

WavE-Querschnittsthema

‘Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung’

Jörg E. Drewes
Technische Universität München

Christina Jungfer
DECHEMA

Gliederung

- Ziele für das Querschnittsthema
- Terminologie
- Fact Sheets
- Positionspapiere

Ziele des Querschnittsthemas 'Risikomanagement'

- Einheitliche Risikobewertung und Anwendung standardisierter Verfahren
- Überwachung und Monitoring
- Erhöhung der Akzeptanz einer Wiederverwendung
 - Terminologie
 - Risikomanagement, Kriterien für Bewertung und Behandlung
 - Abgestimmter Dialog

Adäquate Terminologie

Nicht die Herkunft ist entscheidend, sondern die Wasserqualität für die geplante Nutzung!

Nicht empfehlenswert

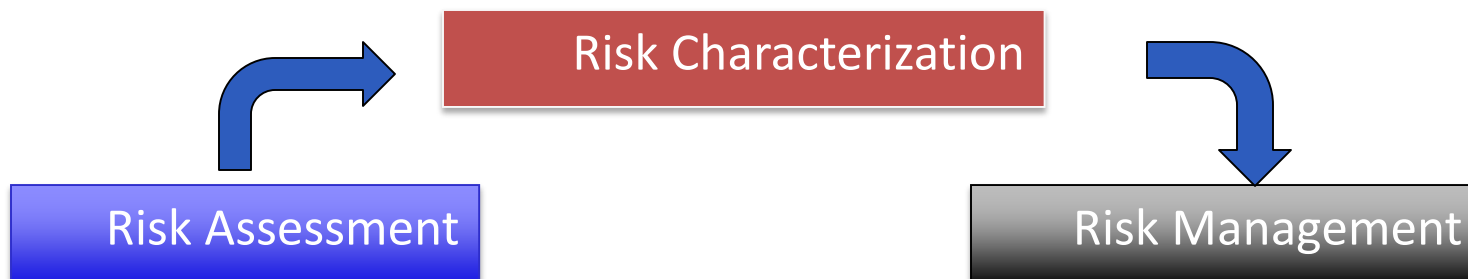
- Abwasser ('wastewater')
- Abwasserwiederverwendung ('wastewater reuse')

Empfehlenswert

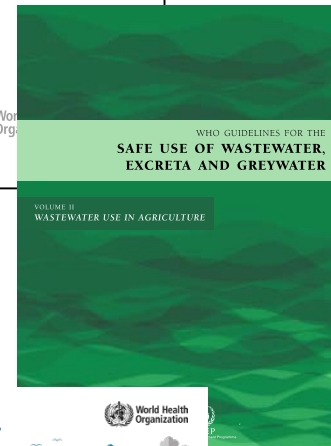
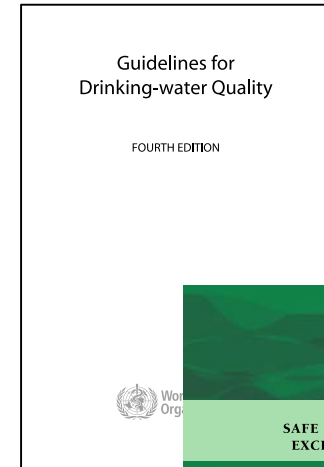
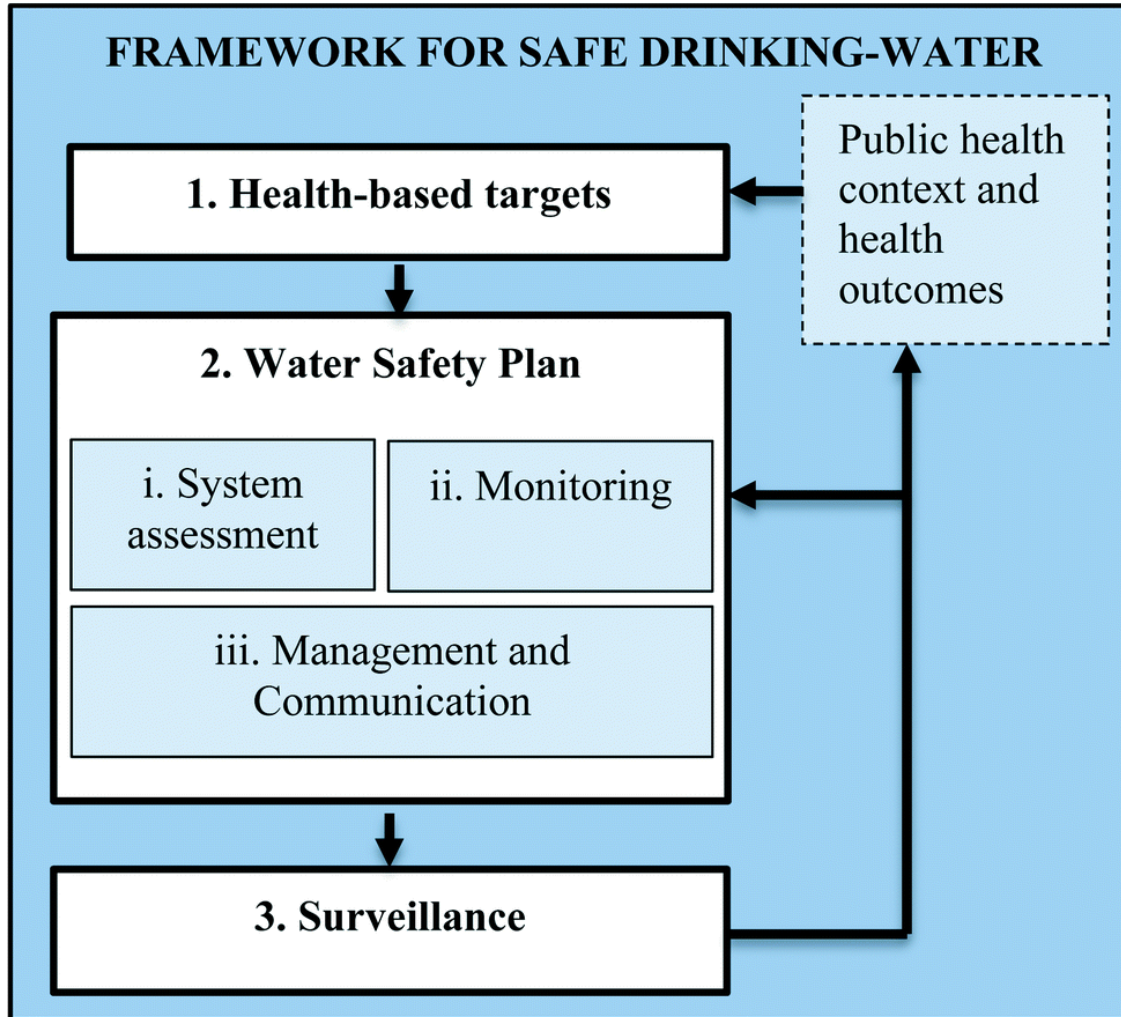
- Wasser Recycling ('water reuse; water recycling')
- Wasserwiederverwendung ('water reuse; water recycling')
- Recyclingwasser

Risikobewertung und -management

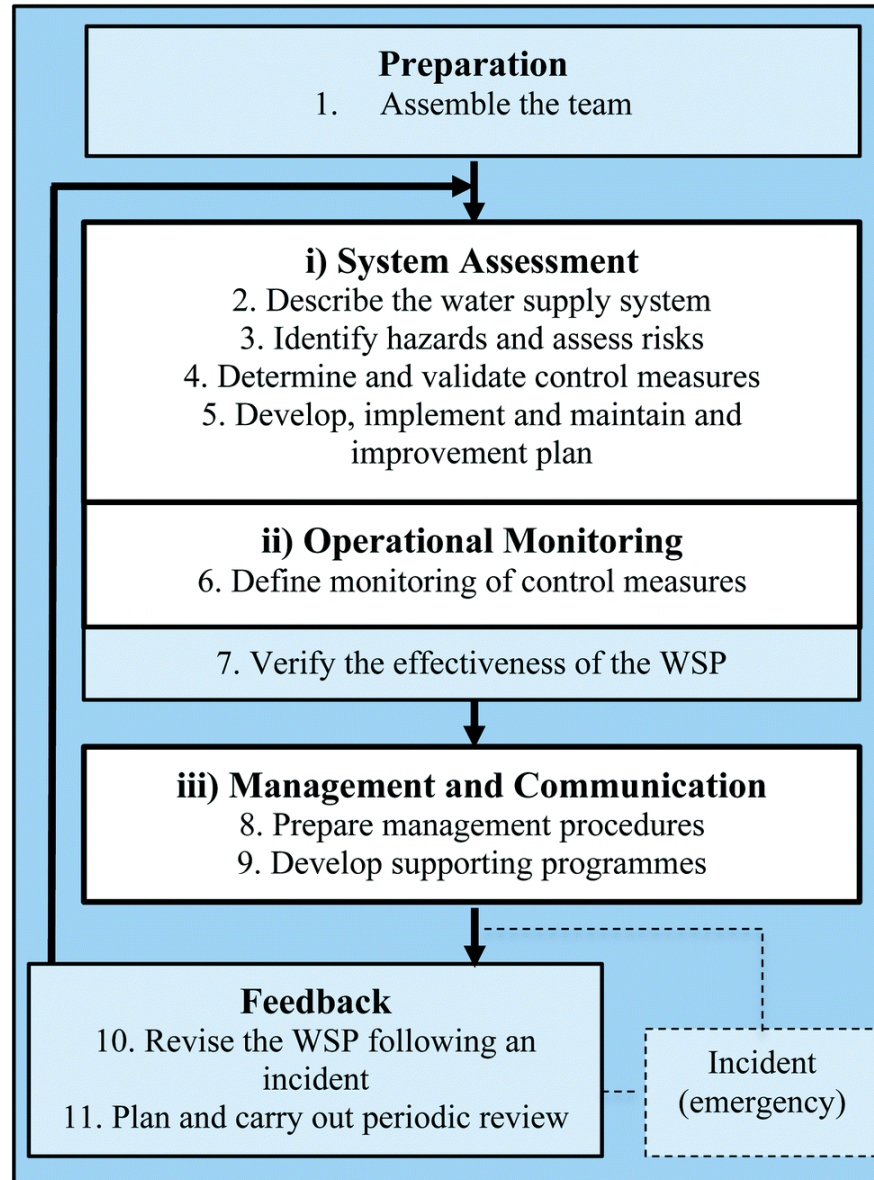
- *Fast jeder Aspekt des Lebens ist mit einem Risiko verknüpft*
- *Potentielle Gefährdung der öffentlichen Gesundheit sowie der Umweltqualität sind die am häufigsten genannten Probleme bei der Implementierung*
- Risikobewertung ist eine wichtige Grundlage zur Einordnung der Akzeptanz einer Wasserwiederverwendung



WHO – Water (Reuse) Safety Plans



WHO – Water Safety Plans



Wiederverwendungspraktiken und Exposition

Indirect potable reuse

Higher quality/greater exposure

Agricultural Reuse on Food Crops

Unrestricted Recreational Reuse

Unrestricted Urban Irrigation Reuse

Restricted Urban Irrigation Reuse

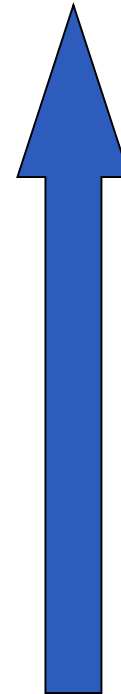
Restricted Recreational Reuse

Industrial Reuse

Environmental Reuse

Agricultural Reuse on Non-food Crops

Lower quality/lesser exposure



Fact Sheets

• Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte

• Relevanz chemischer Stoffe in der Wasserwiederverwendung

• Relevanz mikrobiologischer Parameter in der Wasserwiederverwendung

• Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung

BMF Publikation WavE Zusammenfassung Techniken und Konzepte zur Erhöhung der Wasserwiederverwendbarkeit durch Wasserwiederverwendung und -reinigung

Fach Sheet zum WavE-Gesamtkonzept: Wasserwiederverwendung in der Wasserwiederverwendung

Relevanz chemischer Stoffe in der Wasserwiederverwendung

Einführung
Die chemische Belastung in Deutschland ist seit 1990 um ca. 80% gesunken. Dennoch sind Chemikalien weiterhin ein wesentlicher Bestandteil der Umweltbelastung. Die chemische Belastung durch Industrie- und Haushaltsabfälle ist weiterhin ein Problem, insbesondere in der Wasserwiederverwendung. Chemikalien können die Gesundheit des Menschen und die Umwelt belasten. Daher ist die Reduzierung der chemischen Belastung ein wichtiges Ziel der Wasserwiederverwendung. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die chemische Belastung dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der chemischen Belastung durch Wasserwiederverwendung.

Relevanz chemischer Stoffe für die Wasserwiederverwendung
Chemikalien sind ein wesentlicher Bestandteil der Umweltbelastung. Die chemische Belastung durch Industrie- und Haushaltsabfälle ist weiterhin ein Problem, insbesondere in der Wasserwiederverwendung. Chemikalien können die Gesundheit des Menschen und die Umwelt belasten. Daher ist die Reduzierung der chemischen Belastung ein wichtiges Ziel der Wasserwiederverwendung. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die chemische Belastung dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der chemischen Belastung durch Wasserwiederverwendung.

Organ
Dieses Fact Sheet wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMF) erstellt. Es ist ein Teil des WavE-Gesamtkonzepts. Das WavE-Gesamtkonzept ist ein zentraler Bestandteil der Wasserwiederverwendung in Deutschland. Es umfasst die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die chemische Belastung. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der chemischen Belastung durch Wasserwiederverwendung.

Ziele
Das Ziel dieses Fact Sheets ist es, die Relevanz chemischer Stoffe in der Wasserwiederverwendung zu verdeutlichen. Es soll die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die chemische Belastung darlegen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der chemischen Belastung durch Wasserwiederverwendung.

BMF Publikation WavE Zusammenfassung Techniken und Konzepte zur Erhöhung der Wasserwiederverwendbarkeit durch Wasserwiederverwendung und -reinigung

Fach Sheet zum WavE-Gesamtkonzept: Wasserwiederverwendung in der Wasserwiederverwendung

Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung

Einführung
Spurenstoffe sind chemische Verbindungen, die in der Umwelt in geringen Konzentrationen vorkommen. Sie können die Gesundheit des Menschen und die Umwelt belasten. Daher ist die Reduzierung der Spurenstoffbelastung ein wichtiges Ziel der Wasserwiederverwendung. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

Relevanz von Spurenstoffen für die Wasserwiederverwendung
Spurenstoffe sind chemische Verbindungen, die in der Umwelt in geringen Konzentrationen vorkommen. Sie können die Gesundheit des Menschen und die Umwelt belasten. Daher ist die Reduzierung der Spurenstoffbelastung ein wichtiges Ziel der Wasserwiederverwendung. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

Organ
Dieses Fact Sheet wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMF) erstellt. Es ist ein Teil des WavE-Gesamtkonzepts. Das WavE-Gesamtkonzept ist ein zentraler Bestandteil der Wasserwiederverwendung in Deutschland. Es umfasst die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

Ziele
Das Ziel dieses Fact Sheets ist es, die Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung zu verdeutlichen. Es soll die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung darlegen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

BMF Publikation WavE Zusammenfassung Techniken und Konzepte zur Erhöhung der Wasserwiederverwendbarkeit durch Wasserwiederverwendung und -reinigung

Fach Sheet zum WavE-Gesamtkonzept: Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte

Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte

Einführung
Wasserrecycling-Projekte sind ein wichtiger Bestandteil der Wasserwiederverwendung. Sie ermöglichen die Wiederverwendung von Wasser in verschiedenen Bereichen. Die Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte sind vielfältig. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der chemischen Belastung durch Wasserrecycling-Projekte.

Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte
Wasserrecycling-Projekte sind ein wichtiger Bestandteil der Wasserwiederverwendung. Sie ermöglichen die Wiederverwendung von Wasser in verschiedenen Bereichen. Die Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte sind vielfältig. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der chemischen Belastung durch Wasserrecycling-Projekte.

Parameter	Einheit	Wert	Einheit	Wert
Ammoniumstickstoff	mg/l	10	Ammoniumstickstoff	mg/l
Nitrat	mg/l	10	Nitrat	mg/l
Chlorid	mg/l	10	Chlorid	mg/l
Sulfat	mg/l	10	Sulfat	mg/l
Phosphat	mg/l	10	Phosphat	mg/l
Calcium	mg/l	10	Calcium	mg/l
Magnesium	mg/l	10	Magnesium	mg/l
Zink	mg/l	10	Zink	mg/l
Kupfer	mg/l	10	Kupfer	mg/l
Mangan	mg/l	10	Mangan	mg/l
Fluorid	mg/l	10	Fluorid	mg/l
Bor	mg/l	10	Bor	mg/l
Silber	mg/l	10	Silber	mg/l
Antimon	mg/l	10	Antimon	mg/l
Cadmium	mg/l	10	Cadmium	mg/l
Chrom	mg/l	10	Chrom	mg/l
Cobalt	mg/l	10	Cobalt	mg/l
Eisen	mg/l	10	Eisen	mg/l
Gold	mg/l	10	Gold	mg/l
Platin	mg/l	10	Platin	mg/l
Quecksilber	mg/l	10	Quecksilber	mg/l
Selen	mg/l	10	Selen	mg/l
Strontium	mg/l	10	Strontium	mg/l
Tellur	mg/l	10	Tellur	mg/l
Vanadium	mg/l	10	Vanadium	mg/l
Wismut	mg/l	10	Wismut	mg/l
Zinn	mg/l	10	Zinn	mg/l
Zink	mg/l	10	Zink	mg/l
Zinn	mg/l	10	Zinn	mg/l

BMF Publikation WavE Zusammenfassung Techniken und Konzepte zur Erhöhung der Wasserwiederverwendbarkeit durch Wasserwiederverwendung und -reinigung

Fach Sheet zum WavE-Gesamtkonzept: Wasserwiederverwendung in der Wasserwiederverwendung

Relevanz mikrobiologischer Parameter für die Wasserwiederverwendung

Einführung
Mikrobiologische Parameter sind ein wichtiger Bestandteil der Wasserwiederverwendung. Sie ermöglichen die Wiederverwendung von Wasser in verschiedenen Bereichen. Die Anforderungen an mikrobiologische Parameter sind vielfältig. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an mikrobiologische Parameter dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der mikrobiologischen Belastung durch Wasserwiederverwendung.

Relevanz mikrobiologischer Parameter für die Wasserwiederverwendung
Mikrobiologische Parameter sind ein wichtiger Bestandteil der Wasserwiederverwendung. Sie ermöglichen die Wiederverwendung von Wasser in verschiedenen Bereichen. Die Anforderungen an mikrobiologische Parameter sind vielfältig. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an mikrobiologische Parameter dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der mikrobiologischen Belastung durch Wasserwiederverwendung.

BMF Publikation WavE Zusammenfassung Techniken und Konzepte zur Erhöhung der Wasserwiederverwendbarkeit durch Wasserwiederverwendung und -reinigung

Fach Sheet zum WavE-Gesamtkonzept: Wasserwiederverwendung in der Wasserwiederverwendung

Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung

Einführung
Spurenstoffe sind chemische Verbindungen, die in der Umwelt in geringen Konzentrationen vorkommen. Sie können die Gesundheit des Menschen und die Umwelt belasten. Daher ist die Reduzierung der Spurenstoffbelastung ein wichtiges Ziel der Wasserwiederverwendung. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

Relevanz von Spurenstoffen für die Wasserwiederverwendung
Spurenstoffe sind chemische Verbindungen, die in der Umwelt in geringen Konzentrationen vorkommen. Sie können die Gesundheit des Menschen und die Umwelt belasten. Daher ist die Reduzierung der Spurenstoffbelastung ein wichtiges Ziel der Wasserwiederverwendung. In diesem Fact Sheet werden die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung dargestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

Organ
Dieses Fact Sheet wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMF) erstellt. Es ist ein Teil des WavE-Gesamtkonzepts. Das WavE-Gesamtkonzept ist ein zentraler Bestandteil der Wasserwiederverwendung in Deutschland. Es umfasst die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

Ziele
Das Ziel dieses Fact Sheets ist es, die Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung zu verdeutlichen. Es soll die Anforderungen an die Wasserwiederverwendung in Bezug auf die Spurenstoffbelastung darlegen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung der Spurenstoffbelastung durch Wasserwiederverwendung.

Fact Sheets

- Limitiert auf 2 Seiten; alle Fact Sheets zweisprachig verfügbar (Deutsch/Englisch)
- Allgemein verständlich
- Beispielanwendungen, rechtliche Anforderungen und Referenzen sind als aktive URLs hinterlegt
- Hardcopy und online-Versionen (pdfs) verfügbar
- (Noch) keine Querverweise auf laufende WavE-Projekte
- Nähere Information unter www.bmbf-wave.de
- Verantwortung für Inhalte liegt bei den Autoren

Fact Sheet

- Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte

- Festlegung von Aufbereitungszielen; typische Anwendungen

Landwirtschaftliche Bewässerung	Urbane Nutzungen/ Landschaftsbewässerungen	Grundwasseranreicherung	Industrielle Wiederverwendung
<p>a. Nahrungsmittel für Rohverzehr</p> <p>Monterey County, CA, USA</p>	<p>a. ohne Zugangsbeschränkung</p> <p>Golfplätze, Spanien</p>	<p>a. via direkter Injektion in einen gesättigten Grundwasserleiter</p> <p>Orange County, OCWD, CA, USA</p>	<p>a. Prozesswasser</p> <p>Martorell, Spanien</p>
<p>b. Nahrungsmittel, Verzehr nach Abkochen</p> <p>Griechenland Florida, USA</p>	<p>b. mit Zugangsbeschränkung</p> <p>Denver, CO, USA</p>	<p>b. via Anreicherungsbecken mit Perkolations durch Bodenschichten Versickerungsbecken</p> <p>Montebello Forebay, CA, USA Torrelee, Belgien Israel/Tel Aviv</p>	<p>b. Kühlwasser</p> <p>Terneuzen, Niederlande</p>
<p>c. Futtermittel</p> <p>Wollongong, Australien</p>	<p>c. Toilettenspülung</p> <p>Tokio, Japan</p>		<p>c. Kesselspeisewasser</p> <p>Antwerpen, Belgien Panipat, Indien</p>
<p>d. keine Nahrungsmittel/Energiepflanzen</p> <p>Baumwolle, Griechenland</p>			

Fact Sheet

- Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte

- Bausteine eines Wasserrecycling-Systems



Fact Sheet

- Relevanz chemischer Stoffe

● Relevante chemische Stoffe

- Organik
- Nährstoffe
- Salze
- Schwermetalle



Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“

Relevanz chemischer Stoffe in der Wasserwiederverwendung

Einführung

Das kommunale Abwasser in Deutschland setzt sich i.d.R. aus rund 70 % häuslichem Abwasser und 30 % gewerblichen und industriellen Indirektenleiten zusammen (Seis et al., 2016). Während häusliches Abwasser üblicher Weise eine gleichbleibende Zusammensetzung aufweist, bestimmen im Hinblick auf eine Wiederverwendung die industriellen Direktleiten maßgeblich die stoffliche Zusammensetzung des behandelten Abwassers. Abwässer enthalten daher eine Reihe von chemischen Bestandteilen, die im Falle einer Wasserwiederverwendung in unterschiedlichen Anwendungsfeldern minimiert bzw. entfernt werden müssen, oder die evtl. von Nutzen für die folgende Anwendung sein können. In Bezug auf das Risikomanagement sind die wichtigsten Gefahren für die Umwelt eine Versäuerung (meist agrarwissenschaftlich negative Auswirkungen), Toxizität und Nährstoffungleichgewicht. Aus technischer Sicht können weitere Parameter hinzukommen, wie z.B. Trübung oder Färbung.

Häusliches Abwasser ist durch den hohen Anteil an Organik und Makronährstoffen charakterisiert. Entsprechend dienen die per Abwasserverordnung (AbwV) festgelegten Grenzwerte an der Einleitestelle (CSB, BSB₅, Gesamt-Stickstoff, Gesamt-Phosphor, abfiltrierbare Stoffe) dem Schutz der Gewässer (Sprenger et al., 2017). Je nach der Art einer Wasserwiederverwendung sind daher basierend auf einer Risikobewertung weitere physikochemische und mikrobiologische Parameter festzulegen, einschließlich Anforderungen an die Entfernung von Pathogenen, der Organik, Nährstoffe, Salze und Schwermetalle (JRC, 2017).

Relevante chemische Stoffe bei der Wasserwiederverwendung

Organik

Organische Wasserinhaltsstoffe werden mit den Summenparametern chemischer und biochemischer Sauerstoffbedarf (CSB und BSB) oder gelöster und gesamtorganischer Kohlenstoff (DOC und TOC) erfasst. Gelöste organische Substanzen können als Nährstoff für Mikroorganismen dienen und zu Biofouling führen. Biofouling verursacht insbesondere bei industriellen Anwendungen gravierende Probleme, z.B. in Kühlwassersystemen, Rohrleitungen, Wärmetauschern, etc. Organische Wasserinhaltsstoffe sind häufig die Ursache für die Färbung eines Wassers und können bei technischen Maßnahmen zur Desinfektion durch Verringerung der Desinfektionswirkung oder das Bilden von unerwünschten Nebenprodukten stören, wie z.B. halogenierten Kohlenwasserstoffen bei einer Desinfektion mittels Chlor.

Bei der Nutzung von recyceltem Wasser zur Bewässerung sind Wechselwirkungen zwischen den Wasserinhaltsstoffen und den Kompartimenten Boden, Grundwasser und Pflanze zu berücksichtigen. Eine Zunahme des Gehalts an organischen Substanzen im Boden kann die Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöhen, was einen positiven Effekt für die landwirtschaftliche Nutzung darstellt. Jedoch kann unter bestimmten Umständen die hydraulische Durchlässigkeit der Böden beeinflusst werden, z.B. besteht die Gefahr einer Kolmatation (Verstopfung der Bodenporen) oder Quellung, je nach Zusammensetzung und Beschaffenheit des Bodens.



Abb. 1: Abwasserbehandlung von kommunalen und industriellen Abwässern (© DECHEMA)

Nährstoffe

Bei der Wasserwiederverwendung gibt es Anwendungen, die nicht unbedingt eine Nährstoffelimination benötigen, wie z.B. landwirtschaftliche Bewässerung, die durch die Nährstoffe unterstützt wird. Stickstoff und Phosphor sind Pflanzennährstoffe, die als Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Der Gehalt an Nitrat im Regenwasser muss bei der Düngungsempfehlung und somit bei der Stickstoffdüngung im Zusammenhang mit den Bewässerungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Höhere Nitratkonzentrationen haben eine düngende Wirkung. Sie stellen für das Düngungsregime sogar einen kostensparenden Effekt dar (Pfeiler, 2010).

Eine unausgewogene Nährstoffversorgung kann jedoch zu Mängeln und Toxizitäten bei den Pflanzen führen. Makronährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium in Recyclingwasser können höher sein als der Bedarf der Pflanze oder nicht optimal für die Pflanze bereitgestellt werden. Nährstoffüberschüsse können bei zu intensiver Bewässerung zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers und zur Eutrophierung der Oberflächengewässer führen.

Für eine Wiederverwendung in der Industrie, aber auch bei Lagerung und Transport von Wasser, sind Nährstoffe eher problematisch – anorganische Nährstoffe wie z.B. Ammonium, Nitrat, Sulfat und Phosphat können das Wachstum der mikrobiellen Populationen fördern und zu Biofouling führen. Der Nährstoffgehalt eines Wassers (inklusive organischer Nährstoffe) ist auch bei einer Grundwasseranreicherung zu berücksichtigen. Hohe organische Belastungen können aufgrund eines intensiven Biofilmwachstums zu Kolmatation im Boden und durch Milieuveränderung zur Mobilisierung von im Boden gebundenen Schwermetallen führen.

Salze

Ein Nachteil jeglicher Wasserwiederverwendung ist die potentielle Anreicherung von Salzen im lokalen Wasserkreislauf, da gelöste Ionen bei der konventionellen Abwasserbehandlung nicht entfernt werden. Dabei besteht hauptsächlich ein Gefährdungspotential für die Schutzgüter Boden und Pflanze (in Abhängigkeit von der pflanzen-

Fact Sheet

- Relevanz chemischer Stoffe

- Wichtigkeit chemischer Stoffe für ausgewählte Wiederverwendungsanwendungen

Landwirtschaftliche Bewässerung	Urbane Nutzungen/ Landschaftsbewässerungen	Grundwasseranreicherung	Industrielle Wiederverwendung
a. Nahrungsmittel für Rohverzehr Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●	a. ohne Zugangsbeschränkung Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●	a. via direkter Injektion Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●	a. Prozesswasser Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●
b. Nahrungsmittel, Verzehr nach Abkochen Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●	b. mit Zugangsbeschränkung Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●	b. via Anreicherungsbecken Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●	b. Kühlwasser Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●
c. Futtermittel Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●	c. Toilettenspülung Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●		c. Kesselspeisewasser Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●
d. Energiepflanzen/nachwachsende Rohstoffe Organik ● Nährstoffe ● Salze ● Schwermetalle ●			

(●) = relevant; positiver Effekt (●) = relevant; negativer Effekt (●) = nicht relevant

Fact Sheet

- Relevanz mikrobiologischer Parameter

- Relevante Pathogene
- Ableitung von Aufbereitungszielen
- Relevante gesetzliche/rechtliche Anforderungen



Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“

Relevanz mikrobiologischer Parameter für die Wasserwiederverwendung

Einführung

Jede Form einer geplanten Wasserwiederverwendung erfordert einen vorsorgenden Umgang mit dem Risiko, das von Krankheitserregern (Pathogenen) ausgeht, welche zum überwiegenden Teil fäkalienbütig sind. Dieses gesundheitliche Risiko hängt davon ab, in welchem Maße Menschen in Kontakt mit wiederverwendetem Wasser kommen, welches erhöhte Konzentrationen von Pathogenen beinhaltet. Diese „Exposition“ lässt sich durch Maßnahmen im Umgang mit dem Wasser und den Produkten, für die es verwendet wird, sowie durch den Einsatz weitergehender Wasserbehandlungsverfahren reduzieren. Dabei ist zu berücksichtigen, um welche Pathogene es sich handelt und in welcher Häufigkeit diese auftreten, da dies das jeweilige Infektionsrisiko bestimmt. Für ein adäquates Management des mikrobiologischen Risikos hat die World Health Organization (WHO) eine Vielzahl von Richtlinien und Empfehlungen entwickelt, die häufig auch die Grundlage für gesetzliche Anforderungen und technische Regelwerke für eine Wasserwiederverwendung einzelner Länder bilden. Erwähnenswert ist hier das Konzept des „Water Safety Planning“.

Relevante Pathogene bei der Wasserwiederverwendung

Die Vielzahl von potentiellen Krankheitserregern, die in kommunalem Abwasser auftreten können, lassen sich in die folgenden Gruppen einteilen: Helminthen, Bakterien, Protozoen und Viren. Auch antibiotikaresistente Bakterien kommen in kommunalem Abwasser in erhöhten Konzentrationen vor. Je nach Nutzung des aufbereiteten Abwassers können diese relevant sein, ebenso wie bei der Einleitung von aufbereitetem Abwasser in einen Vorflut. Die Bewertung der Risiken, die hiervon ausgeht, ist Gegenstand von laufenden Forschungsvorhaben. Typischerweise findet man die potentiellen Krankheitserreger in kommunalem Rohabwasser in Konzentrationsbereichen wie sie in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Dabei ist zu beachten, dass diese Konzentrationen durch Krankheitswellen in einem Siedlungsgebiet starken saisonalen Schwankungen unterliegen können. Da es routinemäßig wieder möglich noch zielführend ist, Wasserproben auf die Anwesenheit aller Krankheitserreger zu untersuchen, und der Nachweis vieler Krankheitserreger zudem methodisch schwierig ist, hat sich in der Praxis der Nachweis von bakteriellen Indikatoren durchgesetzt, um den Grad der fäkalen Belastung zu erfassen. Hinsichtlich der Beurteilung des hygienischen Risikos ist nicht nur die Zahl der Krankheitserreger direkt nach erfolgter Aufbereitung wichtig, sondern auch das Wiedererkennungspotential bzw. Infektionspotential. Dieses ist u.a. abhängig von der Zusammensetzung des behandelten Wasser, der Temperatur sowie der Zeit, die es vor der Nutzung gespeichert wird.

Ableitung von Aufbereitungszielen

Angehts des hohen infektiösen Potentials und des gesundheitlichen Risikos, das sich in Abhängigkeit der Exposition bei verschiedenen Anwendungen der Wasserwiederverwendung unterschiedlich darstellt, sind Konzentrationen von Pathogenen im aufbereiteten Wasser anzustreben, die eine Beeinträchtigung der öffentlichen Gesundheit nicht befürchten lassen. Eine Ableitung von Aufbereitungszielen zur Festlegung akzeptabler Konzentrationen orientiert sich daher an gesellschaftlich akzeptierten Restrisiken. Die WHO hat für Pathogene das Konzept der disability-adjusted life years (DALYs)



Abb. 1: Bakterien und Viren in Wasser (© Thinkstock/Stockphoto, Ingram Publishing)

entwickelt, welches auch das Ausmaß der Erkrankung berücksichtigt (WHO, 2004). Als tolerierbares Risiko für Trinkwasser gilt nach der WHO eine Verkürzung der Lebenserwartung um ein Jahr pro 1 Million Einwohner. Aufbauend auf diesen Konzepten erfolgt die Ableitung konkreter Ziele für die Wasseraufbereitung. Aus diesen Risikoabschätzungen ergeben sich sehr niedrige tolerierbare Konzentrationen im Trinkwasser.

Der eindeutige Nachweis von niedrigsten Konzentrationen von Pathogenen in einem aufbereiteten Wasser ist nicht trivial und erfordert Probenahmen aus sehr großen Volumina und einen hohen messtechnischen Aufwand, was für eine regelmäßige Überwachung häufig nicht praktikabel ist. Daher haben sich zwei generelle Konzepte für den Umgang mit Pathogenen im Wasser durchgesetzt. Die erste Strategie fokussiert auf der Festlegung von Grenzwerten (beruhend auf Konzentrationen) für Indikatorbakterien. Die Konzentration wird absolut als „most probable number (MPN)“ bezogen auf kleinere Volumina (d.h. MPN/100 mL oder 1 L) angegeben. Für die Bestimmung dieser Indikatoren gibt es eine Vielzahl standardisierter Verfahren (s. DIN). Da die Messung der Indikatoren in der Regel in größeren Abständen erfolgt, wird die Zuverlässigkeit einer Aufbereitungsanlage

Tab. 1: Konzentrationsbereiche ausgewählter Pathogene bzw. Indikatoren in Rohabwasser (Asano et al., 2007; Halmer et al., 2014)

Organismen	Parameter	Konzentration (pro Liter)
Helminthen	Eier	10 ² – 10 ³
	Bakterien	Gesamtcolliforme Bakterien Enterococci Salmonella
Protozoen	Cryptosporidium Giardia	10 ¹ – 10 ² 10 ¹ – 10 ¹
	Viren	Adenoviren Hepatitis A Viren Noroviren Rotaviren

Fact Sheet

- Relevanz mikrobiologischer Parameter

Landwirtschaftliche Bewässerung	Urbane Nutzungen/ Landschaftsbewässerungen	Grundwasseranreicherung	Industrielle Wiederverwendung
a. Nahrungsmittel für Rohverzehr California Title 22 2015 Europe, JRC 2014 ISO 2015	a. ohne Zugangsbeschränkung Australian 2006 Guidelines EPA 2012 Guidelines DIN 19650 Hygienische Belange von Bewässerungswasser	a. via direkter Injektion in einen gesättigten Grundwasserleiter California Title 22 2015	a. Prozesswasser EPA 2012 Guidelines
b. Nahrungsmittel, Verzehr nach Abkochen Europe, JRC 2014 California Title 22 2015	b. mit Zugangsbeschränkung Australian 2006 Guidelines EPA 2012 Guidelines	b. via Anreicherungsbecken mit Perkolation durch Bodenschichten Versickerungsbecken California Title 22 2015 Australian 2009 Guidelines Israel Regulations	b. Kühlwasser EPA 2012 Guidelines
c. Futtermittel WHO 2006 Guidelines	c. Toilettenspülung EPA 2012 Guidelines		c. Kesselspeisewasser EPA 2012 Guidelines
d. keine Nahrungsmittel/ Energiepflanzen EPA 2012 Guidelines DIN 19650 Hygienische Belange von Bewässerungswasser			

Fact Sheet

- Relevanz von Spurenstoffen

- Welche Spurenstoffe sind relevant in Kommunalabwasser?
- Welche sind relevant in der Wasserwiederverwendung?
- Technologien zur Minimierung von Spurenstoffen
- Überwachung und Monitoring
- Einträge minimieren



Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“

Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung

Einführung

Organische Spurenstoffe anthropogenen Ursprungs treten in der Umwelt in sehr geringen Konzentrationen auf, meist im Bereich Nanogramm (ng/L) bis Mikrogramm (µg/L) pro Liter, wobei die Konzentrationen temporär variieren können. Betrachtet man deren Haupteintragspfade in die Gewässer, so stellen Einleitungen aus Kläranlagen maßgebliche Punktquellen dar (Abb. 1). Die Kontamination von Oberflächengewässern, Grundwasser und Trinkwasser mit Spurenstoffen kann negative Auswirkungen auf Wasser- und Sedimentorganismen, das Ökosystem (ökotoxikologisch) und die menschliche Gesundheit (humantoxikologisch) haben. Die BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa hat in den vergangenen Jahren zum Thema Spurenstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf eine Vielzahl an Ergebnissen für die Praxis erarbeitet (www.bmbf.riskwa.de).

Welche Spurenstoffe sind relevant im Kommunalabwasser?

Zu den Spurenstoffen gehören verschiedenste Stoffgruppen wie z. B. Pharmazeutika und Körperpflegeprodukte, Industrie- und Haushaltschemikalien sowie Flammenschutzmittel, Pestizide und deren Metabolite sowie Transformationsprodukte (TPs). Da man nicht alle Stoffe kennt, bestehen Wissenslücken bezüglich der Wirkungsweise vieler Stoffe, insbesondere auch die der vielen Nebenprodukte sowie Stoffgemische. Daher ist eine generelle Minimierung des Eintrages dieser Chemikalien an den Quellen wünschenswert. Für Einleitungen von Spurenstoffen aus Kläranlagen in Oberflächengewässer müssen Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie für prioritäre Stoffe (2006/11/EG) sowie Umweltqualitätsnormen für Stoffe, die maßgeblich für den chemischen Zustand sind (Richtlinie 2008/105/EG) eingehalten werden.

Welche sind relevant in der Wasserwiederverwendung?

Die Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung hängt davon ab, in welcher Art und Weise das wiederzuverwendende Wasser genutzt werden soll und welche Anforderungen daraus an die weitergehende Aufbereitung des Recyclingwassers erwachsen. In Abhängigkeit des Expositionsszenarios können hierbei unterschiedliche Aufbereitungsverfahren eingesetzt werden, mit denen ein Großteil der Spurenstoffe eliminiert werden kann. Einheitliche Anforderungen für die Entfernung von Spurenstoffen existieren dafür allerdings bisher nicht. Die Tabelle 1 zeigt die unterschiedlichen Wiederverwendungspraktiken für derart aufbereitete Wasser und gibt eine Einschätzung des zu erwartenden Risikos gemäß öko- oder humantoxikologischer Bewertung. Bei Wasserwiederverwendung in der Industrie spielt die Präsenz von Spurenstoffen eine untergeordnete Rolle, abgesehen von der Lebensmittelindustrie. Bei der Grundwasseranreicherung sind persistente Spurenstoffe relevant, denn grundsätzlich sollte ein Stoffeintrag und eine dadurch negative Beeinträchtigung von Trinkwasserressourcen vermieden werden. Um ein öko- und humantoxikologisches Risiko möglichst gering zu halten, sollte aufbereitetes Wasser zur Wiederverwendung in der Grundwasseranreicherung vom Großteil der persistenten Spurenstoffe befreit sein bzw. erfordert eine Nachaufbereitung, die diese Reststoffe entfernt. In der Landwirtschaft kann aus der Nutzung des Wassers zur Erzeugung von Nahrungsmitteln für den menschlichen Verzehr eine humantoxikologische Bedeutung resultieren. Nach adäquater Aufbereitung für eine urbane Landschaftsbewässerung können öko- oder humantoxikologische Beeinträchtigungen jedoch weitestgehend ausgeschlossen werden. Ein spezielles Beispiel für öko- und humantoxikologische Relevanz ist die Aquakultur, insbesondere aufgrund der exponierten Fische, die für den Verzehr gedacht sind.

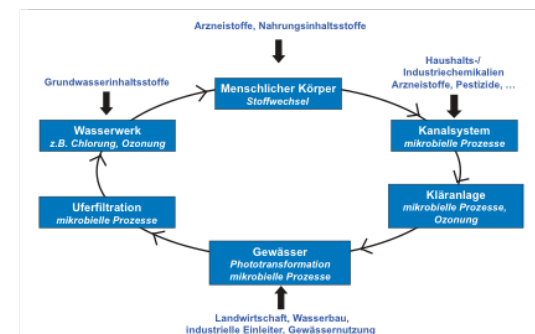


Abb. 1: Spurenstoffe im Wasserkreislauf | Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf; Praxishandbuch (2018)

Fact Sheet

- Relevanz von Spurenstoffen

- Relevanz unter Berücksichtigung von öko- und humantoxikologischer Wirkung

Landwirtschaftliche Bewässerung	Urbane Nutzungen/ Landschaftsbewässerungen	Grundwasseranreicherung	Industrielle Wiederverwendung
a. Nahrungsmittel für Rohverzehr humantoxikologisch ●● ökotoxikologisch ●	a. ohne Zugangsbeschränkung humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●	a. via direkter Injektion in einen gesättigten Grundwasserleiter humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●	a. Prozesswasser humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●
b. Nahrungsmittel, Verzehr nach Abkochen humantoxikologisch ●● ökotoxikologisch ●	b. mit Zugangsbeschränkung humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●	b. via Anreicherungsbecken mit Perkolation durch Bodenschichten humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●	b. Kühlwasser humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●
c. Futtermittel humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●	c. Toilettenspülung humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●		c. Kesselspeisewasser humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●
d. Energiepflanzen/nachwachsende Rohstoffe humantoxikologisch ● ökotoxikologisch ●			

(●) = erhöhtes Risiko möglich, abhängig vom Einzelfall
 (●) = Gegenstand laufender Untersuchungen
 (●) = kein erhöhtes Risiko

EU Minimale Qualitätsanforderungen

- **EU Kommission:**
Wasserqualitätsanforderungen für eine Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft und die künstliche Grundwasseranreicherung
- Entwurf für **'Water Reuse Regulation'** ist in Vorbereitung für EP und Europäischen Rat



JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT

Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge

Towards a water reuse regulatory instrument at EU level

Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, B.M.

2017



EU Minimale Qualitätsanforderungen

- **Stellungnahme Umweltbundesamt**
 - begrüßt nicht-bindende Empfehlungen aber keine Verordnung
 - Für Deutschland keine Notwendigkeit Wasserwiederverwendung zu implementieren; kein Bedarf heute und in der Zukunft für Bewässerungszwecke
 - Bisher definierte Anforderungen für Schutz von Grund- und Oberflächenwässer nicht hinreichend
 - Detaillierungsgrad für Risk Management unzureichend
 - Weitere mikrobiologische Parameter sollten mit aufgenommen werden (Viren, Protozoen)
 - Verhalten von Antibiotikaresistenz und Mikroplastik berücksichtigen
 - Anforderungen für Spurenstoffe (UQNs, GOWs) müssen definiert werden

German Environment Agency

Umwelt 
 Bundesamt

German Environment Agency
 Wörlitzer Platz 1
 06844 Dessau-Roßlau

www.umweltbundesamt.de

Qualitätsanforderungen für Wasser in der Landwirtschaft

EU Minimale Qualitätsanforderungen

- **Stellungnahme BDEW**
 - Europaweite Regelung einer ‘Abwasserwiederverwendung’ wird abgelehnt, wenn dann nur Richtlinie
 - Für das ‘wasserreiche’ Deutschland ist der Vorschlag eine potenzielle Gefährdung des Gesundheitsschutzes
 - Keine Verschlechterung bestehender Standards zum Grundwasser und Bodenschutz sowie der WRRL
 - Grundwasseranreicherung wird abgelehnt
 - Bisherige Anforderungen zur Qualität nicht hinreichend

Wasserwirtschaft im BDEW

bdew
Energie. Wasser. Leben.

BDEW Bundesverband
der Energie- und
Wasserwirtschaft e.V.
Reinhardtstraße 32
10117 Berlin
Telefon +49 30 300 199 0
Telefax +49 30 300 199 3300
E-Mail: info@bdew.de
www.bdew.de

Stellungnahme

zu dem

**AMEC-Bericht und dem geplanten
EU-Legislativvorschlag zu Mindeststan-
dards bei der Abwasserwiederverwen-
dung**

Berlin, 4. August 2017

Positionspapiere

Minimale Qualitätsanforderungen für eine Wasserwiederverwendung

- Wissenschaftlich begründeter Beitrag zur allgemeinen Diskussion
- Basis einer Risikoabschätzung
- Einordnung einer Wasserwiederverwendung für diverse Anwendungen in Deutschland

Schritte für eine Implementierung von Wasserwiederverwendungsprojekten in Deutschland

- Welche Barrieren müssten überwunden werden, um eine Wasserwiederverwendung zu unterstützen?

Danksagung

- Mitglieder des Querschnittsthemas

- Dennis Becker, DECHEMA, TransWave
- Peter Cornel, TU Darmstadt, EPoNa
- Martin Jekel, TU Berlin, TrinkWave
- Daniel Jost, PTKA
- Sebastian Maaßen, ZALF, HypoWave
- Marius Mohr, Fraunhofer IGB, HypoWave
- Andreas Nahrstedt, IWW, MULTI-Reuse
- Andreas Nocker, IWW, MULTI-Reuse
- Engelbert Schramm, ISOE, HypoWave/MULTI-Reuse
- Hans-Christoph Selinka, UBA, TrinkWave
- Claudia Stange, TZW, TrinkWave
- Barbara Zimmermann, IWW, MULTI-Reuse