GrwRL sollen die Kriterien und Schwellenwerte im Rahmen der Risikobewertung durch die Mitgliedsstaaten festgelegt werden.

# Boden-, Grundwasser- und Trinkwasserschutz im Rahmen der deutschen Gesetzgebung

An dieser Stelle wird die Gewässerschutzpolitik in Deutschland mit Bezug zum Thema Wasserwiederverwendung hinsichtlich der sich daraus ergebenden Überwachungspflichten, Parameter und existierender Grenzwerte zusammengefasst. Im Vergleich zu [JRC (2017a)](#_ENREF_39), welcher auch Risiken für die menschliche Gesundheit adressiert, werden im Rahmen der deutschen Gewässerschutzgesetzgebung Risiken für die Umwelt berücksichtigt, während Risiken für die menschliche Gesundheit, Aspekte des Verbraucherschutzes, des Arbeitsschutzes, der Lebensmittelsicherheit, der Badegewässerqualität usw. nicht Gegenstand dieser Zusammenfassung sind. Die Wasserwiederverwendung zur Bewässerung in der Landwirtschaft und zur Grundwasseranreicherung stellt eine mögliche Quelle diffuser bzw. punktueller Stoffbelastungen dar, die über das Sickerwasser durch die ungesättigte Bodenzone in den Grundwasserleiter eingetragen werden können. Die Wasserwiederverwendung berührt daher die Belange des Vorsorgeprinzips und des Verschlechterungsverbots, sowohl für die Boden- als auch für die Grundwasserqualität, geregelt für den qualitativen Zustand des (Sickerwassers und) Bodens im Bodenschutzrecht und für den chemischen und mengenmäßigen Zustand des Grundwasserkörpers im Wasserrecht.

In der deutschen Gesetzgebung wird die Wasserwiederverwendung hinsichtlich ihrer beiden Verwendungsarten, der Beregnung landwirtschaftlicher Flächen sowie der Grundwasseranreicherung nicht explizit unterschieden.

Im Sinne der AbwV handelt es sich bei der Wasserwiederverwendung um ein Einleiten in Gewässer, welches erlaubnis- (und kosten-)pflichtig ist und an der Einleitestelle hinsichtlich der Abwasserqualität Mindestanforderungen erfüllen und überwacht werden muss. Das Abwasserabgabengesetz hingegen nennt das Verbringen von Abwasser im Rahmen der landbaulichen Bodenbehandlung als Ausnahme vom abgabepflichtigen Einleiten (§ 2 Abs. 2 AbwAG). Der Begriff „landbauliche Bodenbehandlung“ wird jedoch im Zusammenhang mit der dezentralen Abwasserbehandlung einzelner Höfe diskutiert (vgl. z.B. Bundesverband Deutscher Landwirte e.V.).

Tabelle 4 fasst die derzeitig geltenden Rechtsgrundlagen auf nationaler Ebene zusammen, die für die verschiedenen Wiederverwendungen von behandeltem Abwasser von Belang sein können.

Tabelle 4: Derzeitig in Deutschland geltende Rechtsgrundlagen für die Wasserwiederverwendungsarten (i) Beregnung landwirtschaftlicher Flächen und (ii) Grundwasseranreicherung

| **Rechts-grundlage** | **Vorgaben** | **Beregnung landwirtschaft­licher Flächen mit behandeltem Abwasser** | **Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser** |
| --- | --- | --- | --- |
| **indirekt (Versickerung)** | **direkt (Injektion)** |
| **EU-Wasserrecht** | Erlaubnis-/ Anzeigepflicht | nicht bekannt | Art.11 Abs.3f WRRLfür Grundwasseranreicherung mit Oberflächen- oder Grundwasser |
| Anforderungen | nicht geregelt; soll jetzt auf Grundlage u.a. des JRC-Bericht erfolgen |
| **Deutsches Wasserrecht****(WHG, GrwV, Abwasser­recht)** | Erlaubnis-/ Anzeigepflicht | nein | §9 Abs. 1 WHGGrundwasserbenutzung und Einleitung von Feststoffen |
| Anforderungen | nicht geregelt | §12 GrwV und §47, 48 Abs. 1 WHG |
| **Deutsches Bodenschutz­recht****(BBodSchG, BBodSchV)** | Erlaubnis-/ Anzeigepflicht | nicht geregelt  | Kein Anwendungs-bereich |
| Anforderungen | Vorsorgepflicht BBodSchG §7 und §17 Abs. 1 und 2 (gute fachliche Praxis) | BBodSchG §7und Verweis auf Wasserrecht |
| **Deutsches Abfallrecht****(AbfKlärV)** | Erlaubnis-/ Anzeigepflicht | kein Anwendungs­bereich, da kein Schlamm | Kein Anwendungsbereich |
| Anforderungen | nicht geregelt |
| **Deutsches Düngerecht****(DüMV, DüV)** | Markt-anforderungen | kein Anwendungs­bereich, da Düngung nicht Hauptziel ist | Kein Anwendungsbereich |
| Materielle Anforderungen |

## Rechtlicher Rahmen

Die Umsetzung der WRRL in deutsches Recht erfolgt durch das Wasserhaushaltsgesetz ([WHG 2009](#_ENREF_83)). Zur Ausführung dienen Verordnungen, insbesondere die Abwasser-, Oberflächengewässer- und Grundwasserverordnung. Vor der am 1. Juni 2006 in Kraft getretenen Förderalismusreform fiel das Wasserrecht nach Art. 75 GG unter die Rahmengesetzgebungskompetenz des Bundes. Das auf dieser Grundlage erlassene WHG musste durch entsprechende Landesregelungen ausgefüllt werden. Mit der Föderalismusreform wurde die Rahmengesetzgebung im Bereich des Wasserrechts in die konkurrierende Gesetzgebung überführt. Der Bund hat die volle Gesetzgebungskompetenz, die Länder können nach Art. 72 Abs. 1 GG ergänzende und konkretisierende sowie nach Art. 75 Abs. 3 GG abweichende Regelungen treffen. Der Vollzug ist grundsätzlich Sache der Länder und erfolgt i.d.R. auf Ebene i) der Umweltministerien (Steuerung), ii)  der allgemeinen Landesmittelbehördern und/oder Landesämter (regionale Planung) sowie iii) der Landkreise und kreisfreien Städte (Überwachung) ([BMUB 2016](#_ENREF_15)).

Das WHG setzt die von der WRRL vorgegebenen Bewirtschaftungsziele in deutsches Recht um. Es fordert die Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen, regelt die Benutzung und Erlaubnispflicht. Für Oberflächenwasserkörper gilt gemäß § 27 Abs. 1 Nr. 1 und Abs. 2 Nr. 1 WHG das Verschlechterungsverbot sowie das Verbesserungsgebot hinsichtlich eines guten biologischen und chemischen Zustands. Für Grundwasserkörper gilt gemäß § 47 Abs. 1 WHG zusätzlich zu dem Verschlechterungsverbot und dem Verbesserungsgebot hinsichtlich eines guten mengenmäßigen und chemischen Zustandes auch das Trendumkehrgebot. Hinsichtlich des Grundwassers ist in § 48 WHG der Besorgnisgrundsatz verankert, der besagt, dass eine Erlaubnis generell nur dann erteilt werden darf, wenn eine schädliche Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist. Außerdem steht die Erteilung der Erlaubnis und der Bewilligung im pflichtgemäßen Ermessen der zuständigen Behörde, vgl. § 12 WHG.

Eine Konkretisierung des guten chemischen Zustandes für das Grundwasser enthält die GrwV. Sie enthält in Anhang 2 stoffliche Schwellenwerte zur Beurteilung des Zustandes sowie in Anhang 7 und 8 Stoffe und Stoffgruppen, deren Eintrag zu verbieten oder zu begrenzen ist ([GrwV 2017](#_ENREF_33)). Zielwerte oder zulässige Höchstkonzentrationen für die Wasserwiederverwendung werden nicht vorgegeben, da deren Bewertung, wie auch im JRC Bericht ([JRC 2017a](#_ENREF_39)) geschlussfolgert, von lokalen Rahmenbedingungen (z.B. Endnutzen, Hintergrundwerte im Grundwasserleiter) abhängt.

Die Umweltqualitätsnormen der EU (vgl. Abschnitt 2.2) sind in Deutschland in der OGewV als Kriterien für den chemischen Zustand der Oberflächengewässer enthalten ([Anlage 6 und 8 OGewV 2016](#_ENREF_57)). Laut [Seis et al. (2016)](#_ENREF_65) sind sie nicht genehmigungsrelevant im Kontext der Wasserwiederverwendung, geben aber einen Anhaltspunkt zur Bestimmung des möglichen bzw. zulässigen Eintrags der Stoffe über den Pfad Boden-Grundwasser.

Die qualitativen Mindestanforderungen an das Abwasser zum Schutz der Gewässer sowie die Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Abwasseranlagen sind in der AbwV geregelt. Sie enthält in Anhang 1 Mindestanforderungen an das kommunale Abwasser an der Einleitestelle differenziert nach Größenklasse der Kläranlage und Herkunft des Abwassers ([AbwV 2017](#_ENREF_2)). Eine Zusammenfassung der Parameter aus der AbwV gibt Tabelle 16 im Anhang. Die Verordnungen über die Behandlung von kommunalem Abwasser der Bundesländer verweisen auf die AbwV (Baden-Württemberg, Brandenburg, Hamburg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Saarland), enthalten die Parameter der AbwRL (Bayern, Berlin, Bremen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Thüringen) oder verweisen auf deren Einhaltung (Mecklenburg-Vorpommern).

Das BBodSchG hat den Zweck, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Geschützt werden natürliche Funktionen des Bodens als Bestandteil des Naturhaushalts und z.B. der Lebensraum für Pflanzen und Bodenorganismen, aber auch konkrete Nutzungsfunktionen. Zur Umsetzung des BBodSchG dient die BBodSchV([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_13))([BBodSchV 2015](#_ENREF_13))([BBodSchV 2015](#_ENREF_13))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_12))([BBodSchV 2015](#_ENREF_11))([BBodSchV 2015](#_ENREF_11))([BBodSchV 2015](#_ENREF_11))([BBodSchV 2015](#_ENREF_11))([BBodSchV 2015](#_ENREF_11)). Zum Zweck des vorsorgenden Bodenschutzes sind darin Vorsorgewerte definiert, bei deren Überschreitung in der Regel das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu besorgen ist. In diesem Fall sind im Rahmen der Verhältnismäßigkeit Vorkehrungen zur Vermeidung oder Verminderung von Stoffeinträgen zu treffen. Die Vorsorgewerte berücksichtigen für Metalle die Bodenart und parameterspezifisch den pH-Wert, für organische Schadstoffe den Humusgehalt im Boden. Bei Überschreitung von Vorsorgewerten sind die Frachten für zulässige Zusatzbelastungen (Anhang 2 Nr. 5 BBodSchV) über alle Eintragspfade begrenzt. Die Vorsorge für das Grundwasser richtet sich nach wasserrechtlichen Vorschriften.

Durch die Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurden Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) für die Beurteilung von punktuellen Grundwasserbenutzungen und Grundwasserschäden abgeleitet ([LAWA 2016](#_ENREF_46)). Sie sind Basis für wasser-, abfall- und bodenschutzrechtliche Vorsorgeanforderungen und für die Fortschreibung der Prüfwerte der BBodSchV. Zur Bestimmung der Konzentrationen flossen human- und ökotoxikologische Kriterien ein. Außerdem werden die hydrogeochemischen Hintergrundwerte berücksichtigt ([LAWA 2015](#_ENREF_45)). Die GFS-Werte und die allgemeinen Anwendungsgrundsätze nach Kapitel 3 des GFS-Berichts 2016 sollen zunächst bei der Erarbeitung bzw. der Novellierung von Rechtsvorschriften und bundeseinheitlichen bzw. länderspezifischen Vollzugshinweisen berücksichtigt werden, da Anwendungsgrundsätze insbesondere für den wasserrechtlichen Vollzug noch durch bundeseinheitliche, konkretisierende Anwendungsregeln ersetzt werden müssen.

Aus der Düngemittelverordnung (DüMV)[[15]](#footnote-16) und der Düngeverordnung (DüV) [[16]](#footnote-17) gehen keine weiteren Anforderungen hervor. Bewässerungswasser gilt nicht als Düngemittel. Eine in der bis 1. Juni 2017 geltenden DüV vorgeschriebene Verpflichtung, mit dem Bewässerungswasser aufgebrachte Nährstoffmengen bei der Ermittlung des Nährstoffbedarfs zu berücksichtigen (§ 3 Abs. 2 Nr. 4 DüV), ist in der aktuell gültigen DüV nicht enthalten.

Damit existieren zusammengefasst für den Bereich Boden- und Grundwasserschutz folgende, mit Ausnahme der GFS-Werte, rechtlich verbindliche vorsorgende Kriterien (Tabelle 5).

Tabelle 5: Zusammenfassung der sich aus dem rechtlichen Rahmen zum Gewässer- und Bodenschutz ergebenden Anforderungen.

| Kategorie | Recht­licher Rahmen | Stofflisten & Parameter | Parameterumfang | Bemerkungen |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Anforder­ungen an das Abwasser | AbwV | Anhang 1 Teil CAnforderungen an das Abwasser für die Einleitestelle | CSB, BSB5, NH4-N, Ngesamt, Pgesamt | differenziert nach Größenklasse der Abwasser-behandlungs-anlage |
| Zustands­kriterien der Wasserkörper | OGewV | Anlage 7Beurteilung des chemischen Zustandes (zulässige Höchstkonzentration ZHK)Überwachung der Einhaltung für Einleitungen (Jahresdurchschnittswert JD) | Prioritäre Stoffe (n=33, ab 2018 n=45)Bestimmte andere Stoffe (n=9)Nitrat |  |
|  | GrwV | Anlage 2Beurteilung des chemischen Zustandes (Schwellenwert) | Nitrat, Wirkstoffe in Pflanzenschutz-mitteln, Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Ammonium, Chlorid, Nitrit, ortho-Phosphat, Sulfat, Summe Tri- und Tetrachlorethene | aus GrwRL oder Trinkwasser-grenzwert abgeleitet |
| Eintrags­verbot(bzw. –begrenzung) | GrwV | Anlage 7gefährliche Schadstoffe und SchadstoffgruppenAnlage 8Sonstige Schadstoffe und Schadstoffgruppen | Organohalogene Verbindungen, Organische Phosphor- und Zinnverbindungen, Stoffe mit karzinogenen, mutagenen oder die Funktion des endokrinen Systems beeinträchtigenden Funktionen, persistente Kohlenwasserstoffe, Zyanide, ausgewählte Metalle, Arsenausgewählte Metalle, Pflanzenschutz­mittel/Biozide, Schwebstoffe, Nährstoffe, Stoffe, die den BSB und CSB beeinflussen, Fluoride, Ammonium, Nitrit, Mineralöle, Kohlenwasserstoffe |  |
| Vorsorgender Bodenschutz | BBodSchV | Vorsorgewerte gemäß Anhang 2 4.1 & 4.2Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen nach Anhang 2 5. | Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, ZinkPCB, Benzo(a)pyren, PAKCadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Zink | nach Bodenart, pH-Wert bzw. Humusgehaltüber alle Wirkungspfade |
| Bewertung von Veränder­ungen | WHG | LAWA-Geringfügigkeits­schwellenwerte | Anorganische (n=20) und Organische Parameter (n=72) | nach öko- und humantoxiko-logischen Kriterien |

##  Wasserwiederverwendung im Kontext Bodenschutz

Die Wasserwiederverwendung berührt die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes. Landwirtschaftliche Bewässerung, Oberflächenversickerung und direkte Grundwasseranreicherung unterscheiden sich auch hier in ihrer Einordnung. So gilt für die Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung die Vorsorgepflicht nach § 7 [BBodSchG](#_ENREF_9)) als erfüllt, wenn die gute fachliche Praxis eingehalten wird ([BBodSchG 2015](#_ENREF_11)). Die Anforderungen hierzu sind nicht einheitlich definiert, sondern müssen standortbezogen bewertet werden. Im hier diskutierten Zusammenhang bedeutet dies eine nach dem Pflanzenbedarf und dem Bodenwasserhaushalt angepasste Bewässerung, mit dem Ziel, dass hierdurch die Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens nachhaltig gesichert (§ 17 Abs. 2 BBodSchG) sowie keine Schadstoffe im Boden angereichert und keine schädliche Bodenveränderung hervorgerufen wird, sowie keine Stoffe in das Grundwasser ausgewaschen werden. Für die Wasserwiederverwendung zur direkten künstlichen Grundwasseranreicherung sind die Regelungen des Bodenschutzes nicht relevant, da bei dieser Einleitung die Bodenpassage umgangen wird. Fragen des vorsorgenden Bodenschutzes betreffen also im Sinne der rechtlichen Relevanz nur die künstliche Grundwasseranreicherung durch Oberflächenversickerung.

Vorsorgender Bodenschutz bedeutet generell eine wirkungspfadunabhängige Begrenzung von Stoffen, damit keine schädlichen Bodenveränderungen entstehen. Die Vorsorgewerte beziehen sich dabei auf Schadstoffe im Boden ([BBodSchV 2015 §9](#_ENREF_12)). Die Parameter umfassen die Schwermetalle Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Zink sowie die organischen Stoffe PCB6, Benzo(a)pyren und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Einträge von Schadstoffen, die auf Grund ihrer krebserzeugenden, erbgutverändernden, fortpflanzungsgefährdenden oder toxischen Eigenschaften in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Bodenveränderungen herbeizuführen, sind soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar zu begrenzen (§ 10 Abs. 2 BBodSchV). Eine Zusatzbelastung bei Überschreitung der Vorsorgewerte ist dann zulässig, wenn Einwirkungen auf den Boden über Luft und Gewässer sowie durch unmittelbare Einträge Beachtung (§ 11 Abs. 1 BBodSchV) bzw. die geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Vorbelastungen im Einzelfall Berücksichtigung finden (§ 11 Abs. 1 BBodSchV).

## Wasserwiederverwendung im Kontext Grundwasserschutz

Die Wasserwiederverwendung fällt in den Bereich des vorsorgenden Gewässerschutzes. Sofern sie erlaubnispflichtig ist, kann eine wasserrechtliche Erlaubnis nur erteilt werden, wenn schädliche, auch durch Nebenbestimmungen nicht vermeidbare oder nicht ausgleichbare Gewässerveränderungen nicht zu erwarten sind, insbesondere keine Verschlechterung des Zustandes des oder der betroffenen Grundwasserkörper zu besorgen ist sowie andere Anforderungen nach öffentlich-rechtlichen Vorschriften erfüllt werden und der Besorgnisgrundsatz beachtet wird.

Der Einsatz zur landwirtschaftlichen Bewässerung und zur künstlichen Grundwasseranreicherung unterscheidet sich hinsichtlich der Zielstellung. Während die landwirtschaftliche Bewässerung bei Beachtung der „guten fachlichen Praxis“ mengenmäßig so zu bemessen ist, dass keine Stoffauswaschung in das Grundwasser erfolgt und eine langfristige Schadstoffanreicherung im Boden nicht zu besorgen ist, hat die Grundwasseranreicherung den Grundwasserleiter als Ziel.

Zur Beurteilung des Vorliegens einer Verschlechterung bzw. nachteiligen Veränderung des Grundwassers sind im Rahmen der bisherigen Verordnungen die in GrwV Anlage 2 zusammengestellten Parameter und Schwellenwerte geregelt. Darüber hinaus sind in Anlage 7 eine Liste gefährlicher Schadstoffe und Schadstoffgruppen und in Anlage 8 eine (nicht erschöpfende) Liste sonstiger Schadstoffe und Schadstoffgruppen bundeseinheitlich geregelt. Die LAWA-Geringfügigkeitsschwellen definieren, ab wann eine nachteilige Veränderung vorliegt. Entsprechend muss - bei fachlicher Anwendung der GFS-Werte - für die darin definierten Stoffe eine Bewertung der Konzentrationen im behandelten Abwasser und der lokalen Hintergrundwerte erfolgen.

Da im Rahmen der europäischen und deutschen Gewässerschutzpolitik ausschließlich der mengenmäßige und chemische Zustand der Wasserkörper adressiert wird, umfassen die geregelten Parameter im Wesentlichen Schwermetalle und prioritäre Stoffe. Mikrobiologische Parameter werden im Zusammenhang mit dem Grundwasserschutz nicht geregelt, sondern betreffen, wie einführend genannt, vor allem die Bereiche Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.

##  Wasserwiederverwendung im Kontext Trinkwasserschutz

Über die Oberflächen- und Grundwasserressourcen hat die Wasserwiederverwendung Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnung. Der Schutz der Trinkwasserressourcen in Deutschland folgt den Grundsätzen des Risikomanagements sowie des Multi-Barrieren-Konzepts. Zur Sicherung der hohen Qualität werden Trinkwasserschutzgebiete im WHG besonders geschützt. Dies erfolgt über die Ausweisung von Schutzzonen, für die hinsichtlich des Gewässer-, Boden- und Grundwasserschutzes besondere Anforderungen an die Nutzer formuliert sind.

Nach der Aufbereitung sind die qualitativen Parameter der Trinkwasserverordnung (TrinkwV)[[17]](#footnote-18) einzuhalten. Dazu zählen mikrobiologische, chemische und Indikator-Parameter ([TrinkwV 2011](#_ENREF_71)). Die Ableitung der LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwerte erfolgte z.T. in Anlehnung an die TrinkwV.

Die Mindestqualitätsanforderungen des JRC berücksichtigen den Trinkwasserschutz indirekt über die Verpflichtung, sowohl für die Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung als auch für die Grundwasseranreicherung, eine Risikobewertung unter Einbezug der Umweltrisiken und der Risiken für die menschliche Gesundheit durchzuführen. Die direkte Wasserwiederverwendung als Trinkwasser ist im JRC-Bericht ausdrücklich ausgeschlossen (vgl. Abschnitt 2.5). Eine Zusammenstellung von Anforderungen für die indirekte und direkte Grundwasseranreicherung im Vergleich zu den Grenzwerten der TrinkwV geben [Miret et al. (2012b)](#_ENREF_49), vgl. auch Tabelle 17 im Anhang.

## Offene Fragen im Zusammenhang zum rechtlichen Rahmen in Deutschland

Offene Fragen zu formellen Regelungen:

Die Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA sind vor allem nur für die Bewertung punktueller Einträge abgeleitet worden. Inwieweit die Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung als punktueller oder flächenhafter Eintrag zu bewerten ist, wurde im Rahmen der Studie nicht analysiert. [Seis et al. (2016)](#_ENREF_65) ordnen die landwirtschaftliche Bewässerung aufgrund des Grundstücksbezugs den punktuellen Einträgen zu. Gleiches könnte auch für die künstliche Grundwasseranreicherung gelten, da es sich dabei auch um eine lokal begrenzte Einleitung handelt.

Bei der Einordnung in den rechtlichen Rahmen wurden bisher keine Systemgrenzen definiert. Der Begriff "Grundwasseranreicherung" ist daher inhaltlich zu definieren. Bei der Grundwasseranreicherung ist zu unterscheiden, ob es sich a) um eine Einleitung in das Grundwasser zum Zweck der gezielten Entnahme oder b) um eine Einleitung zum Zweck der lokalen Stützung des Grundwasserdargebots handelt. Im ersten Fall kann von einer geringen qualitativen Beeinflussung des nativen Grundwassers ausgegangen werden, während im zweiten Fall eine negative Beeinträchtigung des Grundwassers nicht auszuschließen ist.

Im Abwasserabgabengesetz (§ 2 (2) AbwAG)) ist ausgeführt, dass das Verbringen von Abwasser im Rahmen einer „landbaulichen Bodenbehandlung“ kein Verbringen in den Untergrund und damit keine abgabepflichtige Einleitung in ein Gewässer darstellt. Das Bundesverwaltungsgericht hat dazu festgelegt, dass eine ordnungsgemäße (landbauliche) Bodenbehandlung nur vorliegt, wenn eine Vorbehandlung des Abwassers gegeben ist. Aufbereitetes Abwasser erfüllt diese Anforderung. Auch wenn das AbwAG die Einleiter (hier Landwirte/ Hofeigentümer) betrifft, ist dennoch die Definition „Einleitung in ein Gewässer“ damit nicht einheitlich. Der Bezug zum Klarwasser aus (kommunalen) Abwasserbehandlungsanlagen und der Einleitung im Sinne des WHG wurde im Rahmen der Studie nicht analysiert.

Offene Fragen zu materiellen Regelungen:

Die gute fachliche Praxis bei der landwirtschaftlichen Bewässerung schließt, unabhängig von der Herkunft des Bewässerungswassers, Schadstoffakkumulation im Boden und Stoffauswaschungen in das Grundwasser aus. Die Definition der guten fachlichen Praxis wird im Rahmen der Studie nicht diskutiert. Es ergibt sich jedoch aus Sicht der Autoren ein Überwachungsbedarf. Schlussfolgerungen hinsichtlich erforderlicher Regelungen und Rahmen werden entsprechend in Kapitel 5 aufgegriffen.

# Stand der Forschung zum Einfluss der Wiederverwendung behandelten Abwassers auf Boden und Grundwasser

Entsprechend dem JRC-Bericht (vgl. Abschnitt 2.5) und unter Bezug auf die Relevanz für Deutschland werden im Folgenden die Abwasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung und die künstliche Grundwasseranreicherung hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Umweltmedien Boden und Grundwasser bewertet. Die künstliche Grundwasseranreicherung wird für die Ziele

* Speicherung für eine spätere Entnahme und Nutzung,
* Stützung grundwasserabhängiger Ökosysteme sowie
* Verdünnung salzbeeinflusster oder anderweitig kontaminierter Grundwasserleiter

betrachtet. Die indirekte Trinkwassergewinnung fällt im Rahmen der in Deutschland gegebenen Anwendungen und Bedingungen unter die Speicherung für eine spätere Nutzung. Die landwirtschaftliche Bewässerung **kann** teilweise auf die Speicherung für eine spätere Entnahme und/oder die Stützung grundwasserabhängiger Ökosysteme abzielen, wenn sie ganzjährig betrieben wird, wie es z. B. am Standort Wolfsburg/ Braunschweig bisher der Fall ist ([vgl. Seis et al. 2016](#_ENREF_65)). Letzteres bedeutet gleichzeitig, dass in diesem Fall eine Abgrenzung zwischen landwirtschaftlicher Bewässerung und künstlicher Grundwasseranreicherung hinsichtlich der Auswirkungen auf Boden und Grundwasser für die folgenden Ausführungen nicht erforderlich ist, da davon ausgegangen werden kann, dass das zur landwirtschaftlichen Bewässerung aufgebrachte behandelte Abwasser über die ungesättigte Zone den Grundwasserleiter erreicht (vgl. Abschnitt 3.5) und die landwirtschaftliche Bewässerung hinsichtlich der Stoffeinträge damit - soweit sie über die von den Pflanzen aufnehmbare Menge hinaus geht - als künstliche Grundwasseranreicherung über Flächenversickerung betrachtet werden kann.

Die pflanzenbedarfsgerechte Bewässerung ohne gezielte Grundwasseranreicherung ist als Anwendungsfall jedoch ebenfalls zu betrachten, da mengenreduzierte Betriebsweisen und bei Bedarf auch zukünftig neue Standorte relevant sein können. Dabei ist mit vergleichsweise geringeren Stofffrachten zu rechnen.

Der Pfad über das kommunale Abwasser stellt eine Haupteintragsquelle für eine Reihe als prioritär bewerteter Stoffe in das Oberflächen- und Grundwasser dar. Dies betrifft insbesondere Schwermetalle und Arzneimittelwirkstoffe und deren Transformationsprodukte ([UBA 2015](#_ENREF_73)). Je nach Mobilität und Umweltrelevanz stellen sie ein Gefährdungspotential für Boden oder Grundwasser und deren Biozönosen da.

Grundsätzliche Faktoren, die das Gefährdungspotential beeinflussen, sind neben den Stoffeigenschaften die Vorbehandlung/ Qualität des wiederverwendeten Wassers, die Boden- und Grundwasserleitereigenschaften, die Verweilzeit sowie die Mischung bzw. Verdünnung mit dem Sicker- und Grundwasser. Der Boden und die ungesättigte Zone stellen einen natürlichen Filter dar, in dem eine Reihe physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Prozesse zu einer Verbesserung der Qualität des infiltrierten Wassers führen ([Amy et al. 2006](#_ENREF_5), [Drewes 2009](#_ENREF_20)). Tabelle 6 gibt einen Überblick über die wesentlichen Mechanismen und Randbedingungen innerhalb der Zonen, die das infiltrierende Wasser, mit Ausnahme der Grundwasseranreicherung per direkter Injektion, auf seinem Weg in das Grundwasser passiert.

Tabelle 6: Eigenschaften der verschiedenen Zonen eines Soil-Aquifer-Treatment Schemas ([Zietzschmann et al. (2016)](#_ENREF_91) nach [Amy (2009)](#_ENREF_4))

| Prozess | Infiltrationszone | Boden/ ungesättigte Zone | Grundwasser/ gesättigte Zone |
| --- | --- | --- | --- |
| Mechanismen | Filtration, biologischer Abbau | Biologischer Abbau, Adsorption | Biologischer Abbau, Adsorption, Verdünnung |
| Transport | gesättigt | ungesättigt | gesättigt |
| Verweilzeit | Minuten | Stunden bis Tage | Monate bis Jahre |
| Mächtigkeit | Zentimeter | i.d.R. 3-30 m | variabel |
| Mischung | Nein | Nein | Ja (Grundwasser) |
| Sauerstoffverfüg-barkeit | Infiltrierendes Wasser | Bodenluft | Grundwasser |
| Verfügbarkeit von organischem Kohlenstoff  | Überschuss | Überschuss - Limitierung | Limitierung |
| Redoxbedingungen | aerob | aerob bis anoxisch | anoxisch bis anaerob |

Die Bodenpassage stellt auch in der Risikobewertung von Trinkwasserversorgungssystemen und der Abwasserwiederverwendung einen wichtigen Verfahrensschritt innerhalb des Multi-Barrieren-Konzeptes dar. Letzteres schließt weiter eine adäquate technische Vor- und Nachbehandlung des Wassers ein, wobei insbesondere die Vorbehandlung dabei an der nachfolgenden Nutzung des behandelten Abwassers ausgerichtet sein muss.

Grundsätzlich relevant sind, wie auch im JRC-Bericht ausgeführt, der Salzgehalt (als Gesamttrockenrückstand), Schwermetalle, hygienisch relevante Mikroorganismen und Mikroschadstoffe. Hygienisch relevante Mikroorganismen umfassen Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeier ([Fuhrmann et al. 2012](#_ENREF_31)). Das Inventar an Salzen, Schwermetallen und Mikroschadstoffen wird, sowohl geogen als auch von der Art der Einleiter (Haushalte, Art des Gewerbes usw.), vom Einzugsgebiet der jeweiligen Kläranlage bestimmt.

Im Folgenden werden aktuelle Forschungsergebnisse zu den potentiellen Auswirkungen der Wiederverwendung behandelten Abwassers auf Boden und Grundwasser im Rahmen der vom JRC als verpflichtend deklarierten Risikobewertung zusammengefasst.

## Risikobewertung allgemein

Das Konzept des Risikomanagements adressiert Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Grundsätzlich beinhaltet es die Analyse der potentiellen Gefährdungen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß. Das Risiko eines Gefährdungsereignisses wird aus der Multiplikation der Eintrittswahrscheinlichkeit mit dem Schadensausmaß abgeleitet. Dem Multi-Barrieren-Konzept folgend werden nach der Gefährdungsanalyse kritische Kontrollpunkte („Points of Compliance“) definiert und Maßnahmenpläne zur Risikominderung festgelegt. Dem entsprechen die semi-quantitativen Risikobewertungsansätze des „Water Safety Plans“ ([WHO 2009](#_ENREF_85)) und des „Sanitation Safety Plans“ ([WHO 2015](#_ENREF_87)).

Einen Schritt weiter geht die quantitative Risikoanalyse. Nach der Zusammenstellung der potentiellen Gefährdungen werden dabei im nächsten Schritt Expositionsszenarien für bestimmte Bevölkerungsgruppen definiert und das Schadensausmaß in Form eines Gesundheitszieles quantifiziert. Aus diesem Ziel folgt die Festlegung eines Aufbereitungszieles, das eingehalten werden muss, damit kein bzw. nur ein tolerierbarer Effekt (Schaden) eintritt. Anschließend wird die Wahrscheinlichkeit bewertet, mit der das System in der Lage ist, diese Anforderung zu erfüllen ([WHO 2016](#_ENREF_88)).

Mit der quantitativen Risikoanalyse können mikrobielle und chemische Risiken adressiert werden. Basis ist, dass Gesundheits- und Aufbereitungsziele abgeleitet werden können. Innerhalb der quantitativen mikrobiellen Risikoanalyse (QMRA) erfolgt dies über Dosis-Wirkungs-Beziehungen. Der tolerierbare Schaden wird in Form des DALY-Indikators („Disability adjusted life years“) angegeben, das Aufbereitungsziel in Form der notwendigen Log-Entfernungsstufen zur Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Infektion auf 10-6 DALYs pro Person und Jahr ([WHO 2006](#_ENREF_84)). Analog kann eine quantitative chemische Risikoanalyse (QCRA) erfolgen. Das Aufbereitungsziel richtet sich hierbei i.d.R. nach der Trinkwasserrichtlinie bzw. der entsprechenden nationalen TrinkwV. Für darin nicht regulierte Stoffe bzw. Stoffgruppen, typischerweise Spurenstoffe, existieren EU-weit keine verbindlichen Zielwerte. Für Deutschland definiert das Umweltbundesamt ([UBA 2016b](#_ENREF_75)) Gesundheitliche Orientierungswerte (GOWs, vgl. Abschnitt 4.2.5) als Vorsorgewerte „für humantoxikologisch nur teil- oder nicht bewertbare trinkwassergängige Stoffe.“

Eine alternative Herangehensweise ist die Betrachtung des PNEC. Das Risiko bestimmt sich dabei aus dem Verhältnis der berechneten Umweltkonzentration (PEC) gegenüber der „No-Effekt-Konzentration“ (PNEC) ([Welker 2004](#_ENREF_82)).

Das Aufbereitungsziel bestimmt sich aus dem Rückhaltevermögen der eingesetzten Verfahren, welches von den Stoffeigenschaften bestimmt wird. Der Bodenpassage kann über die Beschreibung der Randbedingungen (Redoxbedingungen, Organikgehalt des Bodens, Porosität, Verweilzeit) ein Rückhaltevermögen zugeordnet werden. Die maßgeblichen Faktoren umfassen die Retardation (in Abhängigkeit der Porosität) und das biologische Abbauvermögen (in Abhängigkeit der Verweilzeit) ([Kraus et al. 2016](#_ENREF_42)).

Bezüglich der Wasserwiederverwendung werden insbesondere Risiken durch Mikroorganismen als relevant angesehen. Mikroschadstoffe werden hinsichtlich ihrer Relevanz kontrovers diskutiert, da zumindest hinsichtlich der Risiken für die menschliche Gesundheit Einträge aus anderen Quellen bzw. Eintragspfaden im Vergleich zur Aufnahme mit dem Trinkwasser unter Umständen höher bewertet werden müssen ([UBA 2015](#_ENREF_73)). Die nachweislich ökotoxikologische Relevanz dieser Stoffe bleibt davon unberührt.

Neben der parameterbasierten Risikobewertung, wie oben beschrieben, existieren außerdem effektbasierte Ansätze. Hier wird das Risiko aus der Wirkung auf Test-Organismen hochgerechnet ([Angelakis & Paranychianakis 2003](#_ENREF_6)). Dies kann vor allem dem Screening und der nachfolgenden Priorisierung dienen, ist jedoch noch mit Unsicherheiten hinsichtlich der Bewertung verbunden ([EC 2014 zit. im JRC-Entwurf 3.1](#_ENREF_25)).

Zu den effektbasierten Werkzeugen zählen Bioassays, Biomarker und ökologische Indikatoren. Damit können auch die summarische Wirkung der verschiedenen, im Wasserkreislauf vorhandenen Stoffe bzw. die Auswirkungen auf verschiedenen Stufen (Einzelorganismus, Population, Organismengemeinschaft) bewertet werden ([EC 2014](#_ENREF_25)). Unter Bezug auf den rechtlichen Rahmen und die darin definierten Schwellen-, Grenz-, Prüf- und Maßnahmenwerte stellen effektbasierte Methoden (noch) nicht den Stand der Technik dar. Dies begründet sich unter anderem durch die noch fehlende Verfügbarkeit auf dem Markt. Standardisierte effektbasierte Testverfahren, für die bereits entweder eine ISO­/DIN­ vorliegt, bilden eine Ausnahme und können ergänzend herangezogen werden ([Grummt & Triebskorn 2016](#_ENREF_32)).

##  Stoffinventar im behandelten Abwasser

Im kommunalen Abwasser Deutschlands sind i.d.R. rund 70% häusliches Abwasser und 30% Indirekteinleiter von Produktionsabwässern oder sonstigem gewerblich-industriellem Abwasser ([Seis et al. 2016](#_ENREF_65)). Während häusliches Abwasser i.d.R. eine gleichbleibende Zusammensetzung aufweist, bestimmen letztere Einleiter maßgeblich die stoffliche Zusammensetzung des behandelten Abwassers im Hinblick auf eine Wiederverwendung.

Häusliches Abwasser ist charakterisiert durch den hohen Anteil Organik und Makronährstoffe. Entsprechend dienen die per AbwV festgelegten Grenzwerte an der Einleitestelle (CSB, BSB5, Gesamt-Stickstoff, Gesamt-Phosphor) und die im JRC-Bericht vorgeschlagenen Mindestqualitätsanforderungen (*E. coli*, BSB5, Suspendierte Schwebstoffe, Trübung) der Begrenzung der Risiken für die Gewässer (und den Boden). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich um Mindestanforderungen nach dem Stand der Technik an die Abwasserbehandlungsanlage handelt (Emissionsbetrachtung). Die Anforderungen aus Sicht des aufnehmenden Gewässers werden im Rahmen der wasserrechtlichen Zulassung gestellt (Immissionsbetrachtung) und können über die Anforderung der AbwV hinausgehen. So werden z.B. aus Gewässerschutzgründen in Deutschland zumeist strengere Anforderungen an die Stickstoff- und Phosphorelimination gestellt, als dies nach Anhang 1 der AbwV der Fall wäre. Auch prioritäre Stoffe nach OGewV werden bei der wasserrechtlichen Zulassung berücksichtigt, sofern relevant. Ferner kommen Restbelastungen von Rückständen von Wasch- und Reinigungsmitteln vor, außerdem Arzneimittelrückstände, Textilhilfsstoffe und andere Mikroschadstoffe (vgl. Abschnitt 4.2.6). Da das Abwasser i.d.R. nicht desinfiziert wird, weist es außerdem eine Belastung mit hygienisch relevanten Mikroorganismen auf.

Wie im JRC-Bericht aufgeführt, sind neben den formulierten Mindestqualitätsanforderungen (mikrobielle Indikatoren, BSB5, Suspendierte Schwebstoffe, Trübung) weitere physikochemische Parameter nach einer Risikobewertung durch die Mitgliedsstaaten festzulegen. Dazu zählen insbesondere die nachfolgend aufgeführten Stoffgruppen bzw. Parameter.

### Salze

Gelöste Ionen werden bei der (konventionellen) Abwasserbehandlung nicht zurückgehalten. Der Gehalt wird als Gesamttrockenrückstand oder elektrische Leitfähigkeit angegeben.

Aufgrund ihrer Wirkung auf den Boden und der Eignung als Indikatoren für einen Abwassereinfluss sind insbesondere Natrium, Chlorid und Bor zu nennen. Typische Werte im behandelten Abwasser nach [Seis et al. (2016)](#_ENREF_65) liegen außer für Natrium und Bor unterhalb der Grenzwerte der TrinkwV. Relevanter sind jedoch die Pflanzentoxizität und die Akkumulation im Boden (Bodenversalzung).

Die elektrische Leitfähigkeit sowie Natrium und Chlorid sind insbesondere auch im Zusammenhang zur Zielstellung „Verdünnung salzbeeinflusster Grundwasserleiter“ zu betrachten.

### Nährstoffe

Ein erhöhter Nährstoff- und Organikeintrag kann zu erhöhter Sauerstoffzehrung im Boden bzw. der ungesättigten Zone führen, mit Auswirkungen auf das Rückhalte- und Abbauvermögen gegenüber Mikroorganismen und Mikroschadstoffen. Der Nährstoffeintrag ist daher zu begrenzen (vgl. AbwV).

[UBA (2016a)](#_ENREF_74) haben die für Abwasser aus Kläranlagen der GK 5 festgelegten Grenzwerte von 10 mg/L NH4-N, 13 mg/L Ngesamt und 1 mg/L Pgesamt in Bezug zu den über Düngemittel auf den Boden aufgebrachten Frachten gesetzt und bilanziert. Ergebnis ist, dass die Aufbringung behandelten Abwassers 4 bis 11 % des Gesamteintrags für Stickstoff (in Abhängigkeit der Bewässerungsmenge) und maximal 10 % für Phosphor bedeuten. Die Frachten liegen ebenfalls leicht unterhalb der atmosphärischen Deposition. Anders stellt sich der Stickstoffeintrag unter Bezug auf die Grundwasserverordnung dar. Der Grenzwert von 13 mg/L Ngesamt entspricht 58 mg/L Nitrat und liegt damit über dem Schwellenwert von 50 mg/L. Entsprechend sollte ein niedrigerer Grenzwert für das behandelte Abwasser festgelegt werden ([Seis et al. 2016](#_ENREF_65)). Seis et al. (2016) empfehlen, dass Nährstoffe, die mit dem behandelten Abwasser ausgebracht werden, in der Gesamtnährstoffbilanz berücksichtigt werden. Bei einer Grundwasseranreicherung mit aufbereitetem Abwasser sollte das Qualitätsziel der GWRL für Nitrat (50 mg/l) schon vor der Untergrundpassage eingehalten werden (Ngesamt < 11 mg/l).

### Schwermetalle

Relevante Schwermetalle im Kläranlagenablauf umfassen nach [Fuchs et al. (2010)](#_ENREF_30) Cadmium, Quecksilber, Blei und Nickel. [Seis et al. (2016)](#_ENREF_65) haben die von [WHO (2011)](#_ENREF_86) bestimmten Emissionsfaktoren für verschiedene Schwermetalle in Bezug zu den LAWA-Geringfügigkeitsschwellen gesetzt, die z.T. erheblich unter den Grenzwerten der TrinkwV liegen. Daraus resultieren Zink und untergeordnet Kupfer und Quecksilber als hinsichtlich ihrer Fracht im Abwasser gegenüber den Geringfügigkeitsschwellenwerten relevanteste Schwermetalle. Im weiteren Vergleich mit der atmosphärischen Deposition sind die Frachten in behandeltem Abwasser gering ([WHO 2006](#_ENREF_84)). Unbehandeltes Abwasser und/oder Klärschlamm stellen hier die relevanteren Eintragspfade dar.

### Mikroorganismen

Mikroorganismen, zu denen grundsätzlich Bakterien, Viren, Protozoen und kleine Mehrzeller gezählt werden, sind in Oberflächengewässern und in der terrestrischen Umwelt ubiquitär vorhanden. Bis heute ist nur ein Bruchteil der existierenden Organismen bekannt. Die meisten Mikroorganismen sind für Menschen unbedenklich, manche jedoch können Auslöser leichter aber auch schwerster Erkrankungen sein (Pathogene). Die Art der Übertragung (Inhalation, orale Aufnahme, dermaler Kontakt, Vektor etc.) und der Ort der Infektion sind pathogenspezifisch.

Der Aufnahmepfad über das Trinkwasser ist bis heute von großer Bedeutung, da im Falle einer vorliegenden Kontamination eine große Zahl an Menschen exponiert wird ([Asano et al. 2007](#_ENREF_8)). Pathogene gelangen über das Abwasser direkt oder indirekt in das Oberflächengewässer, da die wenigsten Klärwerke, auch nicht in Deutschland, über eine Desinfektionsstufe verfügen. Von der Anwesenheit von Krankheitserregern im Oberflächenwasser ist daher auszugehen.

Da die direkte Analyse von Pathogenen im Trinkwasserbereich aufgrund der Vielfalt an Organismen in geringer Anzahl, der Analysekosten usw. im Normalbetrieb nicht praktikabel ist, wird zur Kontrolle der mikrobiellen Sicherheit auf Indikatororganismen zurückgegriffen. Tabelle 7 zeigt eine Auswahl von im Abwasser enthaltenen Krankheitserregern. Tabelle 8 nennt die üblicherweise verwendeten Indikatororganismen.

Tabelle 7: Auswahl an im Abwasser auftretenden Krankheitserregern ([WHO 2006](#_ENREF_84)), ergänzt nach [Hupfauf (2007)](#_ENREF_35) und [Asano et al. (2007)](#_ENREF_8)

|  |  |
| --- | --- |
| Erreger | Art der Erkrankung |
| Bakterien |  |
| *Salmonella* | Salmonellose, Gastroenteritis, Durchfall, Langzeitfolgen (z.B. Arthritis) |
| *Shigella* | Bakterienruhr, Langzeitfolgen (z.B. Arthritis) |
| *Vibrio cholera* | Cholera |
| Viren |  |
| Enteroviruses, z.B.Coxsackievirus A and B | Zahorsky-Krankheit, aseptische Meningitis, Atemwegserkrankungen, Fieber, Lähmung, Herz- und Nierenerkrankungen |
| Norovirus | Gastroenteritis |
| Rotavirus | Gastroenteritis |
| Adenovirus | Atemwegserkrankungen, Gastroenteritis |
| Protozoen (Parasiten) |  |
| *Cryptosporidium parvum* | Cryptosporidiose, Durchfall, Fieber |
| *Giardia intestinalis* | Giardiasis |
| Helminthen (parasitäre Würmer) |  |
| Nematodenz.B. *Ascaris lumbricoides* | Ascariasis (Bauchschmerzen, Erbrechen) |
| Saugwürmer*z.B. Schistosoma mansoni* | Schistosomiasis (Befall von Leber und Blase) |

Tabelle 8: Indikatororganismen, nach [JRC (2017a)](#_ENREF_39)(z.T. ergänzt um weitere Quellen)

| Indikatororganismus nach Erregergruppe | Begründung |
| --- | --- |
| Bakterien |  |
| *E.coli* | Anteil von 1-2% im Darm von Warmblütern, gegenüber Umwelteinflüssen sehr widerstandsfähig ([Winfield & Groisman 2004](#_ENREF_89)), Indikatorparameter der TrinkwV |
| *Legionella pneumophila* | weitverbreitet, Infektion über Aerosole, seit 2013 Indikatorparameter der TrinkwV |
| Viren |  |
| F-spezifische Bakteriophagen | mit Enteroviren vergleichbare physikalische und morphologische Eigenschaften ([Hupfauf 2007](#_ENREF_35))  |
| Protozoen (Sporenbildner) |  |
| *Clostridium perfringens* Sporen | kleiner als die pathogenen Protozoen-Sporen, sehr widerstandsfähig gegenüber Desinfektion |
| Helminthen (parasitäre Würmer) |  |
| *keiner* | hinsichtlich Größe und Entfernung in der Abwasserbehandlung vergleichbar mit Sporenbildnern, nicht relevant im europäischen bzw. deutschen Kontext |

Nach [Asano et al. (2007)](#_ENREF_8) ist für die Wiederverwendung behandelten Abwassers kein Krankheitsausbruch in den USA bekannt. Behandeltes Abwasser enthält jedoch eine Reihe von Pathogenen, die bei unsachgemäßer Verwendung in der landwirtschaftlichen Bewässerung und der Grundwasseranreicherung ein Risiko darstellen können.

Bei der Elimination der Mikroorganismen spielt die Boden- und Grundwasserleiterpassage (Untergrundpassage) eine besondere Rolle Die Entfernungsleistung bei der Untergrundpassage ist abhängig von einer Reihe von Randbedingungen und ist im Besonderen für Viren nicht vollständig verstanden ([Tufenkji 2007](#_ENREF_72)). Dennoch stellt die Untergrundpassage eine wirksame Barriere gegenüber Pathogenen dar. Die Entfernungsleistung von Pathogenen ist jedoch standortspezifisch und bei einer Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser müsste diese standortspezifische Entfernungsleistung einzeln erbracht werden. Aufgrund der standortspezifischen Entfernungsleistung von Pathogenen bei der Untergrundpassage sind Grenzwerte für die Verwendung zur Grundwasseranreicherung wenig sinnvoll. Vielmehr sollte durch geeignete Methoden (z.B. Traceruntersuchungen zur Aufenthaltszeitbestimmung und quantitative mikrobielle Risikobewertung) eine zu erwartende Mindestentfernung bestimmt werden. Zusammen mit den technischen Verfahren zur Desinfektion (z.B. in Seis et al. (2016)) könnte so eine Verfahrenskette zur Hygienisierung bewertet werden.

In [JRC (2017a)](#_ENREF_39) wird die standortspezifische Entfernung im Untergrund hervorgehoben und darauf verwiesen, dass bei indirekter Infiltration der ungesättigten Zone eine gewisse Entfernungsleistung angerechnet werden kann. Dem Grundwasserleiter dagegen wird keine Entfernungsleistung angerechnet. Die Mindestqualitätsanforderungen des JRC-Berichtes berücksichtigen dies und adressieren ausschließlich die Risiken für die menschliche Gesundheit aus dem direkten Kontakt mit dem behandelten Abwasser oder dem Verzehr bewässerter Feldfrüchte bzw. formulieren entsprechende Mindestanforderungen für zum Rohverzehr bestimmte Feldfrüchte. In Deutschland werden hingegen bisher ausschließlich nicht zum Rohverzehr bestimmte und Energiepflanzen mit behandeltem Abwasser bewässert (z.B. Braunschweig, Wolfsburg).

Hinsichtlich des Einflusses von behandeltem Abwasser auf native Bodenorganismen ist der wissenschaftliche Kenntnisstand gering ([Asano et al. 2007](#_ENREF_8)).

### Antibiotikaresistenz-Gene

Antibiotika treten in geringen Konzentrationen im Abwasser auf ([Paranychiankis et al. 2014](#_ENREF_58)). Die Autoren führen auf Basis einer Literaturstudie aus, dass geringe oder keine Effekte hinsichtlich der Ausbildung von Resistenzen zu erwarten sind, aber auch, dass die variablen Randbedingungen die Bewertung der Effekte erschweren. Während in der Nähe von Einleitestellen eine Zunahme von Antibiotikaresistenzgenen (ARG) beobachtet werden konnte, berichten [Negreanu et al. (2012)](#_ENREF_50), dass in einer Studie in Israel keine Unterschiede zwischen mit Frischwasser und behandeltem Abwasser bewässerten Böden nachgewiesen werden konnten. Eine abschließende Risikobewertung kann daher derzeit nicht vorgenommen werden.

Eine aktuelle Studie des [UBA (2017a)](#_ENREF_77) zur Entwicklung und Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Umwelt kommt zu dem Ergebnis, dass die Entwicklung von Antibiotikaresistenzen und die damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen noch unzureichend untersucht sind und mögliche Regulierungsschritte zurzeit nur auf der Grundlage des Vorsorgeprinzips erfolgen könnten. Die Berücksichtigung von Effekten von Antibiotikarückständen auf die Resistenzbildung in der Umwelt innerhalb der Umweltrisikoabschätzung von Antibiotika wird in diesem Zusammenhang diskutiert. Darüber hinaus wird ein Resistenzmonitoring in der Umwelt empfohlen, um auch die Effekte von anderen Stoffgruppen (z.B. Schwermetallen) auf die Resistenz abzudecken.

### Mikroschadstoffe

Mit den Fortschritten im Bereich der Analytik wurden und werden in allen Wasserkörpern zunehmend Mikroschadstoffe, d.h. anthropogene Spurenstoffe, nachgewiesen. Das (behandelte) Abwasser stellt dabei einen wesentlichen Eintragspfad dar, insbesondere für Humanarzneimittel, hormonell wirksame Substanzen, Wirkstoffe in Kosmetika und Desinfektions- oder Reinigungsprodukten.

Während Pflanzenschutzmittel und ihre Metabolite in der TrinkwV mit einem Vorsorge-Grenzwert von 0,1 µg/L für Einzelstoffe und 0,5 µg/L für die Stoffsumme verbindlich geregelt sind, existieren für eine Vielzahl weiterer, insbesondere neu detektierter Spurenstoffe keine Grenzwerte. Hier definiert das Umweltbundesamt, dem Vorsorge-Prinzip folgend, einen gesundheitlichen Orientierungswert für trinkwasserrelevante Stoffe (GOW) ([UBA 2017c](#_ENREF_79)). Der Wert wird vorsorglich so niedrig angesetzt, dass auch bei lebenslanger Aufnahme des Stoffes keine gesundheitliche Beeinträchtigung auftritt. Je nach Wirkmechanismus des Stoffes liegt der GOW zwischen 0,01 und 3,0 µg/L. Eine Übersicht gibt Tabelle 18 im Anhang.

Zur Abbauleistung der Abwasserbehandlung gegenüber anthropogenen Spurenstoffen existieren zahlreiche Forschungsprojekte und Publikationen. Einen ausführlichen Überblick gibt z.B. [Welker (2004)](#_ENREF_82). Bezüglich der Auswirkungen von Arzneimitteln und anderen Mikroschadstoffen auf das Grundwasser wurde u.a. im Rahmen des EU-FP7-Projektes DEMEAU eine Bewertung der Entfernungsraten unter Bezug auf die Randbedingungen vorgenommen ([Miret et al. 2012a](#_ENREF_48)). Die bewerteten Randbedingungen entsprachen im Wesentlichen den in Tabelle 6 zusammengestellten Eigenschaften des Bodens bzw. Grundwasserleiters. Als besonders relevant wurden die Redoxbedingungen und die Verweilzeit herausgearbeitet.

Aus der Bewertung wurde geschlussfolgert, dass Bezafibrat, Diclofenac, Gemfibrozil, Iopromid und Trimethoprin gute Entfernungsraten über eine weite Spanne der Randbedingungen aufwiesen, während Benzotriazol und Phenazon an spezifische Redoxbedingungen geknüpft waren. Carbamazepin und Sulfamethoxazol brauchen zur Entfernung sehr lange Verweilzeiten und, im Fall von Carbamazepin, außerdem anaerobe Bedingungen. Primidon war die einzige Substanz, die in der Grundwasseranreicherung auch bei verschiedenen Redoxbedingungen und Verweilzeiten keinen Abbau zeigte. Es kann entsprechend als Tracer herangezogen werden ([Miret et al. 2012a](#_ENREF_48)). [Benotti and Snyder (2009)](#_ENREF_13) zit. in [Paranychiankis et al. (2014)](#_ENREF_58) bestätigen die Persistenz von Carbamazepin und Primidon. Da die Analyseverfahren i.d.R. Gruppen von Substanzen erfassen, kann neben der Analyse der persistenten, mobilen, als Tracer geeigneten Stoffe wie Primidon aus der Konzentrationsabnahme andere Stoffe auf das Abbauverhalten zurückgeschlossen und die Risikobewertung durch die Überwachung kontinuierlich überprüft und verbessert werden.

Die Konzentrationen im Abwasser lagen für diese Substanzen bei 0,9 µg/l für Carbamazepin und 0,2 µg/L für Primidon. Die höchsten Eingangskonzentrationen wiesen Iopromid (bis 4 µg/L) und Benzotriazol (2 µg/L) auf. Damit überschreitet Carbamazepin den GOW (vgl. Tabelle 18 im Anhang). Für Iopromid ist kein GOW definiert, der Stoff zeigt aber, wie oben ausgeführt, ein gutes Abbauverhalten und ist damit nicht gesundheitlich relevant.

Insgesamt schlussfolgern auch [Paranychiankis et al. (2014)](#_ENREF_58) und Seis et al. (2016b), dass die Konzentrationen im behandelten Abwasser i.d.R. unterhalb der gesundheitlich relevanten Zielwerte (vgl. Abschnitt 4.1) liegen. Je nach Konzentration im Abwasser werden jedoch unter Bezug auf das generelle Verschlechterungsverbot für Boden und Grundwasserkörper unter Umständen weitergehende Abwasserbehandlungsschritte, wie Aktivkohlefiltration, Ozonung oder Membranfiltrationsverfahren erforderlich.

Bei der Anwendung des Verschlechterungsverbots nach § 47 WHG ist zu beachten, dass der maßgebliche Ort zur Beurteilung des chemischen Zustands eines Grundwasserkörpers die repräsentativen Messstellen im jeweiligen Grundwasserkörper sind, d.h. lokal begrenzt auftretende Beeinträchtigungen, die sich an den repräsentativen Messstellen nicht nachweisen lassen, verstoßen also nicht gegen das Verschlechterungsverbot, soweit sie sich nicht auf den Grundwasserkörper insgesamt auswirken. Darüber hinaus ist jedoch eine Prüfung im Rahmen des Besorgnisgrundsatzes auch bezogen auf die lokalen Grundwasserverhältnisse durchzuführen (siehe Kapitel 2.2).

Ein Verfahrensvergleich hinsichtlich der Entfernung von Indikatorsubstanzen wurde im Rahmen des Projektes IST4R (TU Berlin 2015) vorgenommen und betrachtet auch die o.g. Substanzen Carbamazepin (CBZ) und Primidon (PRI) ([Jekel et al. 2015](#_ENREF_37)). Das Ergebnis zeigt Abbildung 2.

Einen allgemeinen Überblick der Verfahren zur weitergehenden Abwasserbehandlung, einschließlich Membranverfahren und naturnahen Verfahren geben [Seis et al. (2016)](#_ENREF_65) in Tabelle 20, die an dieser Stelle nicht wiederholt werden soll.



*Legende Indikatorsubstanzen: ATS: Amidotrizoesäure, GAB: Gabapentin, IOP: Iopromid, ACE: Acesulfam, PRI: Primidon, BEZ: Bezafibrat; BTA: Benzotriazol, MET: Metoprolol, SMX: Sulfamethoxazol, FAA: Formylaminoantipyrin, DCF: Diclofenac, CBZ: Carbamazepin*

Abbildung 2: Verfahrensalternativen und Entfernung von Indikatoren für anthropogene Spurenstoffe unter Angabe ökobilanzieller Daten ([Jekel et al. 2015](#_ENREF_37))

## Relevante Stoffeigenschaften

Der Rückhalt bzw. Abbau der oben dargestellten Stoffe sowohl in der Abwasserbehandlung als auch in der Bodenpassage und im Grundwasserleiter wird von stoffspezifischen Eigenschaften, die die Sorption und Polarität beschreiben, bestimmt (vgl. Abschnitt 2.7). Die wichtigsten Kennzahlen sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Unter den betrachteten Stoffen im Rahmen des Projektes DEMEAU weist z.B. das nicht abbaubare Primidon den niedrigsten logKOW-Wert auf und ist damit besonders mobil ([Miret et al. 2012a](#_ENREF_48)).

Für das Abbauverhalten von Mikroorganismen, insbesondere Viren, besteht noch Forschungsbedarf. Neben den allgemeinen Umweltbedingungen (Temperatur, pH, Redoxbedingungen, Nährstoffe) andere relevante Parameter sind z.B. die Größe, die Oberflächenladung und/oder die Anwesenheit von Fraßfeinden.

Tabelle 9: Kennzahlen und Parameter zur Beschreibung des Stoffverhaltens für die Mikroschadstoffe

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Kennzahl/ Parameter | Herleitung | Relevanz |
| Sorptionskonstante Kd | Gleichgewichtskonstante in Abhängigkeit der Konzentration in der festen und flüssigen Phase | Akkumulationspotential im Boden |
| Sorptionskoeffi­zient bezogen auf die organische Substanz im Boden KOC | Kd x 100 / Corg | Akkumulationspotential an Organik |
| Oktanol-Wasser-Verteilungskoeeffi­zient KOW | Konzentration in der Oktanol- versus Wasserphase | Akkumulationspotential in Organismen |

Daten zu stoffspezifischen Eigenschaften sind z.B. in [NRMMC (2008)](#_ENREF_56) zusammengestellt. Einen Überblick über existierende Datenbanken gibt [LANUV (2016)](#_ENREF_43). Weitere Datenbanken, die z.T. auch Maßnahmen enthalten, befinden sich derzeit in Aufbau (z.B. „Abates“ am Kiwa Water Research Institut oder STOFF-IDENT innerhalb BMBF Riskwa).

## Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers

Eine vertiefte Risikobewertung erfordert die standortbezogene Analyse des behandelten Abwassers und die Kenntnis der Boden- und/oder Grundwasserleitereigenschaften und ist damit, wie auch vom JRC geschlussfolgert, fallbasiert durchzuführen. Auf Grundlage der obigen Ausführungen und basierend auf dem parameterbasierten Ansatz zur Risikobewertung und dem Leitfaden der WHO ([WHO (2006)](#_ENREF_84), vgl. Abschnitt 4.1) können jedoch folgende allgemeine Gefährdungen für Boden und Grundwasser und entsprechende kritische Kontrollpunkte im Sinne des Risikomanagements zusammengefasst werden.

### Boden

Risiken für den Boden im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes betreffen vor allem die Nutzung zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Die künstliche Grundwasseranreicherung erfolgt i.d.R. über Versickerungsbecken, die aus Gründen der besseren Instandhaltung mit einer Filterlage aus technischem Sand ausgestattet sind. Eine Ausnahme stellt die ganzjährige Bewässerung mit dem Teilziel der Auffüllung der Grundwasservorräte dar, die als künstliche Grundwasseranreicherung betrachtet werden kann.

Risiken für den Boden resultieren im Wesentlichen aus dem Salz- und Nährstoffgehalt des aufgebrachten Wassers. Dabei spielt die Bewässerungsmenge eine große Rolle hinsichtlich der Stoffakkumulation. Beide Faktoren sind relevant hinsichtlich der Wahl der Feldfrüchte und der Bewässerungstechnologien, jedoch nicht begrenzt durch die BBodSchV.

Aufgrund des geringen Schadstoffinventars bezüglich Schwermetallen und anthropogenen (organischen) Spurenstoffen bzw. der fehlenden Datenlage zur Akkumulation und Überlebensrate von pathogenen Mikroorganismen kann eine quantitative (mikrobiologische und/oder chemische) Risikoanalyse nicht vorgenommen werden. Tabelle 10 fasst die aus dem Stoffinventar und den Bodeneigenschaften resultierenden Gefährdungspotentiale zusammen.

Tabelle 10: Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers in der landwirtschaftlichen Bewässerung und künstlichen Grundwasseranreicherung für das Umweltmedium Boden

| Gefährdung | Schaden | existierende Vorsorge-, Schwellen- oder Grenzwerte und Maßnahmen (M) |
| --- | --- | --- |
| SAR > 10 ([van Houtte & Verbauwhede 2008](#_ENREF_81)) | Verschlämmung | keine Begrenzung in den relevanten VerordnungenM: Entsalzung, Reduzierung der Bewässerungsmenge |
| Elektrische Leitfähigkeit > 2000 µS/cm([UBA 2015](#_ENREF_73)) | Versalzung, Verringerung des Wasseraufnahmevermögens durch die Pflanzen | keine BegrenzungM. Verringerung des Gesamtgehalts gelöster Ionen, z.B. durch Mischung mit unbelastetem Wasser oder weitergehende Abwasserbehandlung (Nanofiltration/ Umkehrosmose) |
| erhöhte Nährstofffracht | zu hoher Gehalt an org. Material führt zu Verschlämmung und SauerstoffzehrungOptimum ist lt. [USEPA (2012)](#_ENREF_80) BSB5 zwischen 110 und 400 mg/L (verbessert das Schwermetall-Bindevermögen, vermindert die Versalzung durch Verbesserung des Wasseraufnahmevermögens | Begrenzung Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Phosphor in Abhängigkeit der Größenklasse in der AbwVM: adäquate Abwasserbehandlung, bedarfsgerechte Bewässerung |
| Suspendierte Schwebstoffe > 100 mg/L | Kolmation des Bodens/ Herabsetzen der Durchlässigkeit | adäquate Abwasserbehandlung |
| erhöhte Stofffracht (v.a. Schwermetalle) | Akkumulation im Boden | Vorsorgewerte der BBodSchV für Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Zink M: Kontrolle der Indirekteinleiter, adäquate Abwasserbehandlung |
| erhöhte Stofffracht niedrig polarer Spurenstoffe | Akkumulation im Boden je nach Stoffmobilität, Redoxbedingungen und Verweilzeit  | Vorsorgewerte der BBodSchV für einzelne organische Schadstoffe, nicht für anthropogene SpurenstoffeM: Bewertung des Abbaupotentials (in Abhängigkeit v.a. der Redoxbedingungen) |

Aus der Bewertung folgt, dass bei Beachtung der existierenden Verordnungen und der guten fachlichen Praxis keine zusätzlichen Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers für den Bereich des vorsorgenden Bodenschutzes resultieren. Es ist jedoch zu hinterfragen, inwiefern von einer Einhaltung der guten fachlichen Praxis ausgegangen werden kann.

Wie auch vom JRC geschlussfolgert, sollte jedoch immer eine Risikobewertung auf Basis der standortspezifischen Abwasser- und Bodeneigenschaften und die Ableitung entsprechender Überwachungsprogramme erfolgen. Den Rahmen setzt das Erfordernis einer Erlaubnis für das Einleiten in Gewässer nach WHG, ausgenommen davon ist das Verbringen im Rahmen einer landbaulichen Bodenbehandlung.

### Grundwasser

Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers für das Grundwasser resultieren aus der künstlichen Grundwasseranreicherung und der landwirtschaftlichen Bewässerung. Die ganzjährige landwirtschaftliche Bewässerung mit dem bei Überschuss von Bewässerungswasser entstehenden Nebeneffekt der Ergänzung der Grundwasservorräte kann als eine Art von künstlicher Grundwasseranreicherung betrachtet werden. Darüber hinaus kann auch bei einer landwirtschaftlichen Bewässerung ohne das Teilziel der Grundwasseranreicherung ein Risiko für das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden, da in der Praxis meist mehr bewässert wird, als effektiv von den Pflanzen aufgenommen werden kann.

Risiken für das Grundwasser könnten im Wesentlichen aus dem Mobilisierungspotential gegenüber anorganischen Schadstoffen in Abhängigkeit der Bewässerungs- bzw. Anreicherungsmengen, des pH-Wertes und der Redoxbedingungen im Boden resultieren. Aus dem Stoffinventar des behandelten Abwassers könnte eine Grundwassergefährdung durch Nitrat bzw. andere Stickstoffverbindungen folgen, insbesondere bei der direkten Injektion in die gesättigte Zone, während die ungesättigte Zone ein zumindest begrenztes Nitratabbauvermögen aufweisen könnte.

Für prioritäre Stoffe (Anlage 7 OGewV) gilt ein generelles Eintragsverbot und gefährliche Stoffe gemäß Liste der GrwV sind zu begrenzen. Als gefährliche Stoffe gelten nach [NRMMC (2006)](#_ENREF_55) Stoffe, die persistent, bioakkumulierend und toxisch sind. Entsprechend ist ein Abgleich des Stoffinventars des behandelten Abwassers mit den Anlagen 2, 7 und 8 der GrwV erforderlich. Zusätzlich wird empfohlen, die LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwerte und die Gesundheitlichen Orientierungswerte des UBA für bisher nicht toxikologisch bewertete organische Spurenstoffe in den Abgleich einzubeziehen.

Im Hinblick auf das allgemein formulierte Verschlechterungsverbot in der WRRL steht die künstliche Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser jedoch im scheinbaren Widerspruch zu den Zielen des Grundwasserschutzes. Sofern das verwendete Wasser für eine genehmigte Grundwasseranreicherung aus Oberflächengewässern oder Grundwasser stammt und die Verwendung nicht die Verwirklichung der Umweltziele gefährdet, die für den Grundwasserkörper festgesetzt wurden, ist die Nutzung nach Artikel 11 (3) (f) WRRL erlaubnisfähig. Tabelle 11 fasst aus dem Stoffinventar resultierende Risiken zusammen.

Tabelle 11: Risiken aus der Wiederverwendung behandelten Abwassers in der landwirtschaftlichen Bewässerung und künstlichen Grundwasseranreicherung für das Umweltmedium Grundwasser

| Gefährdung | Schaden/Risiko | existierende Vorsorge-, Schwellen- oder Grenzwerte |
| --- | --- | --- |
| Nitrat | Nichteinhalten der der rechtlichen Vorgaben (OGewV, GrwV, TrinkwV) | Nitrat < 50 mg/LMaßnahme: Anpassung des Grenzwertes der AbwV  |
| Elektrische Leitfähigkeit | Nutzungseinschränkungen | Schwellenwert für Chlorid in der GrwVM: Restriktion der Anwendung, weitergehende Abwasserbehandlung |
| Bor | Nutzungseinschränkungen | LAWA-GFS: 180 µg/LM: Restriktion der Anwendung |
| Mobilisierung von Schwermetallen | widerspricht Verschlechterungsverbot sofern der Grundwasserkörper insgesamt betroffen ist  | As, Cd, Pb, Hg mit Schwellenwerten in der GrwVM: adäquate Abwasserbehandlung |
| hochpolare persistente Spurenstoffe | widerspricht Verschlechterungsverbot sofern der Grundwasserkörper insgesamt betroffen ist | LAWA-GFS für einzelne organische Schadstoffe, nicht für anthropogene SpurenstoffeM: Überwachung , weitergehende Abwasserbehandlung |
| Antibiotika-resistenz-Gene | unbekannt | M: Forschungsbedarf |

### Kritische Kontrollpunkte

Wesentlicher Bestandteil von Überwachungsplänen ist die Festlegung der Kontrollpunkte. Leitlinien geben die Risikomanagement-Leitfäden ([NRMMC 2006](#_ENREF_55), [WHO 2006](#_ENREF_84), [NRMMC-EPHC-NHMRC 2009](#_ENREF_54), [USEPA 2012](#_ENREF_80)) sowie die Dokumente der Europäischen Kommission zur Gemeinsamen Implementierungsstrategie der WRRL ([EC 2007b](#_ENREF_23), [EC 2007a](#_ENREF_22)).

Die Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung und/oder künstlichen Grundwasseranreicherung kann in Anlehnung an Projekte zur künstlichen Grundwasseranreicherung mit dem Ziel der Speicherung für eine spätere Entnahme und Nutzung gesehen werden. Dafür haben [Miret et al. (2012b)](#_ENREF_49) die kritischen Kontrollpunkte („points of compliance“ POC)) wie folgt zusammengefasst (Tabelle 12 und Abbildung 3). Die „attenuation zone“ (Abbildung 3) beschreibt darin den Bereich, in dem der Rückhalt und/oder Abbau eingebrachter Stoffe durch die natürlichen Prozesse in der Untergrundpassage stattfindet. Üblicherweise wird nur der horizontale Transport innerhalb der gesättigten Zone dazu gezählt. Es ist gleichzeitig der Einflussbereich der Anreicherung. Überwachungsbrunnen sollten innerhalb und an der Grenze des Einflussbereiches platziert werden, während der Punkt der Entnahme außerhalb liegt ([NRMMC 2008](#_ENREF_56)).

Tabelle 12: Definition der kritischen Kontrollpunkte für die Überwachung der Wiederverwendung behandelten Abwassers ([Miret et al. 2012b](#_ENREF_49))

| POC | Lage | Funktion |
| --- | --- | --- |
| 0 | am Ort des Aufbringens (Verteilung)ungesättigte Zone | Überwachung des Stoffinventars, Bewertung möglicher stofflicher Änderungen zwischen der Abwasserbehandlung und dem Punkt der Nutzung |
| 1 | am Übergang in das Grundwasserungesättigte zu gesättigte Zone | Konzentration des Infiltrats im Vergleich zur Hintergrundkonzentration im Grundwasser |
| 2 | im Abstrom | Früherkennung nachteiliger Veränderungen, Bewertung der Aufenthaltszeit und der Mischungsverhältnisse |
| 3 | am Punkt der Entnahme | Einhaltung aller relevanten Schwellen- oder Grenzwerte, Bewertung der Notwendigkeit von Maßnahmen |



Abbildung 3: Kritische Kontrollpunkte innerhalb eines Anreicherungsschemas mit naturnaher Aufbereitung in der Bodenpassage (Soil-Aquifer-Treatment SAT) mit Zuordnung des rechtlichen Rahmens in Europa; A) mit kontrollierter Entnahme (z.B. künstliche Grundwasseranreicherung zur Speicherung zur späteren Entnahme und Nutzung); B) ohne Entnahme (z.B. künstliche Grundwasseranreicherung zur Stützung grundwasserabhängiger Ökosysteme oder landwirtschaftliche Bewässerung) ([Miret et al. 2012b](#_ENREF_49))

# Fazit

Der JRC-Bericht adressiert den Bedarf, Wasserknappheit durch die Erschließung alternativer Wasserquellen zu mindern. Wie in einigen Ländern Südeuropas (und international) bereits praktiziert, ist dabei die Wiederverwendung behandelten Abwassers eine mögliche Option. Typischerweise wird es zur landwirtschaftlichen Bewässerung oder Bewässerung öffentlicher Flächen genutzt. Eine untergeordnete Rolle, allerdings mit zunehmendem Implementierungsgrad, stellt die künstliche Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser dar. Die direkte Trinkwassergewinnung aus Abwasser als Hochtechnologie-Ansatz wird im Rahmen des JRC-Berichts ausdrücklich nicht behandelt.

Der JRC-Bericht wurde auf Grundlage mehrere Jahre zurückreichender Strategiepapiere und Vorarbeiten zum Stand der Wasserwiederverwendung in Europa der Europäischen Union bzw. Kommission und des JRC zusammengestellt. Er berücksichtigt außerdem internationale Leitfäden und Normen zur sicheren Nutzung behandelten Abwassers sowie einen umfangreichen Literaturreview.

Durch KWB wurden die Mindestanforderungen des JRC zusammengefasst und dem rechtlichen Rahmen in Deutschland gegenübergestellt. Der JRC-Bericht geht insofern über den deutschen rechtlichen Rahmen hinaus, als dass praktische Erfahrungen und existierende rechtlich verbindliche Grenzwerte der Mitgliedsstaaten (Spanien, Frankreich, Griechenland, Zypern) zur Wiederverwendung behandelten Abwassers einbezogen wurden. Des Weiteren berücksichtigt der JRC-Bericht Risiken für die Gesundheit der Personen in Kontakt mit dem Wasser und der Verbraucher, während auftragsseitig die Analyse des deutschen rechtlichen Rahmens und des Stands der Forschung auf die Wirkungen auf die Umweltmedien Boden und Grundwasser beschränkt war. Daraus resultieren z.T. weitergehende Anforderungen an die hygienische Qualität des Wassers auf europäischer Ebene.

### Mindestqualitätsanforderungen des JRC-Berichtes im Vergleich zu den aus den deutschen Verordnungen resultierenden Anforderungen

Die Empfehlungen des JRC Berichtes ([JRC 2017a](#_ENREF_39)) zur Überwachung der Abwasserqualität berücksichtigen im Wesentlichen hygienische und technische Parameter. Zu erstem zählt *E. coli* zu letzteren der biologische Sauerstoffbedarf BSB5, suspendierte Schwebstoffe und die Trübung. Im Vergleich dazu regelt die AbwV auch die Nährstoffe Stickstoff gesamt und Phosphor gesamt. Dies berücksichtigt deren Relevanz für die Oberflächengewässer aufgrund des Eutrophierungspotentials.

🡪 Die Parameter zur Überwachung der Abwasserqualität an der Einleitestelle überschneiden sich nur hinsichtlich des biologischen Sauerstoffbedarfs.

Die vom JRC formulierten Anforderungen gelten für den Austritt aus der Kläranlage bzw. nach der weitergehenden Aufbereitung. *Wesentlicher Grund ist vermutlich der unterschiedliche Standard der Abwasserbehandlung. Die Bewässerung setzt als Mindestanforderung die mechanische und biologische Klärung und für die Bewässerungsklassen A bis C eine Desinfektion voraus. In Deutschland erfolgt i.d.R. eine Aufbereitung bis zur dritten (chemischen) Reinigungsstufe, aber keine Desinfektion. Aufgrund der Einleitung in die Oberflächengewässer werden die die Eutrophierung bestimmenden Parameter überwacht.*

Die Empfehlungen des JRC zur Überwachung der Auswirkungen auf die angrenzenden Umweltkompartimente, d.h. v.a. den Boden, verweisen auf die Schwermetalle der Klärschlammrichtlinie und agronomische Parameter (Pflanzentoxizität, Bodenversalzung usw.). Zur Ableitung von Grenz- oder Schwellenwerten für diese und andere in Abhängigkeit des Abwassers und der Bodeneigenschaften festzulegende Parameter wird eine verpflichtende Risikobewertung vorgeschlagen. Aus dieser muss die Einhaltung aller anderen Gewässerschutz-Richtlinien folgen.

🡪 Der vorgeschlagene Mindestuntersuchungsumfang (Schwermetalle) entspricht dem Umfang der Parameter der AbfKlärV und den Vorsorgewerten der BBodSchV.

🡪 Die Adressierung der weiteren Richtlinien, d.h. WRRL, GrwRL, NitratRL, macht zur Einhaltung des Verschlechterungsverbots eine Analyse des behandelten Abwassers hinsichtlich aller in den entsprechenden Verordnungen genannten Parameter, d.h. Schwellenwerte der GrwV, Liste gefährlicher und zu begrenzender Stoffe der GrwV und Prioritäre Stoffe (UQN bzw. OGewV) erforderlich.

*Zur Umsetzung der Risikobewertung und des Ansatzes der Harmonisierung auf europäischer Ebene ist ein Leitfaden erforderlich. Der aktuelle Entwurf des JRC-Berichtes erfüllt dieses Erfordernis nicht.*

*Als kritisch wird eingeschätzt, dass bezüglich der Verwendung zur künstlichen Grundwasseranreicherung mit den spanischen Grenzwerten die am wenigsten strengen Anforderungen berücksichtigt wurden. Diese zielen ebenfalls nur auf hygienische und technische Parameter ab und überschneiden sich nicht mit relevanten deutschen Verordnungen, während die zypriotischen Festlegungen als die strengsten Festlegungen auch die vom JRC genannten Schwermetalle (u.a.) regeln.*

*Die Anforderungen, die aus der Liste gefährlicher und zu begrenzender Stoffe der GrwV (Anhang 7 und 8) hervorgehen, sind mit einer Vielzahl an zu analysierenden Parametern für eine Anwendung in der Praxis kritisch zu sehen. Hier könnten effektbasierte Methoden, insofern sie ausreichend standardisiert sind, eine Alternative darstellen.*

Die Empfehlungen des JRC zur Überwachung der Aufbereitungsleistung (Einhaltung der Qualitätskriterien) und der betrieblichen Überwachung enthalten nur mikrobiologische Indikatorparameter. Weitere betriebliche Parameter sind im Rahmen der Risikobewertung und in Abhängigkeit der Abwasserqualität, der Aufbereitungstechnologie und der standort- und länderspezifischen Gegebenheiten verbindlich festzulegen.

🡪 Aus der grundsätzlichen Erlaubnispflicht für das Einleiten in Gewässer folgt das Erfordernis einer Genehmigung. Diese legt i.d.R. die Überwachungspflichten in Abhängigkeit der o.g. Faktoren fest.

🡪 Die mikrobiologischen Parameter zur Überwachung, dass die Aufbereitung in der Lage ist, die erforderliche Qualität behandelten Wassers (für die Bewässerungsklasse A) zu produzieren, werden in Deutschland nicht eingehalten, da die Kläranlagen i.d.R. keine Desinfektion vornehmen.

*Wie zuvor ist im Sinne eines harmonisierten Vorgehens ein Leitfaden hilfreich.*

*Die mikrobiologischen Parameter beziehen sich auf bestimmte Nutzungsarten und sollten im Rahmen der sonst allgemein gehaltenen Mindestqualitätsanforderungen aus einer EU-weiten Regelung entfallen. Eine Überwachung der mikrobiologischen Parameter sollte Teil einer standortspezifischen Risikobewertung sein.*

### Mindestqualitätsanforderungen des JRC-Berichtes im Vergleich zum Stand der Forschung

Sowohl das Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks ([SCHEER 2017](#_ENREF_62)) als auch die European Food Security Agency (EFSA in [Allende et al. (2017)](#_ENREF_3) zogen ein kritisches Fazit aus der Bewertung des JRC-Berichts (v 3.2).

In [SCHEER (2017)](#_ENREF_62) wurde zum Ausdruck gebracht, dass “in its current form, the minimum quality requirements proposed provide insufficient protection both to environmental and human health”. Die Autoren betonen, dass der Bericht die Problematik von Mikroverunreinigungen (“contaminants of emerging concern”), die mögliche Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen und mögliche Risiken durch Desinfektionsnebenprodukte nicht ausreichend adressiert und die Herangehensweise für die empfohlene Herleitung weiterer standortspezifischer Anforderungen nicht konkretisiert wurde.

Die EFSA empfahl u. a. sich auf EU-spezifische Daten zu wasserbürtigen Pathogenen zu beziehen und verweist darauf, eine quantitative mikrobiologische Risikobewertung auf Grundlage entsprechender Daten zu überarbeiteten. Auch sollten Risikobewertungen Auskunft darüber geben, ob die vorgeschlagenen Abwasseraufbereitung ausreichend sicher ist und die Bedeutung einer möglichen Aufnahme und Anreicherung von Mikroverunreinigungen und Desinfektionsnebenprodukten und mögliche Konsequenzen für die menschliche Gesundheit und die Tiergesundheit kritisch diskutiert werden ([Allende et al. 2017](#_ENREF_3)).

Die Positionen des JRC hinsichtlich mikrobiologischer Parameter, effektbasierter Bewertungsansätze und Spurenstoffen entsprechen nicht dem Stand der Forschung, sondern orientieren sich in vielen Aspekten an der aktuellen Praxis. So wurden beispielsweise ausreichend Ansätze für effektbasiertes Monitoring entwickelt, aber es fehlt der Markt, um die entsprechenden Mess- bzw. Analyseinstrumente EU-weit zu beziehen und zu nutzen.

Hinsichtlich Schwermetallen besteht kein über die Anforderungen hinaus gehender Regelungsbedarf, da diese in der Abwasserbehandlung in der Schlammphase akkumulieren und das behandelte Abwasser, im Vergleich zu anderen Eintragspfaden, nur geringe Frachten aufweist.

Die Regelung mikrobieller Parameter kann sich auf die Anwendung in der landwirtschaftlichen Bewässerung in Abhängigkeit oder unter Beschränkung der Nutzung (Nahrungs- versus Energiepflanzen) und zur direkten künstlichen Grundwasseranreicherung beschränken, da die künstliche Grundwasseranreicherung über die Bodenpassage und einer ausreichend langen Aufenthaltszeit vor der Entnahme gegenüber allen Organismengruppen (Bakterien, Viren, Protozoen) ein ausreichendes Eliminierungspotential aufweist. Voraussetzung hierfür ist die Intaktheit der Bodenzone, die Sicherstellung einer ungesättigten Sickerwasserstrecke.

Für Spurenstoffe ist die Relevanz des Eintragspfades über behandeltes Abwasser im Vergleich zu anderen Eintragspfaden, wie z.B. der direkten Pestizidapplikation weniger kritisch zu bewerten. Wie dargestellt, liegen die bisher nachgewiesenen Konzentrationen im Abwasser bis auf wenige Ausnahmen deutlich unterhalb der gesundheitlichen Orientierungswerte, die jedoch das Schutzgut Mensch und somit nicht zwingend das Schutzgut Umwelt betrachten. So besteht z. B. bei der Relevanz von Spurenstoffeinträgen für Grundwasser- und Bodenorganismen noch weiterer Forschungsbedarf. Allerdings liegen wissenschaftliche Erkenntnisse vor, dass Mikroverunreinigungen schon in den geringen Konzentrationen, die in deutschen Gewässern gemessen wurden, negative Auswirkungen für die aquatische Umwelt hervorrufen können, so z.B. die Verweiblichung von Fischen ([Triebskorn 2017](#_ENREF_70)).

Zudem liefern verschiedene Untersuchungen zur Bewässerung mit aufbereitetem Abwasser den Nachweis, dass Arzneimittelrückstände (z.B. Carbamazepin), bei der Bodenpassage nicht zurückgehalten werden und somit das Grundwasser erreichen ([Ternes 2007](#_ENREF_69), [Avisar et al. 2009](#_ENREF_10)). Bei Untersuchungen an den Standorten Braunschweig und Wolfsburg wurden zudem Überschreitungen von stoffspezifischen gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) (v.a. Antiepileptika und Röntgenkontrastmittel) festgestellt ([NLWKN 2014](#_ENREF_51), [NLWKN 2017](#_ENREF_52)). Auch eine Anreicherung von Arzneimitteln in Pflanzen ist durch verschiedene internationale Studien belegt ([Shenker et al. 2011](#_ENREF_66), [Carter et al. 2014](#_ENREF_17), [Riemenschneider et al. 2017](#_ENREF_60)).

Ebenso kritisch zu hinterfragen ist jedoch auch der Bezug auf das allgemeine Verschlechterungsverbot. Eine strenge Auslegung würde die Wiederverwendung behandelten Abwassers bei Nachweis mobiler, persistenter anthropogener Spurenstoffe verhindern. Hier besteht zum einen weiterer Forschungsbedarf zur Priorisierung der Substanzen ([Steinel & Margane 2011](#_ENREF_68)) und zum anderen der Bedarf einer Leitlinie zur Charakterisierung und Bewertung der Polarität der Stoffe auf Basis der Stoff- und Grundwasserleitereigenschaften unter Berücksichtigung der Prozesse in der ungesättigten und gesättigten Zone. Ein Beispiel gibt die quantitative chemische Risikoanalyse (vgl. Abschnitt 4.1).

Offen ist die Bewertung der möglichen Verbreitung von Antibiotikaresistenzen, die aufgrund der fehlenden bzw. uneinheitlichen Forschungsergebnisse bisher nicht eindeutig bewertet werden kann.

An dieser Stelle sei kritisch angemerkt, dass die Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung und künstlichen Grundwasseranreicherung je nach Stoffinventar und Randbedingungen Risiken für Boden und Grundwasser bedeuten kann, die Oberflächengewässer jedoch gleichzeitig entlastet werden. An dieser Stelle sind weitere Bilanzierungen der Stoffströme empfehlenswert, die den Abbau, aber auch die potentielle Akkumulation in der Boden- bzw. ungesättigten Zone berücksichtigen.

### Empfehlungen hinsichtlich der Gesetzgebung

🡪 Einführen einer erlaubnispflichtigen Gewässerbenutzung für die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zu Bewässerungszwecken

*Die Beregnung an sich ist bislang sowohl vom Wasser- als auch vom Bodenschutzrecht her erlaubnisfrei (Stichworte: § 2 Abs. 2 AbwAG und § 7 und § 17 BBodSchG).*

🡪 Ferner wird das Erfordernis gesehen, Nährstoffgehalte des behandelten Abwassers bei Ausbringung in die Düngebilanzierung einzubeziehen.

*Zur Einhaltung von flächenbezogenen Höchstmengen an Nährstoffen sind bei der Berechnung des Düngebedarfs, wie in der Düngeverordnung gefordert, die Frachten aus der Bewässerung mit behandeltem Abwasser zu berücksichtigen.*

🡪 Einführen eines Katasters oder zumindest einer Aufzeichnungspflicht der Menge und Beschaffenheit des auf den jeweiligen Flächen zur Bewässerung aufgebrachten behandelten Abwassers.

*Analog zu den bestehenden Aufzeichnungspflichten gemäß § 10 Absatz 2 der Düngeverordnung wäre die Mindestanforderung an Betriebsinhaber, die Menge und Beschaffenheit des aufgebrachten behandelten Abwassers, sowie die Fläche, auf die das behandelte Abwasser aufgebracht wurde und den Zeitraum der Bewässerung aufzuzeichnen, nachzuhalten und auf entsprechende Aufforderung nachzuweisen. Erweiterte Nachweispflichten wären analog der AbfKlärV denkbar. Die Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen wären zum Führen eines Registers verpflichtet, welches Angaben über die Menge und Beschaffenheit des abgegebenen behandelten Abwassers, die Art der Behandlung, Name und Anschrift der Empfänger sowie die Fläche, auf die das behandelte Abwasser aufgebracht wird, enthält. Diese Angaben wären den zuständigen Behörden regelmäßig weiterzuleiten.*

🡪 Grundsätzlich wird empfohlen, die Überwachung der Qualität des behandelten Abwassers nicht nur am Ausgang/Ablauf der Abwasserbehandlungsanlage, sondern auch am Ort der Verwendung, d.h. am Ort der Aufbringung zur landwirtschaftlichen Bewässerung bzw. Grundwasseranreicherung festzuschreiben.

*Damit werden Änderungen innerhalb des Gesamtsystems der Aufbereitung, Speicherung und Verteilung bewertbar. Im Sinne des Boden- und Grundwasserschutz ist die Qualität am Ort des Aufbringens zu bewerten.*

🡪 Die direkte künstliche Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser unter Umgehung der Bodenpassage sollte weitgehend ausgeschlossen sein.

*Bei einer direkten Einleitung in das Grundwasser fällt die Bodenpassage als wichtige Reinigungsbarriere aus. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass auch bei einer indirekten Einleitung in das Grundwasser (z.B. über Sickerbecken o.ä.) bei geringen Flurabständen eine Umgehung der Bodenpassage auftreten kann. Da behandeltes Abwasser i.d.R. erhöhte Frachten gelöster Ionen, und bei fehlender weitergehender Aufbereitung, pathogene Mikroorganismen und Spurenstoffe enthält, fällt das Einleiten unter das Verschlechterungsverbot, kann jedoch unter Hinweis auf den chemischen Status des Wasserkörpers genehmigt werden (siehe auch Hinweise in Kapitel 2.2 und Kapitel 4.2.6).*

🡪 Zur Verwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung sind Grenzwerte für mikrobiologische Parameter und/oder erforderliche Log-Entfernungsstufen festzulegen. Alternativ ist die Nutzung verbindlich auf die Bewässerung von nicht zum Rohverzehr bestimmten Nahrungspflanzen bzw. Energiepflanzen einzuschränken (momentane Genehmigungspraxis).

*In Deutschland wird der Kläranlagenablauf i.d.R. nicht desinfiziert und weist im Vergleich zum durch JRC berücksichtigten Stand der Forschung erhebliche Frachten pathogener Mikroorganismen auf. Diese können im Boden akkumulieren und in Dauerstadien (nicht kultivierbar) überleben. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.*

### Empfehlungen hinsichtlich des Vollzugs

🡪 So nicht bereits adressiert, wird empfohlen, die Genehmigungspraxis durch Leitfäden zu unterstützen. Für die Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung ist dabei insbesondere auf die Definition und Auslegung der „guten fachlichen Praxis“ gemäß § 17 BBodSchG einzugehen. Diese wäre durch eine Definition der guten fachlichen Praxis bei der Bewässerung mit behandeltem Abwasser zu ergänzen. Aus deren Überwachung würde eine Minimierung der Risiken für das Grundwasser folgen. Stoffliche und hygienische Anforderungen können durch eine stärkere rechtliche Verbindlichkeit aus den bestehenden bzw. überarbeiteten Normen zur Beurteilung des Wassers bei Beregnungsmaßnahmen (DIN 19684-10) und zu Hygienische Belange von Bewässerungswasser (DIN 19650) hervorgehen.

*Bei Einhaltung der zu erweiternden „guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft sollte keine Verlagerung von Stoffen aus dem Boden in das Grundwasser erfolgen. Eine langfristige Anreicherung von Schadstoffen oder pathogenen Keimen im Boden darf nicht zu besorgen sein. Stoffausträge durch Versickerung in das Grundwasser sind durch ein bedarfsgerechtes Bewässerungsmanagement zu verhindern.*

*Hinsichtlich der (indirekten) künstlichen Grundwasseranreicherung sind dabei weiterhin standortspezifische Parameter und Überwachungspläne festzulegen. Ein verbindlicher Rahmen erleichtert dabei die Berücksichtigung aller als wesentlich herausgearbeiteten Faktoren und bietet die Möglichkeit, verbindliche Mindestanforderungen aus der Gesamtschau der Verordnungen festzulegen und die Grenz- oder Schwellenwerte zumindest für Deutschland zu harmonisieren.*

### Schlussbemerkungen

Abschließend sollen kurz die Aspekte Bedarf und Relevanz der Wiederverwendung behandelten Abwassers für Deutschland angeschnitten werden.

Im aktuellen Entwurf des Berichtes verweist JRC vielfach auf das Erfordernis bzw. die Verpflichtung zu einer Risikobewertung. In allen Risikomanagement-Ansätzen ist die Feststellung des Bedarfs der erste Schritt in der Analyse. Sollten auf europäischer Ebene hauptsächlich sich aus der Risikobewertung ergebende Parameter verbindlich geregelt werden, ergibt sich vor dem Hintergrund der klimatischen Rahmenbedingungen in Deutschland vermutlich bereits an dieser Stelle ein Abbruchkriterium für entsprechende Projekte. Dies bedarf vergleichbarer Kriterien für die Bewertung des Bedarfs (s.u.).

Zu berücksichtigen ist dabei jedoch auch, dass langfristig in der Gesamtbilanz des Wasserhaushaltes zwar kein generelles Mengenproblem erwartet wird, die landwirtschaftliche Bewässerung aus Oberflächengewässern jedoch in Trockenperioden lokal zu einer Verschärfung der Niedrigwassersituation führen oder Nutzungseinschränkungen unterliegen kann ([LAWA 2014](#_ENREF_44)). Dabei zu beachten ist jedoch auch, dass je nach aufnehmendem Gewässer die Abwassereinleitung einen wesentlichen Teil des Wasserstroms ausmachen kann und eine anderweitige Nutzung des Abwassers wiederum zu Niedrigwasser im normalerweise aufnehmenden Gewässer führen kann.

Laut [Asano and Cotruvo (2004)](#_ENREF_9) beinhalten z.B. die kalifornischen Richtlinien einen Faktor für unregulierte Stoffe, der den Anteil wiederverwendeten Abwassers an der Trinkwasserversorgung beschreibt. Dabei wären entsprechend andere Eintragspfade in das Grund- bzw. Trinkwasser im Vergleich zur direkten Wiederverwendung zu sehen. So ist z.B. in Deutschland die Trinkwassergewinnung aus der Uferfiltration entlang der großen Flusssysteme weitverbreitete Praxis und über die Einleitung des Klarwassers in die Oberflächengewässer erfolgt der Eintrag persistenter anthropogener Spurenstoffe in das Trinkwasser. Dadurch soll deutlich gemacht werde, dass bereits heute Wasserwiederverwendung alltägliche Praxis ist. Damit, und unter Verweis auf die bereits angesprochenen anderen Eintragspfade (direkte Aufbringung von Pestiziden usw.), relativieren sich unter Umständen die Bedenken hinsichtlich der direkten Wiederverwendung behandelten Abwassers. Hier wären, wie oben bereits geschrieben, weitergehende Bilanzierungen der Gesamtstoffströme erforderlich.

### Ausblick

Es bestehen noch weitere offene Fragen die für die Umsetzung von Wasserwiederverwendungsvorhaben auf nationaler Ebene geklärt werden müssen.

🡺 Definition und Feststellung von Wassermangel und Notwendigkeit der Wiederverwendung

Am Anfang eines Wasserwiederverwendungsvorhabens steht eine Bedarfsprüfung, d.h. es müsste nachgewiesen werden, ob eine nicht ausreichende Verfügbarkeit von Wasser in geeigneter Qualität und Quantität vorliegt. Der Betreiber muss nachweisen, dass keine konventionellen Wasserressourcen in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, z.B. anhand sinkender Grundwasserstände oder klimatisch auftretender Wasserdefizite, und damit ein Bedarf für die Verwendung von behandeltem Abwasser besteht. Diese Bedarfsprüfung wird in vielen Fällen negativ ausfallen. Beispielsweise kommen Seis et al. (2016) zu dem Ergebnis, dass kein flächendeckender Bedarf für die Nutzung von behandeltem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung besteht. Die Autoren sehen lediglich lokal oder saisonal auftretende temporäre Wassermangelsituationen, welche durch die Bewässerung mit behandeltem Abwasser ausgeglichen werden könnten. Seis et al. (2016) empfehlen darüber hinaus bundesweit einheitliche Bewertungskriterien für den mengenmäßigen Zustand von Grund- und Oberflächenwasser zu schaffen, um die Entscheidungssicherheit der Genehmigungsbehörden zur Wasserwiederverwendung zu stützen. Generell wird der mengenmäßige Zustand des Grundwassers in Deutschland, mit Ausnahme von einigen lokalen Problemen, meist als gut bewertet. Knapp 96% aller GWK befinden sich in einem guten mengenmäßigen Zustand ([UBA 2017b](#_ENREF_78)). Allerdings ist auch eine Prognose zum Wasserbedarf und zur Wasserverfügbarkeit in Folge des Klimawandels zu würdigen, um die Verschlechterung des mengenmäßig guten Zustands auszuschließen.

🡺 Haftungsfragen bei auftretenden Kontaminationen

Es ist zu klären, wer für etwaig auftretende Verunreinigungen in Boden und Grundwasser durch das Bewässern mit behandeltem Abwasser die Haftung übernimmt. Gemäß § 4 (3) BBodSchG sind der Verursacher einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast sowie dessen Gesamtrechtsnachfolger, der Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück verpflichtet, den Boden und Altlasten sowie durch schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten verursachte Verunreinigungen von Gewässern so zu sanieren, dassdauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen.

🡺 Kostenregelung bei zusätzlichen Aufbereitungs- und Überwachungsmaßnahmen

Die landwirtschaftliche Feldberegnung ist mit Kosten z.B. für das Bewässerungsystem, Leitungsnetz, Brunnen und Pumpen verbunden, die der landwirtschaftliche Nutzer (Pächter oder Grundstückseigentümer) trägt. Bei der Beregnung mit behandeltem Abwasser sind zusätzliche Kosten für die ggf. erweiterte Abwasserbehandlung, den Transport oder die Zuleitungen, die Wartungskosten für die Infrastruktur sowie die Überwachungsmaßnahmen zu erwarten. In Deutschland dürften daher die Risiken, die Kosten und der Aufwand für die nötige Infrastruktur zur Wasserwiederverwendung den Nutzen oftmals übersteigen.

# Referenzen

86/278/EWG (1986): Richtlinie über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft

Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV). 21.03.1997

Allende, A.; Culleres, D. B.; Llop, R. G.; Laval, A.; Robertson, L.; Felício, M. T. d. S.; Gervelmeyer, A.; Bordajandi, L. R. & Liebana, E. (2017): Request for scientific and technical assistance on proposed EU minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge. European Food Safety Authority (EFSA),

Amy, G. (2009): Soil Aquifer Treatment (SAT): General Concepts (Ed.): SWITCH Workshop, Accra, February 26-27, 2009, <http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/db/event_upload_folder/69/SWITCH_Learning_Alliance_Training_Workshop-Ghana-Programme.pdf>

Amy, G.; Carlson, K.; Collins, M. R.; Drewes, J. E.; Gruenheid, S. & Jekel, M. (2006): Integrated comparison of biofiltration in engineered versus natural systems. In: Gimbel, R.; Graham, N. J. D. & Collins, M. R.: Recent progress in Slow Sand Filtration and alternative biofiltration processes, London, UK, IWA:3-11

Angelakis, A. & Paranychianakis, N. (2003): Introduction. In: Who: State of the art report: Health risks in aquifer recharge using reclaimed water. 1:6

Angelakis, A. N. & Gikas, P. (2014): Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. Water Utility Journal 8: 67-78, <http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2014_08_07.pdf>

Asano, T.; Burton, F. L.; Leverenz, H. L.; Tsuchihashi, R. & Tchobanoglous, G. (2007): Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications. Metcalf & Eddy, AECOM, 116

Asano, T. & Cotruvo, J. A. (2004): Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. Water Research 38(8): 1941-1951, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135404000466>

Avisar, D.; Lester, Y. & Ronen, D. (2009): Sulfamethoxazole contamination of a deep phreatic aquifer. Science of The Total Environment 407(14): 4278-4282, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709003398>

Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 101 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 102 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist. Zuletzt geändert durch Art. 102 V v. 31.8.2015 / 1474

Benotti, M. J. & Snyder, S. A. (2009): Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds: Implications for ground water replenishment with recycled water. Ground Water 47(4): 499-502, <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-68249126773&partnerID=40>

Bixio, D.; Thoeye, C.; Koning, J. D.; Joksimovic, D.; Savic, D.; Wintgens, T. & Melin, T. (2006): Wastewater reuse in Europe. Desalination 187(1–3): 89-101, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001191640500723X>

BMUB (2016): Gewässerschutzpolitik in Deutschland. <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewaesser/gewaesserschutzpolitik/deutschland/>

Bode, H. (2014): Wohl und Wehe der 4. Reinigungsstufe. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 61(12): 1088-1089

Carter, L. J.; Harris, E.; Williams, M.; Ryan, J. J.; Kookana, R. S. & Boxall, A. B. A. (2014): Fate and Uptake of Pharmaceuticals in Soil–Plant Systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry 62(4): 816-825, <https://doi.org/10.1021/jf404282y>

CDPH (2014): Regulations Related to Recycled Water. California Department of Public Health

DIN 19650 (1999): Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser. Deutsches Institut Für Normung. Köln

Drewes, J. E. (2009): Ground water replenishment with recycled water - Water quality improvements during managed aquifer recharge. Ground Water 47(4): 502-505, <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-68249097694&partnerID=40>

DWA (2008): Aufbereitungsstufen für die Abwasserwiederverwendung (Assessment of Process Steps for the Treatment of Wastewater for Reutilisation). Hennef, Germany, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V

EC (2007a): Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) - Guidance document N°18 - Guidance on groundwater status and trend assessment European Commission. Brussels. 18:84, <http://bookshop.europa.eu/en/guidance-on-groundwater-status-and-trend-assessment-pbKHAN09018/;pgid=GSPefJMEtXBSR0dT6jbGakZD00000FxJPbNZ;sid=N-nnfbAEPxbne-kqmXF52tIhMDrhrv1nKZs=?CatalogCategoryID=h2YKABstrXcAAAEjXJEY4e5L>

EC (2007b): Communication from the Commission to the European Parliament and the Council - Addressing the challenges of water scarcity and droughts in the European Union:14, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0414:FIN:en:PDF>

EC (2012): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - EIn Blueprint für den Schutz der europäischen Wasserressourcen:28, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0673:FIN:DE:PDF>

EC (2014): Technical report on aquatic effect-based monitoring tools. European Union. Brussels:83, <https://circabc.europa.eu/sd/a/0d78bbf7-76f0-43c1-8af2-6230436d759d/Effect-based%20tools%20CMEP%20report%20main%2028%20April%202014.pdf>

EG (2002): VERORDNUNG (EG) Nr. 178/2002 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit. <http://www.bfr.bund.de/cm/343/2002_178_de_efsa.pdf>

EG (2004): VERORDNUNG (EG) Nr. 852/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 über Lebensmittelhygiene. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:139:0001:0054:de:PDF>

EU (1986): Richtlinie 86/278 - Schutz der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=LEGISSUM:l28088>

EU (2000): European Water Framework Directive - Council Directive 2000/60/EC of 23 October 2000. Enacted: 22.12.2000,

Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F. & Götz, T. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS - Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe UBA,, 243 <http://www.uba.de/uba-info-medien/4017.html>

Fuhrmann, T.; Scheer, H. & Cornel, P. (2012): Hinweise zur Wasserwiederverwendung - Vielschichtige Fragestellungen angesichts international zunehmender Relevanz. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 59(1): 52-56

Grummt, T. & Triebskorn, R. (2016): Risikocharakterisierung und Risikobewertung: Trinkwasser, Abwasser, Grund- und Oberflächenwasser. In: Forschung, B. F. B. U.: Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf, Frankfurt am Main, DECHEMA

Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung).

Hochstrat, R.; Wintgens, T. & Melin, T. (2008): Development of integrated water reuse strategies. Desalination 218: 208-217

Hupfauf, K. R. (2007): Elimination von somatischen und f-spezifischen Bakteriophagen, sowie enteropathogenen Viren aus Abwasser mittels Membranbelebungsverfahren. Medizinische Fakultät. Doktor der Medizin:70, <http://d-nb.info/98566441X/34>

ISO 16950 (2015): Guidelines for Treated Wastewater Use for Irrigation Projects

Jekel, M.; Altmann, J.; Ruhl, A. S.; Sperlich, A.; Schaller, J.; Gnirß, R.; Miehe, U.; Stapf, M.; Remy, C. & Mutz, D. (2015): Vergleich verschiedener Verfahrensvarianten der weitergehenden Abwasserreinigung zur Entlastung der Berliner Gewässer – Integration der Spurenstoffentfernung in Technologieansätze der 4. Reinigungsstufe bei Klärwerken. 182

JRC (2016): Development of minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Draft V.3.1.

JRC (2017a): Development of minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Draft V.3.2.

JRC (2017b): Development of minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Draft V.3.3.

Kazner, C.; Wintgens, T. & Dillon, P. (2012): Advances in Water Reclamation Technologies for Safe Artificial Groundwater Recharge. IWA Publishing

Kraus, F.; Seis, W.; Remy, C.; Rustler, M.; Jubany i Guell, I.; Espi, J. J. & Clarens, F. (2016): Deliverable D3.2: Show case of the environmental benefits and risk assessment of reuse schemes. public report in the DEMOWARE project ([www.demoware.eu](file:///C%3A%5CUsers%5CVI-440-2%5CAppData%5CLocal%5CMicrosoft%5CWindows%5CTemporary%20Internet%20Files%5CContent.Outlook%5CASP20W6E%5Cwww.demoware.eu)), KWB,

LANUV (2016): Anwendung von Stoffpriorisierungsverfahren für Oberflächengewässer - Datenrecherche und Einsatz modellierter Daten. LANUV-Fachbericht 72, 88 <https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_commercedownloads/Fachbericht_72_web.pdf>

LAWA (2014): Gewässerschutz und Landwirtschaft – Anforderungen an eine gewässerschonende Landbewirtschaftung aus der Sicht der Wasserwirtschaft 11

LAWA (2015): Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. 22

LAWA (2016): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser - Aktualisierte und überarbeitete Fassung. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 28

LAWA (2017): Handlungsempfehlung Verschlechterungsverbot. Wasserrecht, S. a. D. L., Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser,

Miret, M.; Vilanova, E.; Molinero, J. & Sprenger, C. (2012a): The identification of optimum conditions to face emerging pollutants removal in MAR systems. European Commission,, 69

Miret, M.; Vilanova, E.; Molinero, J. & Sprenger, C. (2012b): The management of aquifer recharge in the European legal framework. European Commission,, 34

Negreanu, Y.; Pasternak, Z.; Jurkevitch, E. & Cytryn, E. (2012): Impact of Treated Wastewater Irrigation on Antibiotic Resistance in Agricultural Soils. Environmental Science & Technology 46(9): 4800-4808, <http://dx.doi.org/10.1021/es204665b>

NLWKN (2014): - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Regionaler Themenbericht, Rückstände von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln im Grundwasser, Untersuchung in Abwasser- bzw. Klärschlammverregnungsgebieten im Raum Braunschweig-Wolfsburg. Grundwasser(20)

NLWKN (2017): - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Regionaler Themenbericht, Rückstände von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln im Grund- und Oberflächenwasser, Wiederholende und ergänzende Untersuchung in Abwasser- bzw. Klärschlammverregnungsgebieten im Raum Braunschweig-Wolfsburg. Grundwasser(30)

NRMMC-EPHC-NHMRC (2008): Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2-1) - Augmentation of Drinking Water Supplies.

NRMMC-EPHC-NHMRC (2009): Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2) Managed Aquifer Recharge.

NRMMC (2006): Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 1).415

NRMMC (2008): Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2-3) - Managed Aquifer Recharge (Draft).218

Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV).

Paranychiankis, N. V.; Salgot, M.; Snyder, S. A. & Angelakis, A. N. (2014): Water reuse in EU states: necessity for uniform criteria to mitigate human and environmental risks. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 45(13): 1409-1468

Reddersen, K. (2004): Das Verhalten von Arzneimittelrückständen im Wasserkreislauf Berlins. Fakultät III - Prozesswissenschaften. Berlin, Technische Universität Berlin

Riemenschneider, C.; Seiwert, B.; Moeder, M.; Schwarz, D. & Reemtsma, T. (2017): Extensive Transformation of the Pharmaceutical Carbamazepine Following Uptake into Intact Tomato Plants. Environmental Science & Technology 51(11): 6100-6109, <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06485>

Salgot, M.; Huertas, E.; Weber, S.; Dott, W. & Hollender, J. (2006): Wastewater reuse and risks: definition of key objectives. Desalination 187: 29-40

SCHEER (2017): Scientific advice on Proposed EU minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge. Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks,

Schittko, S.; Putschew, A. & Jekel, M. (2004): Bank filtration: A suitable process for the removal of iodinated x-ray contrast media? Water Science and Technology 50(5): 261-268, <http://www.scopus.com/scopus/inward/record.url?eid=2-s2.0-5444261925&partnerID=40&rel=R7.0.0>

Schulz, E. (2014): Strategien zur Grundwasseranreicherung, Landwirtschaft im Klimawandel - Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel. Landwirtschaftskammer Niedersachsen,

Seis, W.; Lesjean, B.; Maaßen, S.; Balla, D.; Hochstrat, R. & Düppenbecker, B. (2016): Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Uba, Umweltbundeamt, 216

Shenker, M.; Harush, D.; Ben-Ari, J. & Chefetz, B. (2011): Uptake of carbamazepine by cucumber plants--a case study related to irrigation with reclaimed wastewater. Chemosphere 82(6): 905-910

Spanish Presidential Ministry (2007): Spanish Regulations for Water Reuse. Royal Decree 1620/2007.

Steinel, A. & Margane, A. (2011): Best management practice guideline for wastewater facilities in karstic areas of Lebanon with special respect to the protection of ground- and surface waters. BGR, 158

Ternes, T. (2007): The occurrence of micopollutants in the aquatic environment: A new challenge for water management. Water Science and Technology 55(12): 327-332, <http://www.scopus.com/scopus/inward/record.url?eid=2-s2.0-34547688006&partnerID=40&rel=R7.0.0>

Triebskorn, R. H. (2017): Weitergehende Abwasserreinigung - Ein wirksames und bezahlbares Instrument zur Verminderung von Spurenstoffen und Keimen im Wasserkreislauf. Tübingen, Eberhard Karls Universität Tübingen

Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 (BGBl. I S. 959), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Mai 2011 (BGBl. I S. 748, 2062) geändert worden ist.

Tufenkji, N. (2007): Modeling microbial transport in porous media: Traditional approaches and recent developments. Advances in Water Resources 30(6): 1455-1469, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030917080600128X>

UBA (2015): Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. 26

UBA (2016a): Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste nach Art. 5 der RL 2008/105/EG bzw. § 4 Abs. 2 OGewV in Deutschland. 275 <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_12_2016_bestandsaufnahme_der_emissionen_einleitungen_und_verluste_0.pdf>

UBA (2016b): Liste der nach GOW bewerteten Stoffe. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/20160520_liste_der_nach_gow_bewerteten_stoffe_0.pdf>

UBA (2016c): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer - Phase 2. UBA-Texte 60/2016

UBA (2017a): Development and dissemination of antibiotic resistance in the environment under environmentally relevant concentrations of antibiotics and its risk assessment. Agency, G. F. E., Institute for Risk Assessment Sciences, Utrecht University,

UBA (2017b): Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung. Umweltbundesamt,

UBA (2017c): Toxikologie des Trinkwassers. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/trinkwasserqualitaet/toxikologie-des-trinkwassers>

USEPA (2012): Guidelines for Water Reuse. USEPA Report, United States Environmental Protection Agency, 642 p.

van Houtte, E. & Verbauwhede, J. (2008): Operational experience with indirect potable reuse at the Flemish Coast. Desalination 218: 198-207

Welker, A. (2004): Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf - Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Kaiserslautern, Technische Universität Kaiserslautern

Wasserhaushaltsgesetz - Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. Enacted: 27.07.1957,

WHO (2006): WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater [vol. I – IV].

WHO (2009): Water safety plan manual : step-by-step risk management for drinking-water suppliers. Geneva, World Health Organization, 101 p, <http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241562638_eng.pdf>

WHO (2011): Guidelines for drinking-water quality.

WHO (2015): Sanitation safety planning: Manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and extreta.

WHO (2016): Quantitative microbial risk assessment: Application for water safety management. <http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/qmra/en/>

Winfield, M. D. & Groisman, E. A. (2004): Phenotypic differences between Salmonella and Escherichia coli resulting from the disparate regulation of homologous genes. Proc Natl Acad Sci U.S.A. 101(49): 17162-17167

Yiannakou, A. L. (2012): Treated effluent reuse scheme in Cyprus. Water Development Department, [www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/617AC8D0A2D8C719C22579FA0025C815/$file/sbla\_bw.pdf](file:///C%3A%5CUsers%5CVI-440-2%5CAppData%5CLocal%5CMicrosoft%5CWindows%5CTemporary%20Internet%20Files%5CContent.Outlook%5CASP20W6E%5Cwww.moa.gov.cy%5Cmoa%5Cwdd%5Cwdd.nsf%5CAll%5C617AC8D0A2D8C719C22579FA0025C815%5C%24file%5Csbla_bw.pdf)

Zietzschmann, F.; Sprenger, C.; Seis, W.; Kraus, F.; Miehe, U.; Schwarzmüller, H.; Vilanova, E.; Bayer, M.; Lakretz, A.; Cikurel, H.; Gelman, E. & Inbal, D. (2016): Deliverable 1.4 Pretreatment requirements and design guidelines for SAT technologies - DEMOWARE

Zühlke, S. (2004): Verhalten von Phenazonderivaten, Carbamazepin und estrogenen Steroiden während verschiedener Verfahren der Wasseraufbereitung, Technische Universität Berlin

# Anhang

Tabelle 13: Überblick über Grenzwerte chemischer Parameter für die Wiederverwendung behandelten Abwassers für verschiedene Nutzungen (nach [Salgot et al. (2006)](#_ENREF_61) zit. in [Steinel and Margane (2011)](#_ENREF_68))

| **Parameter/ Kategorie** | **Einheit** | **Garten- und Parkbewässerung (privat/öffentlich)** | **Stützung des Wasserhaus-halts und Aquakultur** | **Indirekte Grundwasseran-reicherung** | **Kühlwasser** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parameter mit sehr hohem Untersuchungsintervall (täglich bis wöchentlich)** |
| pH |  | 6,0–9,5 | 6,0–9,5 | 7–9 | 7,0–8,5 |
| BSB | mg /L | 10–20 | 10–20 |  |  |
| CSB (or TOC) | mg /L | 100 | 70–100 (1) | 70–100 | 70 (1) |
| Gelöster Sauerstoff | mg/L | >0,5 | >3 | >8 | >3 |
| AOX | µg/L |  |  | 25 |  |
| UV 254 Absorption | cm-1x103 | 30–70 | 30–70 | 10 |  |
| Elektrische Leitfähigkeit | µS/cm | 3000 | 3000 | 1400 |  |
| Suspendierte Schwebstoffe, gesamt | mg/L | 10 | 10 |  | 10 |
| Reaktives Chlor (bei Chlorung) | mg/L | 0,2–1,0 | 0,05 |  | 0,05 |
| Gesamt-Stickstoff (Kjeldahl) | mg/L | 15–20 | 10–20 |  | 10 |
| Ammonium-N | mg/L | 2–20 | 1,5 | 0,2 | 1,5 |
| **Parameter mit hohem Untersuchungsintervall (monatlich)** |
| SAR | mmol/L0,5 | 5 | 5 |  |  |
| Na | mg/L | 150 | 150–200 |  | 200 |
| Nitrat | mg/L |  |  | 25 |  |
| Chlorid | mg/L | 250 | 250–400 | 100 | 400 |
| Sulphat | mg/L | 500 | 500 | 100 |  |
| Gesamt-Phosphor | mg/L | 2–5 | 0,2 |  | 0,2 |
| **Parameter mit mittlerem Untersuchungsintervall (monatlich bis jährlich)** |
| As | mg/L | 0,1–0,02 | 0,1–0,02 | 0,005 |  |
| B (total) | mg/L | 0,4–1,0 | 0,4–1,0 | 0,2 |  |
| Cd | mg/L | 0,005 | 0,005 | 0,003 |  |
| Cr (total) | mg/L | 0,1–0,01 | 0,1–0,01 | 0,025 |  |
| Cr III | mg/L | 0,1 | 0,1 |  |  |
| Cr VI | mg/L | 0,005 | 0,005 |  |  |
| Hg | mg/L | 0,001–0,002 | 0,001–0,002 | 0,0005 |  |
| Pb | mg/L | 0,1 | 0,1 | 0,005 |  |
| F (total) | mg/L | 1,5–2,0 | 1,5–2,0 |  |  |
| Tenside (total) | mg/L | 0,5 | 0,5 |  |  |
| Mineralöle | mg/L | 0,05 | 0,05 |  |  |
| **Parameter mit niedrigem Untersuchungsintervall (jährlich bis alle 5 Jahre)** |
| Al | mg/L | 1–5 | 1–5 |  |  |
| Ba | mg/L | 10 | 10 |  |  |
| Be | mg/L | 0,1 | 0,1 |  |  |
| Co | mg/L | 0,05 | 0,05 |  |  |
| Cu | mg/L | 0,2–1,0 | 0,2–1,0 |  |  |
| Fe | mg/L | 2 | 2 |  |  |
| Li | mg/L | 2,5 | 2,5 |  |  |
| Mn | mg/L | 0,2 | 0,2 |  |  |
| Mo | mg/L | 0,01 | 0,01 |  |  |
| Ni | mg/L | 0,2 | 0,2 | 0,01 |  |
| Se | mg/L | 0,01–0,02 | 0,01–0,02 |  |  |
| Sn | mg/L | 3 | 3 |  |  |
| Th | mg/L | 0,001 | 0,001 |  |  |
| V | mg/L | 0,1 | 0,1 |  |  |
| Zn | mg/L | 0,5–2,0 | 0,5–2,0 |  |  |
| Zyanide (gesamt) | mg/L | 0,1–0,05 | 0,1–0,05 |  |  |
| Pestizide (gesamt) | mg/L | 0,05 | 0,05 |  |  |
| Pestizide und deren Metabolite, pro Substanz | mg/L |  |  | 0,0001 |  |
| Pentachlorophenol | mg/L | 0,003 | 0,003 |  |  |
| Synth. Komplexbildner, pro Substanz (z.B. EDTA) | mg/L | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |  |
| chloridhaltige Lösungsmittel(gesamt, wenn AOX > limit) | mg/L | 0,04 | 0,04 |  |  |
| Tetrachloroethylene, trichloroethylene | mg/L | 0,01 | 0,01 |  |  |
| **Desinfektionsnebenprodukte (nur bei Chlorung)** |
| NDMA | mg/L | 0,0001a |  | 0,0001a |  |
| Trihalomethan | mg/L | 0,03 | 0,03 |  |  |
| Aldehyd (total) | mg/L | 0,5 | 0,5 |  |  |
| Aromatische organische Lösungsmittel (gesamt) | mg/L | 0,01 | 0,01 |  |  |
| Benzen | mg/L | 0,001 | 0,001 |  |  |
| PAHs (total) | mg/L |  |  |  |  |
| Benzene(a)pyren | mg/L | 0,00001 | 0,00001 |  |  |
| Phenol (gesamt) | mg/L | 0,1 | 0,1 |  |  |
| endocrine Disruptoren (E-Screen) | mg/L | 0,0001a | 0,0001a | 0,0001a |  |
| Arzneimittelrückstände (pro Substanz, z. B. Carbamazepin, Röntgen-kontrastmittel) | mg/L | 0,0001a | 0,0001a | 0,0001a |  |

a: vorgeschlagene Werte

Tabelle 14: Vorgeschlagene Grenzwerte für behandeltes Abwasser zur Wiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung ([WHO (2006)](#_ENREF_84))

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | EU-Richtlinien (Zypern nach [Yiannakou (2012)](#_ENREF_90)) mg/L | WHO – Empfehlung (A1.1 & A1.2)mg/L |
| pH | 6,5 – 8,5 | 6,5 – 8 |
| Elektr. Leitfähigkeit | 1.700 | < 0,7 dS/cm |
| SAR |  | < 3 |
| Aluminium |  | 5 |
| Arsen |  | 0,1 |
| Beryllium |  | 0,1 |
| Blei | 0,15 | 5 |
| Cadmium | 0,01 | 0,01 |
| Chlorid | 300 | < 4 |
| Chrom | 0,1 | 0,1 |
| Eisen |  | 5 |
| Fluorid |  | 1 |
| Kobalt |  | 0,05 |
| Kupfer | 0,1 | 0,2 |
| Lithium |  | 2,5 |
| Mangan |  | 0,2 |
| Molybdän |  | 0,01 |
| Natrium |  | <3 (Oberflächenbewässerung, keine Einschränkungen) |
| Nickel | 0,2 | 0,2 |
| Quecksilber | 0,005 |  |
| Selen |  | 0,02 |
| Zinn |  | nicht definiert |
| Wolfram |  | nicht definiert |
| Titan |  | nicht definiert |
| Vanadium |  | 0,1 |
| Zink | 1,0 | 2,0 |
| Nitrat |  | vgl. Gesamt-Stickstoff |
| Stickstoff | 15 | < 5 |
| Sulfat |  | nicht definiert |

Tabelle 15: Maximal zulässige Konzentrationen toxisch wirkender Chemikalien im Boden (EU-Klärschlammrichtlinie ([86/278/EWG 1986](#_ENREF_1)) und [WHO (2006)](#_ENREF_84))

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Parameter | Klärschlammrichtlinie | WHO-Empfehlung |
|  | mg/ kg Trockenmasse | mg/kg |
| Blei | 50-300 | 84 |
| Cadmium | 1-3 | 4 |
| Chrom | nicht definiert | nicht definiert |
| Kupfer | 50-140 | nicht definiert |
| Nickel | 30-75 | 107 |
| Quecksilber | 1-1,5 | 7 |
| Zink | 150-300 | nicht definiert |

Tabelle 16: Anforderungen an kommunales Abwasser für die Einleitestelle ([AbwV (2017)](#_ENREF_2) Anhang 1C)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Probennach Größenklassender Abwasserbehandlungsanlagen** | **Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)** | **Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen(BSB5)** | **Ammoniumstickstoff (NH4-N)** | **Stickstoff gesamt, als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff(Nges)** | **Phosphor, gesamt(Pges)** |
|   | **mg/l** | **mg/l** | **mg/l** | **mg/l** | **mg/l** |
|   | **Qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden-Mischprobe** |
| Größenklasse 1kleiner als 60 kg/d BSB5 (roh) | 150 | 40 | - | - | - |
| Größenklasse 260 bis 300 kg/d BSB5 (roh) | 110 | 25 | - | - | - |
| Größenklasse 3größer 300 bis 600 kg/d BSB5 (roh) | 90 | 20 | 10 | \_ | \_ |
| Größenklasse 4größer 600 bis 6.000 kg/d BSB5 (roh) | 90 | 20 | 10 | 18 | 2 |
| Größenklasse 5größer 6.000 kg/d BSB5 (roh) | 75 | 15 | 10 | 13 | 1 |

Tabelle 17: Anforderungen für die indirekte und direkte Grundwasseranreicherung im Vergleich zu den Grenzwerten der TrinkwV ([Kazner et al. (2012)](#_ENREF_41) nach [Bixio et al. (2006)](#_ENREF_14))

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parameter** | **Einheit** | **Aufbereitungsziel für die indirekte Anreicherung** | **Aufbereitungsziel für die direkte Anreicherung** | **Trinkwasser** |
| pH | - | 7-9 | >6,5 and <9,5 | >6,5 and <9,5 |
| Leitfähigkeit | mS/cm | 0,7 | <0,7 | <2,5 |
| Alkalinität\* | mg/CaCO3/L |  |  |  |
| AFS\* | mg/L |  |  |  |
| COD | mg/L | 70-100 | < 5 | < 5 |
| TOC\* | mgC/L |  |  |  |
| Total N | mgN/L | < 25 | < 25 |  |
| NH4+ | mgN/L | < 0,2 | <0,5 | <0,5 |
| NO2- | mgN/L |  | <0,5 | <0,5 |
| NO3- | mgN/L | < 25 | < 25 | < 11,3 |
| Total P\* | mgP/L |  |  |  |
| PO42- \* | mgP/L |  |  |  |
| SO42- | mgS/L | 30 | < 30 | < 250 |
| As | µg/L | 5 | < 10 | < 10 |
| B | mg/L | 0,2 | < 1,0 | < 1,0 |
| Cd | µg/L | 3 | < 5,0 | < 5,0 |
| Cl- | mg/L | 100 | < 250 | < 250 |
| Cr | µg/L | 25 | < 50 | < 50 |
| Hg | µg/L | 0,5 | < 1,0 | < 1,0 |
| Pb | µg/L | 5 | < 25< 10 in 2013 | < 25< 10 in 2013 |
| Zn\* | µg/L |  |  |  |
| Mikroschadstoffe | µg/L | < 0,1 | stoffspezifisch | stoffspezifisch |
| Faecal koliforme | CFU/100 mL | < 104 | 0 | 0 |
| Faecal streptococ.\* | CFU/100 mL |  | 0 | 0 |
| Helminthova, Giardia | 1/L | < 1 | 0 | 0 |

\* nicht definiert

Tabelle 18: Liste nach GOW bewerteter Stoffe ([UBA 2016b](#_ENREF_75))

| **Substanz** | **GOW** | **Stand** | **Stoffklasse/Verwendung** |
| --- | --- | --- | --- |
| Aciclovir | 0,3 µg/l | 2016 | Arzneimittel |
| AMDOPH | 3,0 µg/l | 2004 | Arzneimittelmetabolit |
| Amidotrizoesäure | 1,0 µg/l | 2008 | Röntgenkontrastmittel |
| AMPH | 3,0 µg/l | 2004 | Arzneimittelmetabolit |
| Azithromycin | 0,3 µg/l | 2016 | Arzneimittel |
| Benzotriazol | 3,0 µg/l | 2010 | Korrosionschutz |
| Candesartan | 0,3 µg/l | 2015 | Arzneimittel |
| Carbamazepin | 0,3 µg/l | 2008 | Arzneimittel |
| 2-Chlorethanol | 0,1 µg/l | 2003 | chlorierter Alkohol |
| Clofibrat | 3,0 µg/l | 2003 | Arzneimittel |
| 1,3-Diethyl-1,3-diphenylharnstoff | 0,3 µg/l | 2014 | Sprengstoffbestandteil |
| 1,2-Dihydro-1,5-dimethylpyrazol-3-on (DP) | 3,0 µg/l | 2004 | Arzneimittelmetabolit |
| 10,11-Dihydroxy-10,11–dihydro- carbamazepin | 0,3 µg/l | 2015 | Arzneimittelmetabolit |
| 2,4-Di-tertiär-butylphenol | 3,0 µg/l | 2010 | alkyliertes Phenol |
| Diclofenac | 0,3 µg/l | 2008 | Arzneimittel |
| Dimethylsilandiol (DMSD) | 3,0 µg/l | 2015 | Synethesenebenprodukt |
| Ethyl N,N-diphenylcarbamat | 0,3 µg/l | 2014 | Sprengstoffmetabolit |
| 6:2 Fluortelomersulfonsäure (H4-PFOS) | 0,3 µg/l | 2015 | Polyfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Gabapentin | 1,0 µg/l | 2015 | Arzneimittel |
| Gabapentinlactam (Gaba-lactam) | 1,0 µg/l | 2015 | Arzneimittelmetabolit |
| Guanylharnstoff | 1,0 µg/l | 2015 | Arzneimittelmetabolit |
| Ibuprofen | 1,0 µg/l | 2008 | Arzneimittel |
| Iopamidol | 1,0 µg/l | 2010 | Arzneimittel |
| Lamotrigin | 0,3 µg/l | 2015 | Arzneimittel |
| Lanthan | 3,0 µg/l | 2015 | chem. Element |
| Metformin | 1,0 µg/l | 2013 | Arzneimittel |
| N-Nitroso-Dimethylamin (NDMA) | 0,01 µg/l | 2007 | Nitrosamin |
| Olmesartan | 0,3 µg/l | 2015 | Arzneimittel |
| Oxipurinol | 0,3 µg/l | 2015 | Arzneimittel |
| Perfluorbutylsulfonsäure | 3,0 µg/l | 2009 | Perfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Perfluorheptansäure | 0,3 µg/l | 2009 | Perfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Perfluorheptenylsulfonsäure | 0,3 µg/l | 2009 | Perfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Perfluorhexansäure | 1,0 µg/l | 2009 | Perfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Perfluorhexylsulfonsäure | 0,3 µg/l | 2009 | Perfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Perfluorpentansäure | 3,0 µg/l | 2009 | Perfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Perfluorpentylsulfonsäure | 1,0 µg/l | 2009 | Perfluorierter Kohlenwasserstoff |
| Phenazon | 0,3 µg/l | 2016 | Arzneimittel |
| Phenobarbital (PB) | 0,3 µg/l | 2009 | Arzneimittel |
| Phosphorsäuretris-(2-chloropropyl)ester | 1,0 µgl | 2008 | Weichmacher |
| Primidon | 3,0 µg/l | 2010 | Arzneimittel |
| Propyphenazon | 0,3 µg/l | 2016 | Arzneimittel |

1. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik [↑](#footnote-ref-2)
2. Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG [↑](#footnote-ref-3)
3. Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung [↑](#footnote-ref-4)
4. Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser [↑](#footnote-ref-5)
5. Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen [↑](#footnote-ref-6)
6. Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist [↑](#footnote-ref-7)
7. Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373) [↑](#footnote-ref-8)
8. Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist [↑](#footnote-ref-9)
9. Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 121 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) geändert worden ist [↑](#footnote-ref-10)
10. Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305) [↑](#footnote-ref-11)
11. Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist [↑](#footnote-ref-12)
12. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die durch Artikel 3 Absatz 4 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist [↑](#footnote-ref-13)
13. Klärschlammverordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist [↑](#footnote-ref-14)
14. Richtlinie [86/278/EWG](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/AUTO/?uri=celex:31986L0278) des Rates vom 12. Juni 1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft [↑](#footnote-ref-15)
15. Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), das zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 26. Mai 2017 geändert worden ist [↑](#footnote-ref-16)
16. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305) [↑](#footnote-ref-17)
17. Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die durch Artikel 2 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. S. 2615) geändert worden ist [↑](#footnote-ref-18)