

Wiederverwendung von behandeltem Abwasser – Was plant die EU?

Reuse of treated wastewater – what are the EU's plans?

MANUELA HELMECKE,
REGINE SZEWZYK

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser wird schon heute in Ländern und Regionen mit Wasserknappheit praktiziert. Gegenwärtig erarbeitet die Europäische Kommission EU-weite Mindestanforderungen für die landwirtschaftliche Bewässerung und Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser. Die Gemeinsame Forschungsstelle der EU (Joint Research Centre, JRC) wurde mit der Erstellung eines technischen Berichts beauftragt, der die Grundlage für einen Regelungsvorschlag darstellen wird. Der aktuelle Entwurf adressiert allerdings bisher nicht ausreichend die Umwelt- und Gesundheitsrisiken, die sich durch im behandelten Abwasser befindliche Krankheitserreger und Schadstoffe ergeben können, und wird somit dem Anspruch, eine sichere Wasserwiederverwendung zu gewährleisten, nicht gerecht. Betrachtet man das schon heute bestehende europäische Regelwerk und den unterschiedlichen Bedarf für die Nutzung von behandeltem Abwasser in den Mitgliedstaaten, erscheint eine verbindliche EU-Regelung für die Wasserwiederverwendung nicht gerechtfertigt.

ABSTRACT

The use of treated wastewater is already practiced in various countries facing water scarcity. Currently the European Commission is working on EU-wide minimum requirements for agricultural irrigation and aquifer recharge with treated wastewater. The Joint Research Centre (JRC) has been tasked with the development of a technical report that will serve as a basis for a regulation proposal. However, the current draft does not yet adequately address environmental and health risks that can result from pathogens and pollutants present in treated wastewater and does therefore not fulfill its claim to ensure safe water reuse. Considering the already existing EU legislation and the different needs of member states to use treated wastewater, a binding EU regulation for water reuse does not seem justified.

EINLEITUNG

Die Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser („water reuse“) steht gegenwärtig sowohl international als auch in der EU weit oben auf der Agenda. So betont der diesjährige Weltwasserbericht „Abwasser, die ungenutzte Ressource“ die Potenziale der Abwassernutzung – als Wasserressource, Nährstoff- und Energiequelle (UN-ESCO 2017). Das UN-Nachhaltigkeitsziel

(sustainable development goal) 6.3 sieht neben einer „beträchtliche[n] Steigerung der Wiederaufbereitung“ eine Verbesserung der „gefährlosen Wiederverwendung weltweit“ vor (UN 2015) und auch die diesjährige Stockholm Water Week widmete sich der Thematik (SIWI 2017).

Innerhalb der EU soll die Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser durch die Festschreibung von Mindestanforderungen gefördert werden (Details s.u.).



Ungeachtet dessen ist die Aufbereitung und Verwendung von Abwasser in einigen Regionen der Welt schon lange gängige Praxis. Mögliche Anwendungen erstrecken sich von der Bewässerung in der Landwirtschaft, in urbanen Bereichen (z.B. Straßenreinigung, Parkbewässerung) über industrielle Anwendungen, die Grundwasseranreicherung zur Speicherung für eine spätere Nutzung oder als Barriere gegen Salzwasserintrusion bis hin zu einer Stützung der Trinkwasserversorgung.

Durch die Nutzung von aufbereitetem Abwasser für Zwecke, die keine Trinkwasserqualität erfordern, können Frischwasserressourcen für qualitativ höherwertige Bedarfe erhalten werden. Am weitesten verbreitet ist die Nutzung von aufbereitetem Kommunalabwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung. Aufgrund der kontinuierlichen Verfügbarkeit von Abwasser stellt diese Wasserquelle vor allem in semi-ariden und ariden

Regionen eine zuverlässige Alternative zum vergleichsweise unzuverlässigen Niederschlag dar und trägt somit zu einer Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion bei.

Eines der führenden Länder in diesem Verfahren ist Israel, wo schon seit den 1950er Jahren Abwasser für eine weitere Nutzung recycelt wird. Rund 75–80 Prozent des Abwassers werden dort aufbereitet und decken über die Hälfte des landwirtschaftlichen Bedarfs (Tal 2013). Auch in den USA, vor allem in Kalifornien, und Australien bestehen langjährige Erfahrungen im Bereich der Wasserrückverwendung für die Bewässerung von Grünflächen und Landwirtschaft sowie der Grundwasseranreicherung (Lazarova et al. 2013). Mit Windhoek, Namibia, besteht seit 1969 ein Beispiel für eine Aufbereitung für Trinkwasserzwecke (WHO 2017).

Innerhalb der EU ist Spanien mit über 500 Millionen Kubikmetern pro Jahr das Land

FOTO
Umweltbundesamt

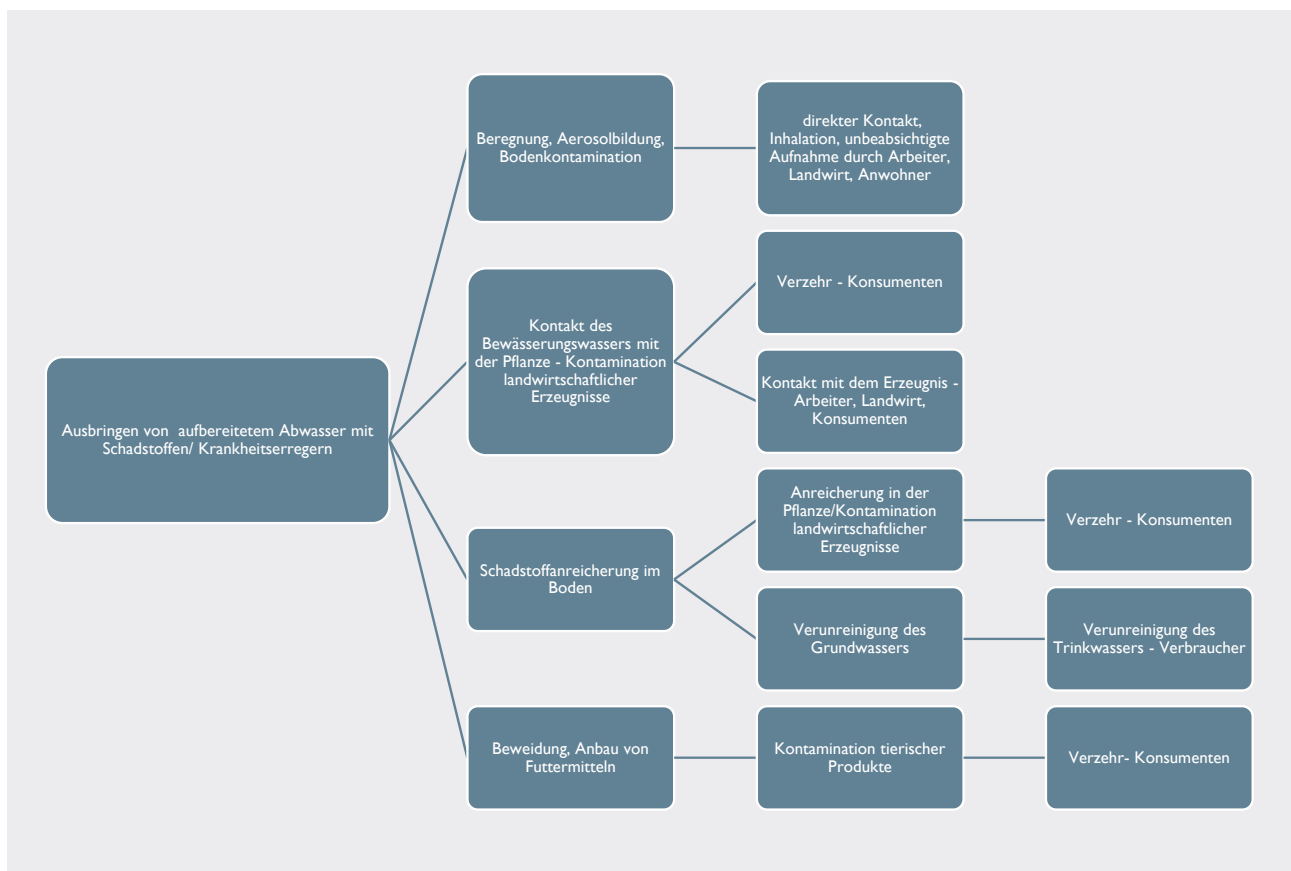
mit der größten Menge an aufbereitetem Abwasser, das einer weiteren Nutzung zugeführt wird (BIO 2015). Ebenso besteht diese Praxis in Portugal, Italien, Griechenland, Zypern und Frankreich – in unterschiedlichem Umfang und für verschiedene Anwendungsmöglichkeiten, die in nationalen Gesetzen beziehungsweise Normen geregelt sind (JRC 2014; Bixio, Wintgens 2006; Lazaro et al. 2013). Darüber hinaus bestehen auch außerhalb der mediterranen Mitgliedsstaaten Erfahrungen. Zum Beispiel werden in Torreele, Belgien, 2,5 Millionen Kubikmeter pro Jahr aufwendig aufbereitetes Abwasser zur Grundwasseranreicherung für die indirekte Trinkwassergewinnung genutzt (BIO 2015; van Houtte et al. 2012).

In Deutschland wird aufbereitetes Abwasser in Wolfsburg und Braunschweig genutzt – eine Praxis die dort historisch gewachsen ist. Heute werden in Braunschweig zwei Drittel des im Klärwerk Steinhof aufbereiteten

Abwassers, circa 15 Millionen Kubikmeter pro Jahr, auf landwirtschaftlichen Flächen verregnet (Abwasserverband Braunschweig 2017). In Wolfsburg wird behandeltes nährstoffreiches Abwasser im Sommer für die Bewässerung und im Winter nährstoffarmes Wasser zur Grundwasseranreicherung genutzt (Wolfsburger Entwässerungsbetriebe 2017). An beiden Standorten werden Energie- und Nutzpflanzen (z.B. Zuckerrüben, Mais, Getreide, Raps) angebaut.

Neben dieser geplanten Wiederverwendung gibt es auch eine sogenannte indirekte, ungeplante Wiederverwendung zum Beispiel in urbanen Wasserkreisläufen bei der Trinkwassergewinnung aus mit Abwasser beeinträchtigten Oberflächenwässern. So wird bei der Uferfiltration (z.B. Berlin, Ruhrgebiet, Hessisches Ried) durch Förderbrunnen am Ufer Rohwasser gefördert, das abwasserbürtige mikrobielle und chemische Schadstoffe enthalten kann (Rice et al. 2015).

ABBILDUNG I
 Mögliche Expositionspfade für Mensch und Umwelt bei landwirtschaftlicher Bewässerung mit aufbereitetem Abwasser (nach Seis et al. 2016).



RISIKEN DURCH WASSER- WIEDERVERWENDUNG

Ungeachtet der möglichen Vorteile birgt die Nutzung von behandeltem Abwasser Risiken für die Umwelt und die menschliche Gesundheit. Schadstoffe und Krankheitserreger, die bei der Abwasseraufbereitung nicht oder unvollständig entfernt werden, werden bei der Bewässerung und Grundwasseranreicherung flächenhaft in die Umwelt ausgebracht und können zu Verunreinigungen des Bodens, des Grundwassers sowie der Oberflächengewässer führen. Durch den Kontakt mit dem Wasser, dem bewässerten Boden oder den bewässerten Produkten sowie durch eine mögliche Beeinträchtigung des Trinkwassers sind das Betriebspersonal, Landwirte, Anwohner, die Öffentlichkeit, Verbraucherinnen und Verbraucher sowie Nutztiere potenziell betroffen (ABBILDUNG 1).

Relevante abwasserbürtige Schadstoffe sind Metalle, Nährstoffe, Salze und ihre Ionen, organische Stoffe (Mikroverunreinigungen) einschließlich der Rückstände von Arzneimitteln, Chemikalien, Bioziden und entstehende Metabolite/Transformationsprodukte. Außerdem finden sich im Abwasser potenzielle Krankheitserreger (Viren, Parasiten, Bakterien) für Mensch und Tier.

Entsprechend des Aufbereitungsniveaus unterschieden sich die resultierenden Risiken für Umwelt und Gesundheit. Die in Deutschland übliche Abwasseraufbereitung (3. Reinigungsstufe) ist nicht für die Elimination von organischen Schadstoffen und Krankheitser-

regern optimiert. Unabhängig von einer weiteren Nutzung des behandelten Abwassers bestehen daher Empfehlungen, Kläranlagen, unter anderem solche, die in Gewässer mit sensiblen Nutzungen – wie Badegewässer oder Trinkwasserressourcen – einleiten, mit einer weitergehenden vierten Reinigungsstufe nachzurüsten (UBA 2015).

Auch die Art der Bewässerung (u.a. der Kontakt des Wassers mit der Pflanze, Menge und Dauer der Bewässerung), die Herkunft und Zusammensetzung des Abwassers, ebenso wie Bodeneigenschaften und klimatische Bedingungen haben einen Einfluss auf die Risiken für Umwelt und Gesundheit.

ANFORDERUNGEN FÜR DIE WASSERWIEDER- VERWENDUNG

Um bestehende Risiken für Umwelt und Gesundheit von Mensch und Tier zu verhindern, bestehen internationale (z.B. WHO 2006; ISO 16075) und nationale Regelwerke (z.B. US EPA 2012; NHMRC 2006). Innerhalb der EU haben bisher sechs Mitgliedstaaten Regelungen für die Wasserwiederverwendung erlassen (TABELLE 1) (BIO 2015).

In Deutschland gibt es keine gesetzlichen Vorgaben für die Wasserwiederverwendung. In DIN-Normen sind Toleranzbereiche verschiedener Metalle und Halbmetalle für Bewässerungswasser (DIN 19684-10) und Anforderungen für hygienische Belange von Bewässerungswasser (DIN 19650) festge-

TABELLE 1
Beispiele internationaler Richtlinien und nationaler Regelungen für die Wasserwiederverwendung.

BEREICH	RICHTLINIE/REGELUNG
WHO	Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (2006) Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta (2016) Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water (2017)
ISO	ISO 16075 „Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects“ (Teil 1-4) (weitere in Bearbeitung)
Australien	National Guidelines for water recycling: managing health and environmental risks (NHMRC 2006)
USA	EPA: Guidelines for Water Reuse (2012) Kalifornien: Regulations Related to Recycled Water (2009) (Title 22)
EU	Spanien, Zypern, Italien, Griechenland, Frankreich, Portugal

EIGNUNGSKLASSE (EK)	ANWENDUNG	INTESTINALE ENTEROKOKKEN KOLONIEZAHL PRO 100 ML	E. COLI-KOLONIEZAHL PRO 100 ML
EK 1 ^{1),2)} (Trinkwasser)	alle Gewächshaus und Freilandkulturen	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar
EK 2 ^{1),2),3)}	Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr, öffentliche Parkanlagen	< 100	< 200
EK 3 ^{1),2),3)}	Nicht zum Verzehr bestimmte Gewächshauskulturen, Freilandkulturen für den Rohverzehr (Gemüse und Obst), Gemüse bis zwei Wochen vor der Ernte, Obst und Gemüse zur Konservierung, Grünland oder Grünlandpflanzen bis 2 Wochen vor dem Schnitt oder der Beweidung	< 400	< 2.000
EK 4 ^{3),4)}	Wein und Obstkulturen zum Frostschutz, Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung Futter zur Konservierung bis 2 Wochen vor der Ernte	Abwasser, das mindestens eine biologische Reinigungsstufe erfahren hat.	

- 1) Salmonellen: nicht nachweisbar in 1.000 ml.
- 2) potenziell infektiöse Stadien von Mensch- und Haustierparasiten pro 1.000 ml: nicht nachweisbar (Untersuchung nur bei Verdacht nach Anordnung).
- 3) Wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist, entfällt eine Einschränkung nach hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen.
- 4) Bei der Beregnung muss durch Schutzmaßnahmen sichergestellt werden, dass Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden nehmen.

TABELLE 2
 Beispiele für hygienisch-mikrobiologische Anforderungen an Bewässerungswasser für verschiedene Anwendungen nach DIN 19650 (Auszug).

halten, die auch für Bewässerungswasser aus aufbereitetem Abwasser herangezogen werden können.

Wie auch in entsprechenden Regelwerken anderer Länder, unterscheidet die DIN 19650 Eignungsklassen entsprechend der vorgesehenen Anwendung (siehe **TABELLE 2**) für die hygienisch-mikrobiologischen Anforderungen).

WAS PLANT DIE EU ZUR FÖRDERUNG VON WASSERWIEDERVERWENDUNG?

Bis Ende 2017 möchte die Europäische Kommission (KOM) im Rahmen des Aktionsplans der EU für die Kreislaufwirtschaft (COM(2015)614) EU-weite Mindestanforderungen für die landwirtschaftliche Bewässerung erstellen und – wenn möglich – als verbindliche europäische Verordnung auf den Weg bringen.

Diese Bestrebungen gehen auf den 2012 veröffentlichten „Blueprint für den Schutz der europäischen Wasserressourcen“ zurück, in dem die KOM „Wasserwiederverwendung für Bewässerungs- und industrielle Zwecke“ als Maßnahme zur verbesserten Wasserversorgung in der EU identifizierte (COM (2012)673 final, S.16). In diesem Dokument wurde die Notwendigkeit für gemeinsame EU-Umwelt- und Gesundheitsstandards festgehalten, die dazu beitragen sollen, die Wasserwiederverwendung zu fördern und „potenzielle Hindernisse im freien Verkehr mit Agrarerzeugnissen“ abzubauen (ebd.).

Die Gemeinsame Forschungsstelle der EU (Joint Research Centre, JRC) wurde mit der Erstellung eines technischen Berichts beauftragt, der die Grundlage für einen Regelungsvorschlag für EU-Mindestanforderungen darstellen wird. Der aktuelle Entwurf (JRC 2017) beinhaltet eine Zusammenstellung der minimalen Anforderungen, die sich in den bestehenden Regelwerken der

EU-Mitgliedstaaten oder in internationalen Richtlinien finden. Eine Ableitung von einheitlichen europäischen Anforderungen auf Grundlage einer Risikoabschätzung für den EU-Kontext erfolgte nicht. Im Ergebnis werden für vier Parameter (*E. Coli*, BSB5, Suspendierte Schwebstoffe, Trübung) EU-einheitliche Grenzwerte, differenziert nach Nutzungskategorien, vorgeschlagen. Ein Teil der vorgeschlagenen Grenzwerte entspricht lediglich denen der EU-Kommunalabwasserrichtlinie (91/271/EWG).

Für weitere physiko-chemische Parameter wird eine Festlegung von Anforderungen durch die Mitgliedstaaten infolge eines standortbezogenen Risikomanagementansatzes empfohlen. Allerdings enthält der bisher vorliegende Entwurf keine Vorgaben zur Durchführung einer Risikobewertung und schafft daher keine Grundlage für ein einheitliches vergleichbares Vorgehen. Mit den bisher vorgeschlagenen Anforderungen wird der Bericht dem Anspruch, eine sichere Wasserwiederverwendung zu gewährleisten, nicht gerecht (EFSA 2017; SCHEER 2017; UBA 2017).

Mit Blick auf bestehende EU-Regelungen, den unterschiedlichen Bedarf für die Nutzung von behandeltem Abwasser innerhalb der EU und die verbleibenden Umwelt- und Gesundheitsrisiken ergibt sich die Frage nach dem Mehrwert einer verbindlichen EU-Regelung.

BESTEHENDE RELEVANTE EU-REGELUNGEN

Für den Schutz von Oberflächengewässern und Grundwasser besteht in der EU schon heute ein substanzielles europäisches Regelwerk. Prinzipien und Qualitätsziele zur Vermeidung und Minderung von Schadstoff- und Nährstoffeinträgen ergeben sich aus der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL – 2000/60/EG), der Grundwasserrichtlinie (GWRL – 2006/118/EG, verändert durch die Richtlinie 2014/80/EU), der Umweltqualitätsnormenrichtlinie (2008/105/EG, verändert durch die Richtlinie 2013/39/EU), der Kommunalabwasserrichtlinie (91/271/EWG), der

Nitratrichtlinie (91/676/EWG) und der Badegewässerrichtlinie (76/160/EWG). Für die Wasserwiederverwendung sind dabei vor allem folgende Regelungen zu beachten:

- das Verschlechterungsverbot für Grundwasser und Oberflächengewässer (Artikel 4 WRRL),
- die EU-weiten Qualitätsnormen sowie die national festgelegten Schwellenwerte für Grundwasser (Anhang I und II GWRL),
- das Verbot einer direkten Einleitung von Schadstoffen des Anhangs VIII der WRRL in das Grundwasser (Artikel 11.3(j) WRRL und Artikel 6 GWRL) – dies beinhaltet unter anderem Stoffe mit karzinogenen oder mutagenen Eigenschaften, solche mit endokriner Wirkung sowie persistente und bioakkumulierende organische toxische Stoffe. Dies ist vor allem bei der direkten Einleitung von behandeltem Abwasser in den Grundwasserkörper zu beachten – eine Ausnahme der Regelung ist nur in sehr begrenzten Fällen möglich.
- die Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen entsprechend Anhang I, Tabelle 1 sowie Tabelle 2 für empfindliche Gebiete der Kommunalabwasserrichtlinie,
- die Regeln der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft (Anhang II) und zu ergreifende Maßnahmen (Anhang III) für die Sicherstellung einer angepassten Düngung entsprechend der Nitratrichtlinie.

Darüber hinaus bestehen im Bereich des Lebensmittelrechts Verordnungen über die Lebensmittelhygiene (853/2004/EG) und zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln (1831/2003/EG) sowie ein Leitfaden zur Eindämmung mikrobiologischer Risiken durch gute Hygiene bei der Primärproduktion von frischem Obst und Gemüse (2017/C 63/01).

KEIN FLÄCHENDECKENDER BEDARF IN DER EU

Während Wasserwiederverwendung in Ländern und Regionen mit Wasserknappheit eine wertvolle alternative Wasserressource darstellen kann, können in Ländern mit ausreichendem Wasserangebot die Risiken, Kosten und der Aufwand für die nötige Infrastruktur und Regelungen den Nutzen übersteigen. Grundsätzlich gebührt Wassereffizienzmaßnahmen der Vorrang zur Verhinderung von Wasserknappheit.

In Deutschland werden gegenwärtig nur 13 Prozent des verfügbaren Wasserdargebots überhaupt genutzt. Nur 1,5 Prozent davon werden für die Bewässerung eingesetzt. Eine Analyse des gegenwärtigen und zukünftigen Bewässerungsbedarfs kommt zu dem Ergebnis, dass kein flächendeckender Bedarf für die Nutzung von behandeltem Abwasser besteht (Seis et al. 2016).

Durch die potenziell im Abwasser verbleibenden Schadstoffe und Krankheitserreger ergeben sich bei der Verwendung von aufbereitetem Abwasser Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt, die in dem oben genannten Entwurf des JRC nicht ausreichend adressiert sind.

Dementsprechend sollte auch in Zukunft jedem Mitgliedstaat die grundsätzliche Entscheidung über den Einsatz der Wasserwiederverwendung und die Möglichkeit zur Festsetzung strengerer Anforderungen vorbehalten bleiben.

RISIKO: KRANKHEITSERREGER

Trotz einer Abwasseraufbereitung können sich Bakterien, Viren und Parasiten im behandelten Abwasser befinden. Das größte Risiko für die menschliche Gesundheit stammt von Pathogenen, die für eine lange Zeit überleben können und schon in kleinen Dosen Krankheiten auslösen können. Dies ist bei einigen Parasiten (z.B. *Giardia*, *Cryptosporidium*) und Viren (z.B. Rota-, Norovirus) der Fall. Insbesondere Viren stellen auch bei der Grundwasseranreicherung eine bedeutende

Gefährdung für die menschliche Gesundheit dar. Die Entfernung von Viren in der Bodenpassage ist aufgrund ihrer geringen Größe stark von den Standortfaktoren abhängig.

In den bestehenden Regelungen (TABELLE 1) für Wasserwiederverwendung ist *Escherichia coli* ein gängiger mikrobieller Parameter für die Bewertung der Wasserqualität. Allerdings genügt *E. coli* aufgrund der geringen Persistenz (vor allem bei Desinfektionsmaßnahmen) und der vergleichsweise geringen Überlebensfähigkeit im Boden und in Gemüse nicht als Indikator für die sichere Wasserwiederverwendung.

Zur Gewährleistung des Gesundheitsschutzes ist auch ein Monitoring oder zumindest eine Risikoabschätzung für Viren und Protozoen nötig. Wenn Desinfektion oder Filtration bei der Wasseraufbereitung zum Einsatz kommen, bedarf es einer Berücksichtigung von Indikatoren für Protozoen (z.B. *Clostridium perfringens*) beziehungsweise Viren (z.B. somatische Coliphagen oder F-spezifische Phagen) in Ergänzung zu *E. coli*, um die Aufbereitungsleistung zu bewerten.

RISIKO: MIKROVERUNREINIGUNGEN

Nicht alle Mikroverunreinigungen, wie zum Beispiel Arzneimittelrückstände, werden in konventionellen Kläranlagen effektiv entfernt, können aber schon in geringen Konzentrationen (einige Mikro- bis Nanogramm pro Liter) negative Auswirkungen für die aquatische Umwelt hervorrufen. Durch die Verwendung von behandeltem Abwasser können Stoffe über die Bodenpassage in das Grundwasser gelangen und dort eine potenzielle Gefährdung für das Trinkwasser darstellen (z.B. Heberer, Adam 2004; Christou et al. 2017).

Besonders besorgniserregend sind dabei Substanzen, die persistent, bioakkumulierend und toxisch oder persistent, mobil und toxisch sind, ebenso wie solche, die sehr persistent und sehr bioakkumulierend oder endokrin wirksam sind.

Verschiedene Forschungsergebnisse belegen, dass infolge der Bewässerung mit be-

handeltem Abwasser Rückstände von Arzneimitteln, die während der Bodenpassage nicht absorbiert oder abgebaut werden, das Grundwasser erreichen. Dazu zählen Carbamazepin und Sulfamethoxazol (POSEIDON 2004; Ternes et al. 2007; Avisar et al. 2009). Bei Untersuchungen an den Standorten Braunschweig und Wolfsburg wurden Überschreitungen von einzelstoffspezifischen gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) (v.a. Antiepileptika und Röntgenkontrastmittel) festgestellt (NLWKN 2014 und 2017).

Auch eine Anreicherung von Arzneimitteln in Pflanzen ist durch verschiedene internationale Studien belegt (Shenker et al. 2011; Riemenschneider et al. 2017; Carter et al. 2014). Ein Gesundheitsrisiko durch den Verzehr der Pflanzen mit entsprechenden Rückständen wurde in diesen Untersuchungen bisher nicht erkannt, da die festgestellten Mengen jeweils deutlich unter der medizinisch wirksamen Dosis lagen. Allerdings ist für eine Risikobewertung auch die Berücksichtigung von Kumulation und Mischung verschiedener Rückstände und die toxikologische Relevanz von Metaboliten nötig (Shenker et al. 2011; Riemenschneider et al. 2017; Webb et al. 2003).

Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung sollten Mikroverunreinigungen berücksichtigen – durch ein Monitoring relevanter Indikatorsubstanzen und durch die Ableitung vorbeugender Grenzwerte entsprechend (öko-)toxikologischer Bewertungen. Das Konzept der Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) (UBA 2003), welches im Trinkwasserbereich angewendet wird, kann für eine vorläufige Bewertung neuer Substanzen Orientierung geben.

RISIKO: ANTIBIOTIKARESISTENZEN

Die aquatische Umwelt spielt möglicherweise bei der Entwicklung von Antibiotikaresistenzen eine wichtige Rolle. Aktuelle Studien zeigen, dass antibiotikaresistente Bakterien in Abwasser und von Abwasser beeinflussten Oberflächengewässern zu finden sind (Rizzo et al. 2013; Rodriguez-Mozaz et al. 2015;

Zhang et al. 2014). Auch Antibiotika werden in geringen Konzentrationen in der Umwelt nachgewiesen. Gegenwärtig bestehen noch Unsicherheiten bezüglich des Verbleibs, dem Verhalten und möglichen Auswirkungen der Antibiotika und antibiotikaresistenten Bakterien (Christou et al. 2017).

Es besteht die Sorge, dass es durch die Verwendung von aufbereitetem Abwasser zu einer wachsenden Verbreitung von antibiotikaresistenten Bakterien und Resistenzgenen kommt. Ein entsprechendes Monitoring wäre daher ratsam.

RISIKO: PER- UND POLYFLUORIERTER ALKYLSTOFFE (PFAS)

PFAS weisen Eigenschaften auf, die ihre Eliminierung erheblich erschweren (z.B. Mobilität in Grund- und Oberflächenwässern, Persistenz und erschwerter Abbau in Böden). Mit den bisher bekannten Verfahrensvarianten der Abwasserbehandlung werden kritische Stoffgruppenvertreter der PFAS nicht effizient entfernt (Thompson et al. 2011). Schadensfälle sind nach unkontrollierter Aufbringung von PFAS-haltigen Komposten, Klärschlämmen oder Biomasserückständen und Löschmitteleinsätzen bekannt. Aber auch kontaminiertes Wasser in der Beregnung landwirtschaftlicher Flächen kann zu großräumigen und flächenhaften Bodenverunreinigungen führen, indem langkettige PFAS-Verbindungen an der Bodenmatrix anhaften und dort akkumulieren. Untersuchungen bestätigen zudem eine Bioakkumulation von per- und polyfluorierten Chemikalien in Pflanzen (Blaine et al. 2014) infolge der Bewässerung mit aufbereitetem Abwasser.

Es bedarf Maßnahmen zur konsequenten Minderung/Substitution der PFAS-Belastung in behandelten Abwässern. Abwasser sollte bei Kenntnis einer möglichen PFAS-Belastung als für die Wiederverwendung ungeeignet eingestuft werden.

RISIKO: ÜBERSCHÜSSIGE NÄHRSTOFFE

Mit dem behandelten Abwasser werden auch Nährstoffe ausgebracht. Diese Nährstoffzufuhr über das behandelte Abwasser wird häufig als Vorteil für die landwirtschaftliche Beregnung betrachtet. Vor dem Hintergrund, dass in Deutschland circa 28 Prozent der Grundwassermessstellen, in deren Einzugsgebiet viele landwirtschaftliche Nutzungen vorkommen, den Schwellenwert für Nitrat von 50 Milligramm je Liter überschreiten (BMUB, BMEL 2016), ist ein Eintrag zusätzlicher Nährstoffe aber bedenklich.

Bei Einhaltung der in der deutschen Abwasserverordnung festgeschriebenen Anforderungen¹ an die Konzentrationen von Stickstoff und Phosphor im Kläranlagenablauf, können die im Bewässerungswasser verbleibenden Nährstoffe circa 10 Prozent des Nährstoffbedarfs der Pflanzen decken (Seis et al. 2016). Die aufgebrauchten Nährstoffmengen sollten bei der Nährstoffbilanzierung berücksichtigt werden. Bei einem Verzicht auf die Stoffelimination im Klärwerk wird durch die kontinuierliche Nährstofffracht eine zeitlich angepasste, pflanzenbedarfsgerechte Düngung jedoch deutlich erschwert und mögliche Nährstoffüberschüsse können zu Grundwasserbelastungen führen.

Bei Grundwasseranreicherung mit aufbereitetem Abwasser sollten die Schwellenwerte der Grundwasserverordnung (entspricht N_{ges} -Konzentration von ca. 11 mg/l) zum Schutz des Grundwassers vorsorglich schon vor der Infiltration eingehalten werden.

BEDARF EINES SYSTEMATISCHEN UND UMFASSENDEN RISIKOMANAGEMENTSYSTEMS

Die beschriebenen potenziellen Risiken, die sich aus der Verwendung von behandeltem Abwasser ergeben können, variieren aufgrund zahlreicher Faktoren. Dies erfordert ein systematisches Risikomanagement, in dem mögliche Gefahren des geplanten Wasserrückverwendungsvorhabens analysiert

und effiziente Maßnahmen zur Risikominimierung identifiziert werden. Eine mögliche Herangehensweise beschreibt das Handbuch für Sanitation safety planning der Weltgesundheitsorganisation (WHO 2016). Der WHO-Ansatz ermöglicht es, die potenziellen Gefahren in dem System zu analysieren, Risiken einzuschätzen, Maßnahmen für deren Beherrschung zu identifizieren und Monitoringkriterien abzuleiten. Damit kann der Erfolg der Kontrollpunkte für die Reduzierung, Vermeidung oder Entfernung der Gefahren überprüft werden.

Die Beschreibung des Risikomanagements ist unter anderem in den australischen Richtlinien (NHMRC 2006) sehr umfassend ausgeführt. Entsprechend sollte auch für die EU eine Anleitung für die Durchführung der Risikobewertung und des Risikomanagements erarbeitet werden und mit einem einheitlichen tolerablen Risikolevel in Einklang stehen, das mit Standards anderer EU-Richtlinien harmonisiert ist.

Neben angemessenen Qualitätsanforderungen bedarf es einer effizienten und zuverlässigen Risikominimierung durch multiple Barrieren an verschiedenen Ansatzpunkten in dem Gesamtsystem. Dieses schließt das Einzugsgebiet, die Wasseraufbereitung, die Wasserspeicherung und -verteilung sowie die landwirtschaftliche Praxis mit ein.

VORSORGE FÜR BODEN- UND GRUNDWASSERSCHUTZ

Böden haben eine bedeutende Funktion für den Rückhalt und Abbau von Schadstoffen und somit für den Grundwasserschutz. Diese Funktionen müssen erhalten werden, um den Durchbruch von Schadstoffen in das Grundwasser, die Anreicherung in Pflanzen sowie Risiken für die Bodenökologie zu vermeiden.

Das natürliche Abbau- und Rückhaltevermögen des Bodens variiert stark entsprechend verschiedener standortspezifischer Faktoren. So können Veränderungen der Redoxbedingungen (z.B. durch Nitrat) bei der Grundwasseranreicherung natürlich vorkommende toxische Stoffe wie Uran mobilisieren.

¹ Für die Größenklassen GK 4 und GK 5 liegen die Grenzwerte für Gesamt-Stickstoff N_{ges} bei 18 bzw. 13 mg/l und für Gesamt-Phosphor P_{ges} bei 2 bzw. 1 mg/l (AbwV, 2004).

Verallgemeinernde Annahmen über den Schadstoffabbau im Boden können daher nicht getroffen werden. Eine Risikobewertung und die Ableitung von Anforderungen bedürfen standortspezifischer Untersuchungen, die in der Festlegung maximal tolerabler Frachten verschiedener toxischer Chemikalien sowie regulärem Bodenmonitoring resultieren sollten.

Aufgrund der Abbau- und Rückhalteprozesse im Boden kommt der Bodenpassage bei der Grundwasseranreicherung eine erhebliche Bedeutung zu. Eine Anreicherung ohne Bodenpassage (direkte Injektion) bringt ungleich höhere Risiken mit sich und sollte für Deutschland nicht in Betracht gezogen werden. Dies entspricht dem in der bestehenden EU-Regelung festgeschriebenen Verbot eines direkten Schadstoffeintrags in das Grundwasser.

NOTWENDIGKEIT ANSPRUCHSVOLLER ABWASSERAUFBEREITUNG

Eine Abwasseraufbereitung entsprechend der geltenden Kommunalabwasser-Richtlinie setzt mindestens eine zweite Reinigungsstufe voraus. Dies ist allerdings eindeutig nicht ausreichend für eine sichere Wasserwiederverwendung. Auch mit einer dritten Reinigungsstufe, wie in Deutschland üblich, werden Mikroverunreinigungen und Krankheitserreger nicht ausreichend entfernt. Das so aufbereitete Abwasser würde die Hygieneanforderungen für die Bewässerung von Lebensmitteln entsprechend der DIN 19650 (TABELLE 2) nicht einhalten (Seis et al. 2016).

Daher ist eine weitergehende Abwasserbehandlung nötig, um den Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit zu gewährleisten. Für die Entfernung von Mikroverunreinigungen können Aktivkohle und Ozon zum Einsatz kommen. Verfahren für die Desinfektion umfassen beispielsweise UV-Strahlung, Ozonung und Mikro- sowie Ultrafiltration. Aufgrund von toxischen Desinfektionsnebenprodukten kann Chlorung nicht empfohlen werden. Aber auch bei anderen Desinfektionsverfahren muss die Bildung

von toxischen Transformationsprodukten in die Risikoabschätzung einbezogen werden.

FAZIT

Bei der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser liegen umfangreiche Erfahrungen vor, die den Mehrwert dieser Praxis vor allem in ariden und semi-ariden Regionen belegen. Gesundheits- und Umweltrisiken, die sich durch abwasserbürtige Krankheitserreger und Schadstoffe ergeben können, erfordern anspruchsvolle Anforderungen an die Wasserqualität. Die gegenwärtig auf EU-Ebene geplanten Mindestanforderungen werden in ihrer aktuellen Entwurfsfassung aufgrund der zuvor beschriebenen Aspekte dem Anspruch einer verbindlichen EU-Verordnung nicht gerecht. Zielführender erscheint eine Leitlinie (Guidance), die in Ergänzung zu den bestehenden EU-Regelungen ein harmonisiertes Risikomanagementsystem etabliert, das dem Vorsorgeprinzip folgt und Risikominimierungsmaßnahmen in dem Gesamtsystem adressiert, um eine für Umwelt und Gesundheit sicherere Wasserwiederverwendung zu gewährleisten. Für Regionen ohne Wassermengenprobleme können allerdings die Risiken und Kosten, der Energiebedarf sowie die zusätzlichen Infrastrukturanforderungen für die Wasserwiederverwendung den möglichen Nutzen übersteigen.

Ende Oktober 2017 wird eine Entscheidung des Ausschusses für Regulierungskontrolle der Europäischen Kommission erwartet, ob ein EU-Regelungsinstrument für die Mindestanforderungen angemessen ist und eine Verordnung (oder ein anderes Instrument) auf den Weg gebracht werden soll. ●

LITERATUR

Abwasserverband Braunschweig (2017): Das Braunschweiger Modell. <https://www.abwasserverband-bs.de/was-wir-machen/braunschweiger-modell/> (Zugriff am: 28.08.2017).

- Avisar et al. (2009): Sulfamethoxazole contamination of a deep phreatic aquifer. *Sci. Total Environ.* 407 (14): 4278–4282. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.03.032.
- BIO by Deloitte (2015): Optimising water reuse in the EU – Final report prepared for the European Commission (DG ENV). <http://ec.europa.eu/environment/consultations/pdf/Water%20Reuse.pdf> (Zugriff am: 28.08.2017).
- Bixio D, Wintgens T (Hrsg.) (2006): *Water Reuse System Management Manual: AQUAREC*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxemburg.
- Blaine A C, Rich C D, Sedlacko E M et al (2014): PerS fluoroalkyl Acid Uptake in Lettuce (*Lactuca sativa*) and Strawberry (*Fragaria ananassa*) Irrigated with Reclaimed Water. *Environ. Sci. Technol.* 48 (24): 14361–14368. DOI: 10.1021/es504150h.
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2016): Nitratbericht 2016. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nitratbericht_2016_bf.pdf (Zugriff am: 28.08.2017).
- Carter L J, Harris E, Williams M et al. (2014): Fate and Uptake of Pharmaceuticals in Soil-Plant Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 62 (4): 816–825. DOI:10.1021/jf404282y.
- Christou A, Agüera A, Bayona J M et al. (2017): The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: The knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes - A review. *Water Res.* 2017 Oct 15;123:448–467. DOI: 10.1016/j.watres.2017.07.004. Epub 2017 Jul 3.
- EFSA – Europäische Lebensmittelbehörde (2017): Request for scientific and technical assistance on proposed EU minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge. Technical report. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/sp.efsa.2017.EN-1247/epdf> (Zugriff am: 24.08.2017).
- Heberer T, Adam M (2004): Transport and attenuation of pharmaceutical residues during artificial groundwater replenishment. *Environ. Chem.* 1: 22–5.
- JRC – Joint Research Center (Hrsg.) (2017): Development of minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge. <https://circabc.europa.eu/d/a/workspace/SpacesStore/29cd709e-c696-4914-92de-ff81c5a12d80/JRC%20%20min%20qual%20req%20v%203%203%20%2012th%20JUNE%202017.docx> (Zugriff: 24.08.2017).
- JRC – Joint Research Center (Hrsg.) (2014): *Water Reuse in Europe. Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. DOI: 10.2788/29234.
- Lazarova V, Asano T, Bahri A et al. (Hrsg.) (2013): *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. IWA publishing. London.
- NHMRC – National Health and Medical Research Council (2006): *Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 1)*. NWQMS – National water quality management strategy 21.
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2017): *Regionaler Themenbericht. Rückstände von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln im Grund- und Oberflächenwasser. Wiederholende und ergänzende Untersuchung in Abwasser- bzw. Klärschlammverregnungsgebieten im Raum Braunschweig-Wolfsburg. Grundwasser Band 30*.
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2014): *Regionaler Themenbericht. Arznei- und Röntgenkontrastmittelrückstände im Grundwasser. Untersuchung in Abwasser- bzw. Klärschlammverregnungsgebieten im Raum Braunschweig-Wolfsburg. Grundwasser Band 20*.
- POSEIDON (2004): *Assessment of Technologies for the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse. Detailed Report related to the overall duration*. Project coordinator: Dr. Thomas Ternes. http://undine.bafg.de/servlet/is/2888/Final-Report-POSEIDON-Feb_20051e77.pdf?command=downloadContent&filename=Final-Report-POSEIDON-Feb_2005.pdf (Zugriff am: 28.08.2017).
- Rice J, Via S, Westerhoff P (2015): Extent and Impacts of Unplanned Wastewater Reuse in US Rivers. *Journal of American Water Works Association.* 107 (11): 571–581.
- Riemenschneider C, Seiwert B, Moeder M et al. (2017): Extensive Transformation of the Pharmaceutical Carbamazepine Following Uptake into Intact Tomato Plants. *Environmental Science & Technology.* 51 (11): 6100–6109. DOI: 10.1021/acs.est.6b06485.
- Rizzo L, Manaia C, Merlin C et al. (2013): Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: a review. *Sci. Total Environ.* 447: 345–360.
- Rodriguez-Mozaz S, Charmorro S, Marti E et al. (2015): Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river. *Water Res.* 69: 234–242.
- SCHEER – Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (2017): *Scientific advice on proposed EU minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge*. https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/scheer_o_010.pdf (Zugriff am: 24.08.2017).

Seis W, Lesjean B, Maaßen S et al. (2016): Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung. UBA-Texte 34. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmenbedingungen-fuer-die-umweltgerechte-nutzung> (Zugriff am: 27.08.2017).

Shenker M, Harush D, Ben-Ari J et al. (2011): Uptake of carbamazepine by cucumber plants – A case study related to irrigation with reclaimed wastewater. *Chemosphere*. 82 (6): 905–910. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.10.052.

SIWI – Stockholm International Water Institute (2017): World Water Week 2017. <http://www.worldwaterweek.org/> (Zugriff am: 28.08.2017).

Tal A (2013): Management of transboundary wastewater discharges: Wastewater management in urban communities along the Israeli-Palestinian “border”. In: Megdal S B, Varady R G, Eden S (Hrsg.): *Shared Borders, Shared Waters*: 221–231.

Ternes T A, Bonerz M, Herrmann N et al. (2007): Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany: An option to remove pharmaceuticals and musk fragrances. *Chemosphere* 2007 Jan;66(5): 894–904. Epub 2006 Jul 26. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.06.035

Thompson J, Eaglesham G, Reungoat J et al. (2011): Removal of PFOS, PFOA and other perfluoroalkyl acids at water reclamation plants in South East Queensland Australia. *Chemosphere*. 82 (1): 9–17. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.10.040.

UBA – Umweltbundesamt (2017): Empfehlungen des Umweltbundesamtes für die Entwicklung von EU-Mindestqualitätsanforderungen für Wasserwiederverwendung. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/water-reuse_positionspapier_uba_de.pdf (Zugriff am: 28.08.2017).

UBA – Umweltbundesamt (2015): Positionspapier März 2015, Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/organische_mikroverunreinigungen_in_gewassern_vierte_reinigungsstufe_0.pdf (Zugriff am: 28.08.2017).

UBA – Umweltbundesamt (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 46: 249–25. DOI: 10.1007/s00103-002-0576-7.

UN – United Nations (2015): Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. <http://www.un.org/depts/german/gv-70/a70-l1.pdf> (Zugriff am: 23.08.2017).

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2017): The United Nations World Water Development Report 2017. *Wastewater: The untapped resource*. Paris. https://www.unesco.de/fileadmin/medien/Dokumente/Wissenschaft/WWDR_2017_Full.pdf. Informationen in Deutsch: <https://www.unesco.de/wissenschaft/2017/weltwasserbericht-2017.html> (Zugriff jeweils am: 23.08.2017).

van Houtte E, Cauwenberghs J, Weemaes M et al (2012): Indirect potable reuse via managed aquifer recharge in the Torreele/St. André project. In: Kazner C, Wintgens T, Dillon P (eds.): *Water Reclamation Technologies for Safe Managed Aquifer Recharge*. IWA Publishing. London.

Webb S, Ternes T, Gibert M et al. (2003): Indirect human exposure to pharmaceuticals via drinking water. *Toxicology Letters*. 142 (3): 157–67.

WHO – World Health Organization (2017): Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water. Geneva. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/258715/1/9789241512770-eng.pdf?ua=1> (Zugriff am: 23.08.2017).

Wolfsburger Entwässerungsbetriebe (2017): Wolfsburger Modell. <http://www.wolfsburg.de/newsroom/2015/02/11/17/44/web-wolfsburger-modell> (Zugriff am: 28.08.2017).

Zhang Q, Jia A, Wan Y et al. (2014): Occurrences of three classes of antibiotics in a natural river basin: association with antibiotic-resistant *Escherichia coli*. *Environ. Sci. Technol.* 48 (24): 14317–14325.

KONTAKT

Manuela Helmecke
Umweltbundesamt
Fachgebiet II 2.1 „Übergreifende Angelegenheiten
Wasser und Boden“
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
E-Mail: manuela.helmecke[at]uba.de

[UBA]