

Mindestanforderungen an eine Wasserwiederverwendung: Hinweise aus Sicht der WavE-Forschungsprojekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

Jörg E. Drewes, Dennis Becker, Christina Jungfer, Kerstin Krömer, Marius Mohr, Andreas Nahrstedt, Engelbert Schramm, Martina Winker, Martin Zimmermann

Wasserwiederverwendung, Vorsorgeprinzip, Wasserknappheit, Bewässerung, Grundwasseranreicherung, Risikomanagement

Die EU-Kommission hat im Mai 2018 den Entwurf einer Verordnung veröffentlicht, der erstmalig einheitliche Mindestanforderungen für die Praxis einer Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung in Europa formuliert. Der Vorschlag hat in Deutschland eine kontroverse Diskussion ausgelöst. Diese reicht von der Hinterfragung der Notwendigkeit einer Wiederverwendung überhaupt bis zur grundsätzlichen Zustimmung zu dieser Initiative. Dieser Beitrag verfolgt das Ziel, die laufende Diskussion und anstehende politische Debatte des Entwurfs einer Verordnung zur Wasserwiederverwendung einzuordnen. Darüber hinaus adressiert die Einordnung generelle Anforderungen an eine sichere Wasserwiederverwendung sowie deren Notwendigkeit für Deutschland aus der Sicht laufender Forschungsvorhaben im Rahmen der Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung - WavE“.

Minimum requirements for water reuse: Perspectives from the WavE research projects funded by the Federal Ministry of Education and Research

In May of 2018, the European Commission released a draft regulation for minimum requirements for water reuse targeting various agricultural irrigation practices. This proposal has triggered a controversial debate in Germany. Arguments range from questioning the necessity of a regulation from a German perspective in general to supporting the intent of harmonized requirements for water reuse across Europe in principle. The aim of this paper is to discuss the EU proposal as well as general requirements and the need for water reuse applications in Germany from the perspective of ongoing research projects focusing on various aspects of water reuse under the funding measure „Future-oriented Technologies and Concepts to Increase Water Availability by Water Reuse and Desalination – WavE“ of the German Federal Ministry of Education and Research.

1. Einführung

Wasserknappheit hat die Wasserwirtschaft vor allem in den südlichen Mitgliedsstaaten seit vielen Jahrzehnten nachhaltig geprägt [1]. Heute ist ein Drittel des Gebietes der Europäischen Union ganzjährig durch Wasserstress gekennzeichnet. Die Auswirkungen des Klimawandels werden diese Situation weiter verstärken und Konsequenzen ausgeprägter und länger anhaltenden Trockenperioden sind mittlerweile auch in Mittel- und Nordeuropa deutlich spürbar [2, 3]. Schnellere Temperaturanstiege im Frühjahr erhöhen das Verdunstungspotenzial und beeinflussen damit die Grundwasserneubildungsraten sowie das Abflussregime in Fließgewässern negativ, mit Konsequenzen, die mittlerweile auch in Deutschland vermehrt auftreten [4, 5]. Auch hier ist davon auszugehen,

dass regionale Wasserverknappungen bezüglich Örtlichkeit und Ausmaß zunehmen, was durch das Wachstum von Ballungsräumen, die Ansiedlung von Industrie- und Gewerbestandorten mit wasserintensiven Produktionsprozessen und die Intensivierung der Landwirtschaft weiter verstärkt werden wird (**Bild 1**). Langanhaltende Trockenperioden gerade in den Frühjahrs- und Sommermonaten resultieren in manchen Regionen schon heute in ausgeprägten Nutzungskonflikten für Oberflächengewässer, um den gleichzeitigen Bedarf für die landwirtschaftliche Bewässerung, für Kühl- und Prozesswasser im Energie- und Fertigungssektor, die öffentliche Trinkwasserversorgung sowie die Sicherung von ökologischen Mindestabflüssen zu sichern. Eine eingeschränkte Wasserverfügbarkeit ist daher auch in Deutschland schon heute

regional eine Herausforderung und nicht allein ein Phänomen Südeuropas. (Bild 1)

Diese Veränderung der Wasserressourcenverfügbarkeit hat auch unmittelbar Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Bürger sowie auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und die Wachstumsmöglichkeiten der Mitgliedsstaaten der EU. Um dieser Entwicklung entgegenzutreten, hat sich die EU-Kommission entschlossen, weitreichende Maßnahmen eines integrierten Wassermanagements zu implementieren. Dabei wird die gezielte Steigerung der Wasserwiederverwendung für industrielle Anwendungen, landwirtschaftliche Bewässerung und Grundwasseranreicherung in Europa als ein Eckpfeiler der europäischen 'Circular Economy Policy' gesehen [6-8]. Die wesentliche Zielrichtung dieser Aktivitäten ist es, bestehende Barrieren zu beseitigen, um das Potenzial einer Wasserwiederverwendung im Bereich der landwirtschaftlichen Bewässerung sowie der Grundwasseranreicherung in Europa besser auszuschöpfen.

Im internationalen Vergleich liegt die momentan praktizierte Wasserwiederverwendung innerhalb der EU weit unterhalb ihres möglichen Potenzials [9], obwohl eine Vielzahl von unabhängigen Studien zeigen, dass eine nach dem Stand der Technik praktizierte Wiederverwendung (bestehend aus Risikoanalyse für den einzelnen Standort; validierte, erweiterte Aufbereitungsprozesse nach dem Multibarrieren-Prinzip und geprüfte Betriebs- und Monitoringkonzepte) keine nachteilige Beeinträchtigung für Mensch und Umwelt darstellt, sondern sowohl gegenüber Fernwasserversorgungen (für landwirtschaftliche Bewässerung) über lange Distanzen als auch der Brackwasser- oder Meerwasserentsalzung ökologische, betriebs- und im Einzelfall volkswirtschaftliche Vorteile aufweisen kann [10, 11]. Die Wasserwiederverwendung kann durch einheitliche Anforderungen, die jedoch bisher europaweit fehlen, befördert werden [12]. Die EU-Kommission hat daher im Mai 2018 den Entwurf einer Verordnung publiziert, der erstmalig einheitliche Mindestanforderungen für eine Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung formuliert [13]. Diese Anforderungen spezifizieren für unterschiedliche Anwendungsfelder der landwirtschaftlichen Bewässerung minimale Wasserqualitäten für mikrobielle Parameter, den Umfang eines Monitorings für Routinemessungen sowie Vorgaben für die Validierung von Aufbereitungsprozessen. Diese Anforderungen orientieren sich an internationalen Regelwerken sowie dem Konzept der 'Water Safety Plans' der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Da es sich um minimale Anforderungen handelt, können diese von den einzelnen Mitgliedsstaaten bzw. den zuständigen regionalen Genehmigungsbehörden weiter ausgestaltet werden.

Eine geplante Wasserkreislaufschließung unterscheidet sich deutlich von einer Abwasserbehandlung mit dem Ziel einer Einleitung in ein Gewässer, da weitere Anforderungen an die Wasserqualität, die Wasseraufbereitung, die nachgeschaltete Nutzung sowie an die Überwachung zu stellen sind. Maßgebend für eine sichere Praxis einer Wasserwiederver-



Bild 1: Bewässerungsanlage im Landkreis Gifhorn

wendung sollte dabei die bereitgestellte Wasserqualität sein und nicht die Herkunft des Wassers. Selbstverständlich ist dabei der Tatsache Rechnung zu tragen, dass in einem behandelten kommunalen Abwasser trotz des Einhaltens gesetzlicher Anforderungen für das Einleiten in ein Oberflächengewässer bestimmte Wasserinhaltsstoffe eine direkte Wiedernutzung nicht zulassen. Um Qualitätsanforderungen dauerhaft und sicher zu erfüllen, müssen potenzielle Risiken erkannt, bewertet und wo erforderlich durch entsprechende administrative und/oder technische Barrieren reduziert werden. Diese Qualitätsanforderungen umfassen typischerweise chemische, physikalische und mikrobiologische Parameter. Die erforderliche Qualität von recyceltem Wasser ist daher für die spezifischen Anwendungen zu definieren, entsprechend bereitzustellen und laufend zu überwachen.

Die geplante Wasserwiederverwendung hat in Deutschland gerade im industriellen Bereich eine lange Tradition und einen mittlerweile relevanten Umfang. Als wesentlicher Bestandteil einer Kreislaufwirtschaft können die Nutzung behandelten Abwassers und die Rückgewinnung von Nebenprodukten neue Geschäftsmöglichkeiten eröffnen und dazu beitragen, die Kosten für neue, innovative und angepasste Anlagen zu decken, so dass Energie, Nährstoffe, Metalle und andere Nebenprodukte zurückgewonnen werden können [11]. Daneben sind unter den Herausforderungen des Klimawandels und weiterer Faktoren wie der Urbanisierung auch andere Anwendungen in der landwirtschaftlichen und urbanen Bewässerung, für Kühlwasserzwecke oder für eine künstliche Grundwasseranreicherung denkbar. Die Relevanz von Wasserwiederverwendungspraktiken innerhalb Deutschlands auch als führende Exportnation wird auch durch die

laufende Fördermaßnahme 'Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung - WavE' des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unterstrichen, in der sich momentan 13 Projekte umfassend mit verschiedensten Aspekten einer Wasserwiederverwendung beschäftigen [14].

Der Vorschlag einer Verordnung über die Mindestanforderungen der Europäischen Kommission hat eine berechtigte, zum Teil auch kontroverse Diskussion in der deutschen Wasserwirtschaft ausgelöst. Dies überrascht nicht, denn es liegt in der Natur der Sache, dass die Praxis einer Wasserwiederverwendung mit potenziell negativen Auswirkungen auf diverse Schutzgüter wie der aquatischen Umwelt, der menschlichen Gesundheit, des Grundwassers und Bodens oder auch Unsicherheiten für das Betriebspersonal sowie einer notwendigen Anpassung der behördlichen Überwachung in Verbindung gebracht werden. Mittlerweile haben im Rahmen dieser Diskussion Bundesbehörden und einige Fachverbände der Wasserwirtschaft als auch der Bundesrat offiziell Stellung bezogen. Dieser Beitrag verfolgt das Ziel, die laufende Diskussion und anstehende politische Debatte des Entwurfs einer Verordnung zur Wass-

erwiederverwendung sowie generelle Anforderungen an eine sichere Wasserwiederverwendung, aus der Sicht der laufenden Forschungsvorhaben im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme WavE einzuordnen.

Ausgehend von den gegenwärtigen und zukünftigen Treibern in der Wasserwirtschaft wird die Bedeutung einer Wasserwiederverwendung für denkbare nationale Anwendungen sowie den Exportstandort Deutschland dargestellt. Aufbauend auf den Erfahrungen mit internationalen Wasserwiederverwendungspraktiken und -projekten werden notwendige Anforderungen adressiert, die eine adäquate Wasserrecyclingpraxis definieren und den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt nachhaltig gewährleistet.

2. Bedeutung einer Wasserwiederverwendung für Deutschland

2.1 Bisherige Praxis der industriellen Wasserwiederverwendung in Deutschland

Die Wasserwiederverwendung in Industrie und Gewerbe spielt in Deutschland in einigen Branchen schon heute eine wichtige Rolle. Einige Prozessindustrien, die große Mengen an Wasser benötigen, setzen schon lange auf eine Kreislauf- oder Mehrfachnutzung von Wasser. In vielen Anlagen der Papierindustrie sind Kreislaufführung und Gegenstromführung sowie eine umfangreiche mechanische Kreislaufwasserreinigung Stand der Technik [15]. Auch die Stahlindustrie führt große Mengen an Wasser im Kreislauf, vor allem für Kühlung und Gaswäsche [16]. Ziel ist neben der Reduzierung der Frisch- und Abwasserkosten auch die Rückgewinnung von Ressourcen oder Energie.

Für die chemische Industrie, den größten Wassernutzer in der verarbeitenden Industrie, spielt die Wasserwiederverwendung an deutschen Standorten vor allem für die Kühlung eine Rolle. Für Produktionsprozesse wurden im Jahr 2016 ca. 9 % des eingesetzten Wassers mehrfach genutzt oder im Kreislauf geführt [17]. Treiber für eine weitere Effizienzsteigerung sind z. B. die Nutzung der hohen Wasserqualität von Kondensaten, Abwässern der Vakuumerzeugung oder Kühlwässern angesichts der Salzfreiheit (Kondensate) oder der nutzbaren Temperaturunterschiede. Zum anderen kann eine Rückgewinnung von Inhaltsstoffen (z. B. Lösemittel) Vorteile bieten. Hindernisse für eine Umsetzung einer industriellen Wasserwiederverwendung können zum einen die Wirtschaftlichkeit (z. B. höhere Energiekosten [18]) sein, aber auch die Unternehmensstrukturen (eine Vielzahl von unterschiedlichen Firmen an einem Standort), das Kontaminationsrisiko in einem Chemiepark oder das Management von Konzentraten und Reststoffen.

Je nach Branche, Standort sowie vorhandener Infrastruktur und lokalen Randbedingungen müssen in der Regel individuelle Lösungskonzepte für eine Wasserwiederverwendung erarbeitet werden. Einige Beispiele für schon umgesetzte industrielle Wasserrecyclingprojekte in Deutschland sind in der **Textbox 2.1** aufgeführt.

TEXTBOX 2.1 BEISPIELE INDUSTRIELLER WASSERWIEDERVERWENDUNGSPRAKTIKEN IN DEUTSCHLAND

Zur Senkung des Wasserverbrauchs und der Reduzierung der Frischwasserkosten hat ein deutsches Getränkeunternehmen eine Wasser-Recycling-Lösung für Rückspülwasser aus der Sandfilteranlage implementiert und reduziert so den Wasserverbrauch um 150 m³ pro Woche. Das Wasser entspricht den Vorgaben der deutschen Trinkwasserverordnung [19].

Am DuPont-Standort Hamm-Uentrop mit einer Produktion von ca. 150.000 t hochwertiger Kunststoffe sowie Kunststofffasern und -folien pro Jahr werden bis zu 90 % des Abwassers für die Produktion zurückgewonnen. Die Wasser-Recycling-Lösung erzielt optimale Ablaufwerte und spart pro Jahr ca. 800.000 Euro an Betriebskosten [20].

Der Kosmetik-Konzern L'Oréal betreibt 11 Werke als „Dry Factory“, d. h. ohne Abgabe von Wasser, wovon eines in Deutschland steht. Aufgereinigtes Wasser wird für die Reinigung von Produktionswerkzeugen oder für Kühlprozesse wiederverwendet. Weltweit sind weitere „Dry Factories“ geplant [21].

Bei einem deutschen Hersteller von Keramiken werden aus dem Glasurprozess anfallende Spülwasser so aufbereitet, dass die abgetrennte Glasur wieder zurückgeführt und das Spülwasser im Kreislauf gefahren werden kann. Die dafür eingesetzte Mikrofiltrationsanlage hat eine Leistung von 20 m³/Tag [22].

2.2 Bisherige Praxis der kommunalen Wiederverwendung in Deutschland

Die Wiedernutzung kommunaler Abwässer hat in Deutschland mit der Verbringung städtischer Abwässer auf Rieselfelder eine lange Tradition. Seit Ende des 19. Jahrhunderts wurden beispielsweise in Berlin, Münster, Braunschweig und Freiburg i.Br. Abwässer aus der Stadt gepumpt und auf Felder in der Nähe verteilt. Diese Rieselfelder wurden häufig landwirtschaftlich genutzt. Heutzutage werden in Deutschland nur noch an Standorten in Braunschweig und Wolfsburg größere Mengen gereinigten Abwassers auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verwertet [23]. In Braunschweig und in Wolfsburg wird diese Praxis angewendet, da die lokalen Böden durch ein geringes Wasserhaltevermögen gekennzeichnet sind (siehe Textbox 2.2). Diese historisch gewachsenen Anwendungen der landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung in Wolfsburg und Braunschweig entsprechen jedoch nicht mehr dem internationalen Stand der Technik und werden daher in Abstimmung mit den zuständigen Aufsichtsbehörden entsprechend den heutigen Anforderungen weiterentwickelt (siehe Textbox 2.2).

2.3 Treiber für eine Wasserwiederverwendung in Deutschland

Die Motivation für die Etablierung einer Wasserwiederverwendung an einem Standort ist häufig sehr vielschichtig. Dennoch lassen sich gewisse Treiber identifizieren, die häufig ausschlaggebend für die Etablierung einer Wasserwiederverwendung sind. Wasserrecycling wurde in der Vergangenheit häufig dort praktiziert, wo akuter Wassermangel herrscht, wie in ariden und semiariden Gebieten des Mittelmeerraumes, Nordafrikas, des mittleren Ostens aber auch Australiens oder der USA. Allerdings kann eine Wasserverknappung auch saisonal in moderateren Klimazonen auftreten; Regionen wie Mitteleuropa haben in den letzten Jahrzehnten Trockenperioden von substantieller Dauer erlebt. Dort wo alternative Frischwasserressourcen fehlen oder eine Nutzung nicht umsetzbar ist sowie Wassereinsparpotenziale weitgehend ausgeschöpft sind, kann eine Wasserwiederverwendung aus ökologischen, energetischen und wasserwirtschaftlichen Gründen eine sinnvolle Alternative darstellen. Daneben kann eine adäquat praktizierte Wasserwiederverwendung zu einer Reduktion der stofflichen Belastung in urbanen Wasserkreisläufen führen. Eine Wasserwiederverwendung kann zudem in abflussschwachen oder ressourcenangespannten Gebieten helfen, regionale und/oder saisonale Wasserverknappungen auszugleichen. Einige Beispiele für Regionen in Deutschland, wo diese Nutzungskonflikte zu Überlegungen oder konkreten Umsetzungen von Wasserwiederverwendungspraktiken geführt haben, sind in der Textbox 2.3 aufgeführt.

Neben dieser quantitativen Dimension einer Wasserwiederverwendung, gilt es auch qualitative Aspekte einer Wasserkreislaufschließung zu berücksichtigen. Auch die gegenwärtige Pra-

TEXTBOX 2.2 BEISPIELE KOMMUNALER WASSERWIEDERVERWENDUNGSPRAKTIKEN IN DEUTSCHLAND

In Braunschweig wird das Abwasser der Kläranlage „Steinhof“ (350.000 EW) mechanisch und biologisch bezüglich Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor gereinigt. Die Hälfte des gereinigten Wassers wird auf 2.700 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche verregnet. Es werden hier in erster Linie Mais, Zuckerrüben, Getreide und Raps angebaut. Um die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor zu nutzen, wird in der Vegetationszeit dem Beregnungswasser der ausgefaulte Klärschlamm als Pflanzendünger zugegeben.

Seit Ende der 1930er Jahre wird im Umkreis des Wolfsburger Klärwerkes „Zum Stahlberg“ (ca. 135.000 EW) gereinigtes Abwasser verregnet, aktuell auf 1.500 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche. Auch hier sind die Böden sandig, sodass eine Bewässerung während der Vegetationsperiode sinnvoll ist. Bis 2015 wurde während der Vegetationsperiode in der Kläranlage nur Kohlenstoff eliminiert, die Nährstoffe wurden gemeinsam mit dem Wasser als Dünger verregnet. Im Winter wurden sie in der Kläranlage eliminiert, das Wasser wurde zum Teil zur Anreicherung des Grundwassers in einem Waldgebiet verteilt. Bei Untersuchungen in den letzten Jahren wurden im örtlich für die Trinkwasserversorgung genutzten Grundwasser der Verregnungsgebiete Rückstände von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln nachgewiesen (NLWKN 2017). Mittlerweile wurde in Wolfsburg eine bedarfsgerechte Beregnung etabliert; es gibt Überlegungen eine weitergehende Abwasserreinigung an diesen Standorten einzuführen.

Seit 1987 wird in Nordostniedersachsen/Uelzen gereinigtes Produktionsabwasser aus der Zuckerfabrikation der Landwirtschaft zur Verfügung gestellt. In zwei Speicherbecken des Wasserverbands Uelzen wird 1 Mrd. m³ Wasser, das jährlich im Winterhalbjahr im Uelzener Werk der Nordzucker AG anfällt und anaerob gereinigt wurde, gespeichert und in der Vegetationszeit von der Landwirtschaft zur Bewässerung verwendet [24].

xis der Abwassereinleitung in Oberflächengewässer ist an vielen Standorten mit einer erneuten Nutzung dieses Wassers stromabwärts verbunden. In Deutschland wird dabei bisher auf die Selbstreinigungskraft des Fließgewässers vertraut. Diese stößt jedoch bei einigen Anwendungen dort an ihre Grenzen, wo der Abwasseranteil substantiell ist. Dies betrifft hygienische Parameter als auch das Auftreten erhöhter Konzentrationen von organischen Spurenstoffen. Mit der Einleitung verliert das Abwasser zwar rein rechtlich seinen Charakter, wesentliche Eigenschaften dieses Wasseranteils bestehen jedoch fort. Eine kürzlich

TEXTBOX 2.3 TREIBER FÜR WASSERWIEDERVERWENDUNG IN DEUTSCHLAND

Beispielregion Berlin. Berlin versorgt sich aufgrund fehlender Alternativen weitgehend aus eigenen Trinkwasserressourcen innerhalb des Stadtgebietes. Gleichzeitig erfolgt die Einleitung von Kläranlagenabläufen in abflussschwache Oberflächengewässer der Stadt, die wiederum über induzierte Uferfiltration und künstliche Grundwasseranreicherung das Rückgrat der Trinkwasserversorgung darstellen. Diese partielle Wasserkreislaufschließung wird jedoch so bewirtschaftet, dass die Nutzung von abwasserbeeinträchtigten Oberflächengewässern möglich ist ohne nachteilige Auswirkungen auf die Trinkwasserqualität [25]. Dafür werden auch alternative naturnahe Behandlungsverfahren im Rahmen des BMBF Vorhabens TrinkWave untersucht.

Beispielregion Nordenham/Oldenburg. Der Landkreis Wesermarsch liegt im Nordwesten Niedersachsens an der Weser. Diese Region verfügt über keine eigene Trinkwasserversorgung, da hier ausschließlich salzhaltige Brackwässer im Grund- und Oberflächenwasser zu finden sind. In Nordenham ist eine Vielzahl an wasserintensiven Industrien und Gewerben ansässig. Der Wasserbedarf für Prozesse mit sehr geringen Anforderungen an die Wasserqualität wird so weit wie möglich durch Weserwasser gedeckt. Für alle anderen Prozesse wird das Trinkwasser des Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverbandes (OOWV) genutzt. Dieses Trinkwasser wird in den umliegenden Landkreisen aus Grundwasserressourcen gewonnen, aufbereitet und in die Wesermarsch gefördert. Dies führt insgesamt zu Konkurrenzsituationen bei der Nutzung der Grundwasservorkommen. Darüber hinaus wird die Nutzung von Grund- bzw. Trinkwasserressourcen zu anderen Zwecken als zur örtlichen Trink- und Brauchwasserversorgung in der Öffentlichkeit immer wieder diskutiert und in Frage gestellt. Langfristig sind Versorgungsprobleme bei der Ansiedlung weiterer industrieller oder gewerblicher Unter-

nehmen mit hohem Wasserverbrauch an Standorten wie Nordenham möglich. Daher wird für und an dem Standort Nordenham eine modulare Aufbereitung zur Wasserwiederverwendung entwickelt und pilotiert mit dem Ziel, das Klarwasser der Kläranlage so aufzubereiten, dass es auf den jeweiligen Verwendungszweck der Industriekunden angepasst (Fit-For-Purpose) und somit eine Alternative zur Trinkwasserversorgung aus Grundwasserressourcen ist.

Beispielregion Hessisches Ried. Im Hessischen Ried dient seit Anfang der 1990er Jahre Rheinwasser, das im Wasserkwerk Biebesheim mehrstufig aufbereitet wird, zur Grundwasseranreicherung, aber auch zur Versorgung der Landwirtschaft (im wesentlichen Gemüse und Sonderkulturen). Aufgrund des Klimawandels, aber auch von geplanten Intensitätssteigerungen wird im Hessischen Ried künftig der Bewässerungsbedarf steigen [26], so dass dort alternative Wasserquellen ins Spiel kommen. Nach Erkenntnissen aus dem Projekt HypoWave (**Bild 2**) könnte aus den aufgrund des Grundwasserschutzes künftig um eine weitergehende Stufe ertüchtigten Kläranlagen aufbereitetes Wasser auch an die Landwirtschaft abgegeben werden, sofern es nicht zur Sicherung der Fließgewässer benötigt wird.

Beispielregion Fränkische Trockenplatte. Der Raum Schweinfurt steht stellvertretend für andere Standorte in Unterfranken als eine Region mit äußerst angespannten Wasserressourcen und wachsenden Nutzungskonflikten im Bereich der landwirtschaftlichen Bewässerung, des Bedarfs von Gewerbe und Industrie sowie der öffentlichen Trinkwasserversorgung [27]. In einer Machbarkeitsstudie für den Planungsraum Schweinfurter Trockenplatte werden zur Zeit Optionen einer Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Bewässerung für die Regierung von Unterfranken erarbeitet.



©WavE-Verbundprojekt HypoWave

Bild 2: Hydroponische Salatproduktion auf der KA Hattorf. Im Hintergrund ist die zusätzliche Wasseraufbereitung zu sehen

veröffentlichte Studie des Umweltbundesamtes aufbauend auf den Arbeiten des BMBF-Verbundprojektes TrinkWave hat die Klarwasseranteile für alle Fließgewässer deutschlandweit abgeschätzt [28]. Danach liegen bei mittlerem Niedrigwasserabflüssen (MNQ), die in vielen deutschen Fließgewässern von Mai bis September dominieren, die Klarwasseranteile bei einer Vielzahl von Gewässern bei > 10-20 %. In etlichen Teileinzugsgebieten liegen die Klarwasseranteile über weite Strecken im Bereich von > 20-30 % (z. B. Elbe/Saale, Weser, Mittelrhein). Abschnitte des Mains, der Ems, der Weser und der Havel sowie gerade die rechtsseitigen Zuflüsse des Rheins weisen Klarwasseranteile bei MNQ-Bedingungen von > 30-50 % auf. Da Abwasser in Deutschland vor einer Einleitung i. d. R. nicht desinfiziert wird, sind pathogene Keime auch nach mehreren Tagen noch nachweisbar. Wird ein Fließgewässer mit Klarwasseranteilen von nur 10 % für landwirtschaftliche Bewässerungszwecke genutzt, können An-

forderungen der EU-Kommission für Fäkalindikatoren (*E. coli*) für hochwertige Kulturen im Bewässerungswasser nicht sicher eingehalten werden [29, 30].

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass Wasserkreislaufschließungen schon heute existieren, in Zukunft eher noch zunehmen und es daher adäquate Ansätze für ein Management des Gesamtsystems bedarf. Dabei kann sich eine geplante Wasserwiederverwendung als eine bessere Option erweisen, als kommunales Abwasser in ein schon stark beanspruchtes Oberflächen-gewässer einzuleiten.

2.4 Exportfunktion und Wasserwiederverwendung im internationalen Kontext

Die geplante Wasserwiederverwendung ist seit vielen Jahrzehnten in vielen Ländern ein fester Bestandteil einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung (Textbox 2.4). Führend in Europa ist dabei Spanien, in dem heute mehr als die Hälfte des gesamten Wasserrecyclings in Europa stattfindet [9]. Beispiele für typische Wasserwiederverwendungspraktiken in verschiedenen Ländern finden sich bei [31, 34].

Wird das Wasser für landwirtschaftliche Zwecke wiederverwendet, erfordert der zeitlich unterschiedliche Wasserbedarf der Kulturen Möglichkeiten der Zwischenspeicherung in oberirdischen Speicherbecken oder evtl. auch in Grundwasserleitern [12]. Das Gesamtsystem wird mit Wasserbehandlung, Speicherung, Verteilung und Anwendung vergleichsweise komplex und stellt hohe Anforderungen an seinen Betrieb. Hier bedarf es neuer Formen der Zusammenarbeit, die je nach Exportland auf sehr unterschiedliche historisch-kulturelle wie auch institutionelle Rahmenbedingungen beispielsweise beim Umgang mit Umwelt- und Gesundheitsrisiken treffen. Bleiben die notwendigen betrieblichen wie auch institutionellen Anpassungen im Sinne der Ausgestaltung eines Vorsorgeprinzips aus, kann selbst die beste eingesetzte Technik für eine Wasserwiederverwendung erhebliche Risiken nach sich ziehen [34, 31].

Zeitgemäße Wasserwiederverwendungspraktiken erfordern prozess- und verfahrenstechnische Innovationen sowie den Einsatz neuer Materialien. Dafür werden technologische Stärken benötigt, wie sie zahlreiche der (im Wesentlichen) mittelständischen anlagen- und verfahrenstechnischen Anbieter in Deutschland haben [35]. Trotz teilweise sehr raschen Veränderungen in einzelnen regionalen Märkten (USA, Russland, China) ist die Europäische Union nach wie vor die wichtigste Abnehmerregion für die deutschen Hersteller entsprechender Wasser- und Abwassertechnik geblieben [36].

Schon wegen der hohen Anforderungen an den Gesundheitsschutz muss das Personal befähigt und motiviert sein, verantwortungsvoll zu handeln. Die Exportplattform German Water Partnership weist seit einigen Jahren auf die Notwendigkeit eines entsprechenden „Capacity Development“ für entsprechende Systemlösungen hin; dabei sind institutionelle Entwicklung, Organisationsentwicklung und individuelle Entwicklung als Dreiklang zu betrachten. Hier kann die deutsche Wirtschaft auch mit Betriebsführungsmodellen und auf individueller Ebene

TEXTBOX 2.4 INTERNATIONALE ERFahrungen IN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG

Die größte Umsetzung einer landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung in Europa befindet sich bei Mailand [32]. Seit 2003/2004 behandeln die beiden Kläranlagen Nosedo (1,2 Mio. EW) und San Rocco (1 Mio. EW) das Abwasser aus der Stadt und stellen es zumindest saisonal zur Bewässerung zur Verfügung. Das gesamte Wasser wird im Anschluss an die biologische Reinigung desinfiziert (bis zu 15 m³/s). Dazu wird nach einer vorgeschalteten Sandfiltration in Nosedo Peressigsäure, in San Rocco UV-Strahlung eingesetzt. Nach italienischem Recht darf Bewässerungswasser maximal 10 KBE *E. coli*/100 ml enthalten. Spurenstoffe werden nicht gezielt entfernt. Das behandelte Wasser wird zunächst in ein Netzwerk aus Kanälen und Gräben eingeleitet, aus dem die Flächen über Verregnungsmaschinen bzw. Fluten bewässert werden. Insgesamt werden knapp 30.000 ha Land bewässert, angebaut wird hier Mais, Reis und Getreide. Begrenzt wird die zur Verfügung stehende Wassermenge durch die Notwendigkeit, den minimalen Abfluss eines Vorfluters zu gewährleisten.

Im Norden Namibias werden derzeit die Potenziale der Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung im Rahmen des WavE-Vorhabens EPoNa untersucht [33]. Dazu werden die in der Stadt Outapi bestehenden Klärteiche für kommunales Abwasser ertüchtigt und um praxisnahe Verfahren erweitert (u. a. anaerobe biologische Vorbehandlung, mechanisches Feinsieb, Abauffilter), wodurch Bewässerungswasser wiedergewonnen werden kann, das eine ganzjährige Produktion von Futterpflanzen ermöglicht. Nordnamibia zeichnet sich zum einen durch eine vergleichsweise hohe Bevölkerungsdichte und einen Mangel an verfügbaren Wasserressourcen aus. Zum anderen laufen die Klärteiche während der Regenzeit regelmäßig über, wodurch gesundheitliche Risiken für die Bevölkerung entstehen. Die genannten Gründe erhöhen den Druck auf eine geregelte Wiederverwendung des vorhandenen Wassers.

ne durch eine Stärkung der Ausbildungseinrichtungen in potenziellen Exportländern („capacity to build capacity“) unterstützen [37, 38]. Bei diesen Firmen besteht der Wunsch zur Standardisierung einer Wasserwiederverwendung, auch in Bezug auf die Gesetzes- und Regelwerke. Das BMBF-Verbundprojekt „Exportorientierte Forschung und Entwicklung im Bereich Abwasser – Validierung an technischen Anlagen“ (Expoval) hat einige wichtige Auslegungshinweise gegeben, auch wie sich Technologien zur Wiederverwendung und Hygienisierung an andere Regionen anpassen lassen [39]. Allerdings verdeutlicht der vorgelegte Entwurf der EU-Kommission auch die Notwendigkeit Anforderungen konkreter auszugestalten. Dafür werden in der laufenden BMBF-Fördermaßnahme WavE weitere Konzepte erarbeitet.

3.0 Anforderungen an geplante Wasserwiederverwendungspraktiken

Jede Form einer geplanten Wasserwiederverwendung erfordert einen vorsorgenden Umgang mit den akuten und chronischen Risiken, die von pathogenen Keimen und chemischen Verbindungen ausgehen. Dieses gesundheitliche Risiko hängt davon ab, in welchem Maße Menschen in Kontakt mit Wasser kommen, welches erhöhte Konzentrationen von Pathogenen sowie chemischen Stoffen beinhaltet. Für die Abschätzung dieses Risikos bei einer Wasserwiederverwendung wurde eine Vielzahl von Ansätzen postuliert. Die World Health Organization (WHO) hat dazu federführend ein Konzept vorgelegt, das den Prozess der Risikobewertung in vier Schritte einteilt [40, 41]. Diese Schritte umfassen die Problemidentifikation, eine zugrundeliegende Dosis-Wirkungsbeziehung, eine Expositionsabschätzung und eine konkrete Risikocharakterisierung. Diese Abschätzung muss für mikrobiologische wie für chemische Kontaminanten durchgeführt werden. Das Risikobewertungskonzept der WHO („Water Safety Plans“) wurde von vielen Ländern in gesetzgeberischen Anforderungen und technischen Regelwerken adaptiert und für verschiedene Anwendungen der Wasserwiederverwendung umgesetzt [41]. Dieses Konzept bildet daher auch die Grundlage eines Risikomanagements für Anwendungen innerhalb der Fördermaßnahme WavE. Die Anforderungen an die Aufbereitung sind maßgeblich von der Art der Wasserwiederverwendung abhängig, allerdings sind diese national und international häufig nicht einheitlich geregelt (Beispiele, s. [31]). Zusätzlich liegt (etwa auf EU-Ebene) für den standortspezifischen Gewässerschutz bereits heute ein umfassendes Regelwerk vor [12]. Als zusätzliche Barriere im Sinne des Vorsorgeprinzips fordern siedlungswasserwirtschaftliche Unternehmen einen Verzicht von Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche Bewässerung und von Grundwasseranreicherung in Wasserschutzgebieten.

3.1 Risikomanagement bei der Wasserwiederverwendung

Ein adäquates Risikomanagement bei einer Wasserwiederverwendung setzt sowohl die Kenntnis der Qualität des Rohabwassers als auch die des Betriebs der vorgeschalteten Abwasserbehandlung voraus. Wesentliche Voraussetzungen, um die vorgegebene Qualität von recyceltem Wasser zu garantieren, sind zum einen eine stabil betriebene vorgeschaltete Abwasserbehandlung, eine wirkungsvolle und zielgerichtete weitergehende Wasseraufbereitung sowie eine adäquate Regel- und Messtechnik, die es ermöglicht, die erforderlichen Wasserqualitäten auch bei wechselnden Betriebszuständen sicher und zuverlässig bis zum Endnutzer einzuhalten. Dabei ist zu beachten, dass die Qualitätsanforderungen auch saisonalen Änderungen unterworfen sein können oder verschiedene Anwendungszwecke berücksichtigt werden müssen, z. B. bei der Verwendung als Bewässerungswasser oder der Speicherung von recyceltem Wasser. Grundsätzlich erfordert der Betrieb eines Wasserwiederverwendungssystems eine hohe Kompetenz zur Betriebsführung.

3.2 Kommissionsentwurf der EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung

Die vorgeschlagene EU-Verordnung adressiert die Wasserwiederverwendung alleine für den Anwendungsbereich der Landwirtschaft. Sie sieht vor, dass bei Nutzung von wiederverwendem Wasser die landwirtschaftliche Bewässerung grundsätzlich genehmigungspflichtig wird, nicht auf der Ebene des Landwirts, sondern für den Betreiber der Wasseraufbereitungsanlage. Voraussetzung für dessen Antrag auf Zulassung sind Abschätzungen des Risikos, die die örtlichen Bedingungen einschließen und Pläne zum Risikomanagement, die dem Antrag ebenso beizufügen sind wie die Beschreibung, wie der Betreiber der Aufbereitungsanlage die Mindestanforderungen an die Wasserqualität und an die Überwachung erfüllen wird und welche zusätzlichen Anforderungen sich aus dem Risikoplan ergeben werden (Art. 6 in [13]). Je nach landwirtschaftlicher Nutzung muss das Wasser allgemein festgelegten Minimalanforderungen genügen, die sich wesentlich am Gesundheitsschutz der Konsumenten, aber auch der landwirtschaftlich Beschäftigten orientieren (vgl. Anhang I des Verordnungsentwurfs). Für die Routineüberwachung des aufbereiteten Wassers auf mikrobiologische Parameter werden wöchentliche bzw. zweiwöchentliche Mindesthäufigkeiten (je nach Anwendungsbereich) vorgeschrieben.

Anforderungen an das Risikomanagement werden in Anhang II der Verordnung benannt. Das Auftreten von Schwermetallen, Pestiziden, Desinfektionsnebenprodukten, Arzneimitteln, anderen bedenklichen Stoffen und antimikrobiellen Resistenzen kann evtl. im Einzelfall weitere Maßnahmen nach sich ziehen. Die Ausgestaltung der hier zu treffenden Maßnahmen wird aber nicht weiter operationalisiert, sondern erfolgt individuell (oder evtl. nach zukünftigen nationalen, weitergehenden Regelungen). Wenn alle Genehmigungsbedingungen erfüllt werden, ist die Wasserwiederverwendung zu genehmigen, wobei das erteilte Recht alle fünf Jahre überprüft werden soll.

Die mikrobiologischen Minimalanforderungen an die landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung bauen zunächst auf der Logik auf, die die Weltgesundheitsorganisation und die amerikanische Umweltbundesbehörde vertreten (vgl. [9]). Die Minimalanforderungen sind im Entwurf der EU-Verordnung nicht in den Kontext eines umfassenderen Multibarrierensystems eingebettet, in dessen Risikomanagement selbstverständlich auch Maßnahmen im Einzugsgebiet der Kläranlage vorzusehen sind (z. B. die Identifikation von Indirekteinleitern und dezentrale Maßnahmen zur Vorbehandlung problematischer Teilströme, vgl. [42]). Auf eine Darstellung der Relevanz chemischer Stoffe bei der Wasserwiederverwendung, für die von den WavE-Projekten Mindestanforderungen herausgearbeitet wurden (vgl. [42]), hat die EU-Kommission verzichtet; das wichtige Thema eines adäquaten Salzmanagements wird überhaupt nicht erwähnt. Damit bleiben Mindestanforderungen für chemischen Parameter in der Verordnung extrem blass.

Aufkeimungsrisiken, die bei einer Wasserwiederverwendung mit dem Betrieb von Wasserspeicher- und -verteilungs-

systemen verbunden sein können, werden in der Verordnung ebenso wenig angesprochen wie proaktive Maßnahmen eines Monitorings im Verteilungsnetz. Die Verordnung legt auch nicht fest, an welcher Stelle der Betreiber der Aufbereitungsanlage messen wird. Zudem treffen die angestrebten Formen des betrieblichen Risikomanagements auf sehr unterschiedliche institutionelle Ausgestaltungen zur staatlichen Lebensmittelüberwachung. Innerhalb der EU existieren aktuell sowohl solche institutionellen Ansätze, die wie in Deutschland und Frankreich eine Trennung zwischen Risikobewertung, Risikomanagement und Risikokommunikation vorsehen als auch solche, die alle Schritte zum Umgang mit Risiken in einer Behörde bündeln. Letzteres ist vor allem in den stärker obst- und gemüsebaulich geprägten Staaten Südeuropas der Fall [43].

Diese Defizite im vorgelegten Entwurf unterstreichen die Notwendigkeit ein Regelwerk zu konzipieren, das alle Aspekte der Planung, Ausführung, Implementierung und des Betriebes von Wasserwiederverwendungssystemen adressiert. Auch der Bundesrat hat dies, neben weiteren Gesichtspunkten, in seinem Beschluss vom 21.09.2018 angesprochen [44]. Für die Planung von Wasserwiederverwendungsprojekten sollte ebenso ein ganzheitlicher Ansatz gewählt werden, der neben Investitions- und Betriebskosten auch externe und volkswirtschaftliche Kosten mitberücksichtigt. Trotz der identifizierten Defizite ist mit dem Entwurf der EU-Kommission ein erster Anstoß gemacht, sich diesem Thema proaktiv zu nähern, womit potenzielle Anwendungen in der Zukunft auch in Deutschland möglich würden sowie Technologien und Konzepte der Wiederverwendung für den Export auch deutschen Anforderungen genügen würden. Deutschland sollte daher die Chance nutzen, die notwendigen technischen, regulativen und administrativen Anforderungen für eine Wasserwiederverwendung aktiv mitzugestalten.

4.0 Schlussfolgerungen und Ausblick

In Zukunft kann es auch in Deutschland regional zu Situationen kommen, in der eine Wasserwiederverwendung als eine sinnvolle und nachhaltige alternative Wasserversorgungsoption berücksichtigt und damit ein zur Verfügung stehendes Ressourcenportfolio erweitert werden kann. Wie in diesem Beitrag illustriert, gibt es diesen Bedarf für alternative Versorgungskonzepte in Deutschland schon heute. Nicht zuletzt die langanhaltende Trockenperiode April bis Oktober 2018 hat dies erneut deutlich gemacht. Für eine Vielzahl von Standorten in Europa und in anderen Exportregionen bieten sich entsprechende alternative Lösungen bei Wasserversorgungsengpässen an, für die auch der deutsche Wassersektor einen wichtigen ökologischen und ökonomischen Beitrag leisten kann.

Eine Wasserwiederverwendung, die einem vorsorgenden Gesundheits- und Umweltschutz gerecht wird, baut nicht alleine auf einer konventionellen Abwasserbehandlung nach dem Stand der Technik auf. Die Untersuchungen in den vom BMBF aktuell geförderten WavE-Projekten bestätigen dies und zei-

gen darüber hinaus: Sie benötigt vielmehr umfassende Planungs- und Bewertungskonzepte sowie erweiterte innovative Verfahren einer Wasseraufbereitung (z. B. Membranfiltration, Biofiltration, Desinfektion), die eine Wasserqualität abgestimmt auf die beabsichtigte Anwendung bereitstellen. Diese Qualitätsanforderungen, die typischerweise chemische, physikalische und mikrobiologische Parameter einschließen, müssen für die Art der Anwendung risikobasiert definiert, entsprechend bereitgestellt und laufend überwacht werden.

Die Implementierung lokaler und regionaler Wasserkreislaufschließungen erfordert Anpassungen auf allen Ebenen der Wasserwirtschaft. Diese müssen durch zielgerichtete Forschungsprogramme begleitet werden. Diese Anpassungen bedürfen Zeit, haben aber das Potenzial langfristig zu einer deutlichen Steigerung der Resilienz für eine langfristige und nachhaltige Versorgung. Daher kann Abwarten und das alleinige Vertrauen auf bekannte Lösungen keine Option sein, - die Auswirkungen des Klimawandels erfordern neue Konzepte in der Wasserwirtschaft einschließlich einer Wasserwiederverwendung wo andere Optionen nicht nachhaltig sind.

Danksagung

Die Autoren danken im Namen ihrer WavE-Verbundprojekte (EPoNa (02WAV1401); HypoWave (02WAV1402); MULTI-ReUse (02WAV1403), TrinkWave (02WAV1404)) und der wissenschaftlichen Begleitmaßnahme (TransWavE (02WAV1400)) dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung.

Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Kommission: Report on the Review of the European Water Scarcity and Droughts Policy. COM(2012) 672 final. 2012. Brüssel.
- [2] Forzieri, G. u. a.: Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18 (2014) Nr.1, S. 85-108.
- [3] Forzieri, G. u. a.: Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Clim. Change*, 137 (2016) Nr. 1-2, S. 105-119.
- [4] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft - Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder 2017. 2017. Stuttgart.
- [5] Altmayer, M. u.a.: Strategien zum Umgang mit Niedrigwasser in Zeiten des Klimawandels in Bayern. *gwf Wasser/Abwasser* 158 (2017) Nr. 12.
- [6] Europäische Kommission: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. COM(2015) 614 final. 2015. Brüssel.
- [7] Europäische Kommission: Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Juli 2016, Brüssel. http://ec.europa.eu/environment/water/pdf/Guidelines_on_water_reuse.pdf
- [8] Europäische Kommission: Water Reuse - Environment - European Commission. 2017. <http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm>.
- [9] *Alcalde Sanz, L. und Gawlik, B.*: Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a water reuse regulatory instrument at EU level Réédition. EUR 28962 EN. Pub-

- lications Office of the European Union. 2017. Luxembourg.
- [10] National Research Council: Water Reuse Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater. National Academy of Science. National Academies Press. 2012. Washington, D.C.
- [11] United Nations World Water Assessment Programme: The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. UNESCO. 2017. Paris.
- [12] Becker, D. u. a.: Marktpotenziale der Wasserwiederverwendung - Anforderungen und Kriterien in unterschiedlichen Sektoren und mögliche Zielmärkte für das MULTI-ReUse-Verfahren, 49 (2017). ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung. Frankfurt a.M.
- [13] Europäische Kommission: Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung. COM/2018/337 final. 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=COM:2018:337:FIN>.
- [14] WavE - Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung - WavE. <https://www.bmbf-wave.de/>.
- [15] Lyko, H.: Wassermanagement in der Papier - industrie mit und ohne Membranen. F S Filtr. Sep., 28 (2014) Nr. 4, S. 206-211.
- [16] Track, T. und Kozariszczyk, M.: Industrierwasser 4.0 – Digitalisierung im industriellen Wassermanagement. ProcessNet-Jahrestagung und 33. DECHEMA-Jahrestagung der Biotechnologen. 2018.
- [17] Destatis: Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserentsorgung. 19 (2016) 2.2.
- [18] United Nations: World Water Development Report, Water and energy: Facts and Figures in The United Nations. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1 (2014). Paris.
- [19] Veolia: Wasserrecycling mittels Ultrafiltration. Veolia Berkefeld. <http://www.veoliawatertechnologies.de/info-center/referenzen/wasser-recycling-ultrafiltration-berkefeld-purbbev-veolia.htm>.
- [20] [20] Veolia: „Abwasser-Recycling bei DuPont. Veolia Berkefeld.“ <http://www.veoliawatertechnologies.de/info-center/referenzen/abwasser-recycling-mit-belebtschlamm-ultrafiltration-umkehros-mose-bei-dupont.htm>.
- [21] L'Oréal: L'Oréal Progress Report. CSR Europe. 2017.
- [22] Envirochemie: Villeroy & Boch – Innovative Technologie für die Rückgewinnung von Glasuren aus Spülkonzentraten. <https://envirochemie.com/de/referenzen/?reference=33>.
- [23] Seis, W. u. a.: Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Umweltbundesamt Texte 34 (2016).
- [24] Ostermann, U.: Beregnung in Nordostniedersachsen Anpassungsstrategien an den Klimawandel. In: Wasser, Energie und Umwelt. Springer Fachmedien Wiesbaden. 2017. S. 482-490.
- [25] Rehfeld-Klein, M.: Spurenstoffe in Oberflächengewässern und Rohwässern der Trinkwassergewinnung Berlins – Rahmenbedingungen, Probleme, Maßnahmenplanung. Spurenstoffe in den Gewässern des Hessischen Rieds und Strategien der Eliminierung. 2017.
- [26] Mikat, H., Hessenwasser: Mündliche Mitteilung. 2018.
- [27] Bauer, A.: Niedrigwassermanagement in Unterfranken unter besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Bewässerung. 51. Essener Tagung. Gewässerschutz – Wasser – Abwasser 247 (2018) 25/1-25/15.
- [28] Drewes, J.E. u. a.: Dynamik der Klarwasseranteile in Oberflächengewässern und mögliche Herausforderungen für die Trinkwassergewinnung in Deutschland. UBA-Berichte 59/2918. 2018. Dessau/Roßlau.
- [29] EU Kommission: Guidance document on addressing microbiological risks in fresh fruits and vegetables at primary production through good hygiene. ANTE/10470/2016 (POOL/G4/2016/10470/10470-EN.doc). European Commission. 2017. Brüssel.
- [30] Drewes, J.E. u.a.: Characterization of unplanned water reuse in the EU. Final Report to the European Commission. DG Environment. 2017. Brüssel. http://ec.europa.eu/environment/water/pdf/Report-UnplannedReuse_TUM_FINAL_Oct-2017.pdf.
- [31] Drewes, J.E. u.a.: Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte. Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“. 2018.
- [32] Mazzini, R.: Production of high quality water for agricultural irrigation in Milan. In: Milestones in water reuse: the best success stories. Eds. IWA Publishing London. 2013, S. 375.
- [33] Lackner S. u. a.: Upgrading waste water treatment ponds to produce irrigation water in Namibia. Watersolutions, 1 (2017), S. 82-85, 2017.
- [34] Fuhrmann, T. u. a.: Hinweise zur Wasserwiederverwendung – Vielschichtige Fragestellungen angesichts international zunehmender Relevanz. KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall, 59 (2012) Nr. 1, S. 52--6.
- [35] Sartorius, C. und Schramm, E.: Innovationen: Vorbereiten auf eine nachhaltigere Zukunft. In: Wasser 2050. Mehr Nachhaltigkeit durch Systemlösungen. S. 41-65. Oekom Verlag, München, 2016.
- [36] Gebhart, P.: VDMA: Deutsche Exporte von Wasser- und Abwassertechnik 2017 auf hohem Niveau. Exportmarkt China boomt mit 54 Prozent Wachstum. Pressemitteilung, 28.04.2018.
- [37] Kluge, T.: Capacity Development für die exportorientierte Wasserwirtschaft: Bestandsaufnahme der deutschen Aktivitäten für die Eckpunkte für eine koordinierte Strategie. ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung, 32 (2010). Frankfurt a.M.
- [38] Schulz, W. u. a.: Governance and capacity development: main pillars for implementing rain- and floodwater harvesting techniques in horticulture. In: Integrated Water Resources Management in Water-scarce Regions. IWA Publishing London, 2018, S. 140-151.
- [39] Cornel, P. u. a.: Verbundprojekt EXPOVAL: Exportorientierte Forschung und Entwicklung im Bereich Abwasser – Validierung an technischen Anlagen: Unterverbund 7: Wasserwiederverwendung und Hygienisierung, Teilprojekt: Versuchsdurchführung und wissenschaftlich technische Bear. Fachlicher Schlussbericht. Darmstadt. 2016.
- [40] World Health Organization: Guidelines for drinking-water quality. Incorporating the First and Second Addenda. Volume 1 – Recommendations. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2018.
- [41] Goodwin, D. u. a.: Applying the water safety plan to water reuse: towards a conceptual risk management framework. Environ. Sci. Water Res. Technol. 1 (2015) Nr. 5, S. 709-722.
- [42] Drewes, J. u. a.: Relevanz chemischer Stoffe in der Wasserwiederverwendung. Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“. 2018.
- [43] Abels, A. und Kubsch, G.: Regulation of food safety in the EU: Changing patterns of multi-level governance. Conference of the ECPR Standing Group on Regulatory Governance, 2010.
- [44] Bundesrat: Beschluss des Bundesrates: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung. COM(2018) 337 final; Ratsdok. 9498/18.

Autoren:

Jörg E. Drewes

Korrespondenzautor

jdrewes@tum.de

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft,

Technische Universität München

Garching (BMBF-Verbundprojekt TrinkWave)

Dennis Becker

Christina Jungfer

DECHEMA e.V., Wassermanagement

Frankfurt/M. (Wissenschaftliches Begleitvorhaben TransWavE,

BMBF-Verbundprojekt Multi-ReUse)

Kerstin Krömer

Strategisches Asset Management,

Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband

Brake (BMBF-Verbundprojekt Multi-ReUse)

Marius Mohr

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und

Bioverfahrenstechnik IGB

Stuttgart (BMBF-Verbundprojekt HypoWave)

Andreas Nahrstedt

IWW Zentrum Wasser

Mühlheim a.d.R. (BMBF-Verbundprojekt Multi-ReUse)

Engelbert Schramm

Martina Winker

Martin Zimmermann

Institut für sozial-ökologische Forschung

Frankfurt/M. (BMBF-Verbundprojekte HypoWave

und EPoNa)

GeoTHERM

expo & congress



Messe
Offenburg-
Ortenau

14. + 15. Feb. 2019
MESSE OFFENBURG
www.geotherm-offenburg.de