Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

TOP 3 Sachstand AG Zweckverbände mit MI LSA

In der letzten Arbeitskreissitzung hatten wir über das Schreiben der Landesgeschäftsstelle vom 22.08.2018 als Reaktion auf den Sachstandsbericht des MI LSA vom 26.07.2018 berichtet. Wir hatten um eine Fortführung des begonnenen Diskussionsprozesses gebeten. Ein telefonischer Austausch auf Arbeitsebene zwischen Herrn Immendorff und Frau Pankrath ergab, dass die Angelegenheit im MI LSA zurückgestellt werden musste. Als Gründe wurden u. a. die gegenwärtige politische Diskussion über die Folgen der Rechtsprechung des hiesigen OVG zur (Voll-)Beitragserhebungspflicht sowie zur Abschaffung der Straßenausbaubeiträge benannt. Wir haben dem MI LSA gegenüber hierfür Verständnis signalisiert, aber dennoch um Fortsetzung des Austauschs zwischen den Zweckverbänden und dem MI LSA gebeten. Mit Schreiben vom 19.03.2019 haben wir dem MI LSA zu diesem Zweck angeboten, die Arbeitskreissitzung nochmals als Plattform für einen persönlichen Austausch zu nutzen.

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

TOP 4 Sachstand Entwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung kommunalrechtlicher Vorschriften (Drs. 7/3491)

Der benannte Gesetzentwurf sieht in seinem Artikel 1, Ziffer 1 a) aa) eine Lockerung der Beitragserhebungspflicht im Bereich der leitungsgebundenen öffentlichen Einrichtungen vor. Insbesondere vor dem Hintergrund der jüngsten OVG-Rechtsprechung vom 21.08.2018 (Az: 4 K 221/15) hatte die Landesgeschäftsstelle ihre zuvor ablehnende Haltung dazu in der öffentlichen Anhörung im Ausschuss für Inneres und Sport am 10.01.2019 aufgegeben. Diese Position war auch Bestandteil der im Vorfeld der Anhörung verfassten Stellungnahme der Landesgeschäftsstelle vom 20.12.2018 (*Anlage 1 zu TOP 4*).

Wegen der Bedeutung der Frage der Einordnung des o. g. Urteils haben wir gemeinsam mit dem Wasserverbandstag e. V. in einem weiteren Schreiben vom 05.02.2019 an die Regierungsfraktionen im Landtag von Sachsen-Anhalt nochmals explizit darauf hingewiesen, dass wir die vom OVG LSA vertretene Rechtsmeinung nicht teilen und die zu erwartenden Auswirkungen aufgezeigt, wenn diese Rechtsprechung Bestand hätte (*Anlage 2 zu TOP 4*).

Auf Initiative von Frau Steinberg, AZV Naumburg, hatten wir am 26.02.2019 gemeinsam mit dem Wasserverbandstag e.V. die Gelegenheit, uns in der Arbeitsgruppe Inneres und Sport der CDU-Fraktion im Landtag von Sachsen-Anhalt (AG) zu dem erforderlichen Änderungsbedarf im KAG LSA auszutauschen, um die Auswirkungen der benannten OVG-Rechtsprechung für die Zweckverbände einzudämmen. In diesem Austausch war auch die Innenstaatsekretärin Dr. Zieschang beteiligt. Frau Steinberg wird gebeten, in der Arbeitskreissitzung kurz zu berichten.

In der Folge dieses Austauschs ist am 05.03.2019, organisiert vom Wasserverbandstag e. V., eine weitere Gesprächsrunde mit Vertretern aus den Regierungsfraktionen sowie der Fraktion DIE LINKE initiiert worden. In einer intensiven Diskussion wurde die Notwendigkeit einer Klarstellung der historisch belegbaren Intention des Gesetzgebers in der Gesetzesbegründung unterstrichen sowie die Notwendigkeit einer Änderung, um auch die Gebührenkalkulationen der von der Rechtsprechung des OVG LSA betroffenen Verbände auf eine rechtlich sichere Basis zu stellen. Herr Hellmann wird gebeten, in der Arbeitskreissitzung kurz zu berichten.

Mit Schreiben vom 19.03.2019 hat die Landesgeschäftsstelle dem MI LSA gegenüber nochmals signalisiert, dass die Einordnung und Folgen der Rechtsprechung des OVG LSA vom 21.08.2018; Az: 4 K 231/15 zentrale Fragen für den gegenwärtig in der Beratung befindlichen Entwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung kommunalrechtlicher Vorschriften sind. Wir haben informiert, dass in der Arbeitskreissitzung ein Überblick über die gemeinsamen Aktivitäten der Landesgeschäftsstelle mit dem Wasserverbandstag e. V. gegeben werden soll und angeboten, dass wir in der Arbeitskreissitzung gern auch mit dem MI LSA zu diesem Thema in einen Austausch treten würden. Insoweit haben wir die o. g. Einladung des MI LSA auf diesen Tagesordnungspunkt ausgedehnt.

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

TOP 5 Niederschlagswasserbeseitigung

5.1 Gebührenerhebung für die „freiwillige“ Niederschlagswasserbeseitigung

In der Arbeitskreissitzung am 18.10.2018 wurde u. a. die Frage erörtert, ob die Zweckverbände für „freiwillige“ Niederschlagswasseranschlüsse Gebühren erheben dürfen. Herr Beyer (WAZV Bode-Wipper) hatte die Landesgeschäftsstelle gebeten, die Rechtsauffassung nochmals zu prüfen.

Wir stellen den nachfolgenden Ausführungen den Hinweis voran, dass sowohl die freiwillige Übernahme der Niederschlagswasserbeseitigung durch die Gemeinde oder einen Zweckverband - wohl wissend, dass dies offensichtlich schon aus historischen Gründen einer geübten Praxis entspricht - als auch die Erhebung einer Gebühr hierfür rechtlich mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

1. Anders als das Landesverwaltungsamt gehen wir davon aus, dass eine „freiwillige“ Inanspruchnahme der Niederschlagswasserbeseitigungseinrichtung, wenn überhaupt, nur in sehr eingeschränktem Umfang rechtlich zulässig wäre.

2. Wir teilen gleichwohl die Auffassung des Landesverwaltungsamtes, dass auch bei einer nicht-rechtmäßigen Inanspruchnahme der öffentlichen Niederschlagswasserbeseitigungseinrichtung durch einen Grundstückseigentümer vom Aufgabenträger Gebühren erhoben werden können.
   Der Vollständigkeit halber weisen wir darauf hin, dass damit keine Aussage zur (Umsatz-)Steuerbarkeit einer derartigen Aufgabenwahrnehmung getroffen wird.

Zu 1)
Seit dem 01.04.2013 wurde die Aufgabe der Niederschlagswasserbeseitigung durch eine umfangreiche Änderung des Wassergesetzes Sachsen-Anhalt (WG LSA) neu geregelt und somit auch die damit im Zusammenhang stehenden Zuständigkeiten neu gefasst. Es bestehen drei mögliche Fallkonstellationen:

a) Grundsätzlich ist der Grundstückseigentümer für die Niederschlagswasserbeseitigung zuständig. Er hat dafür Sorge zu tragen, dass das Niederschlagswasser in geeigneten Fällen ortsnah versickert, verrieselt oder direkt in ein Gewässer eingeleitet wird (näheres dazu unten).

b) Die Gemeinde/der Zweckverband ist für die Niederschlagswasserbeseitigung zuständig, weil die Voraussetzungen für die Anordnung eines Anschluss- und Benutzungszwanges vorliegen (Pflichtaufgabe des eigenen Wirkungskreises).

c) Die Gemeinde/der Zweckverband ist für die Niederschlagswasserbeseitigung zuständig, weil ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten (Pflichtaufgabe des eigenen Wirkungskreises).

Die **Niederschlagswasserbeseitigungspflicht** liegt gem. § 79 b Abs. 1 1. HS WG LSA **grundsätzlich beim Grundstückseigentümer**. Der Inhalt dieser Pflicht wird durch § 79 Abs. 4 Satz 3 WG LSA näher bestimmt. Danach soll das Niederschlagswasser in geeigneten Fällen

ortsnah versickert, verrieselt oder direkt in ein Gewässer eingeleitet werden. Mit dieser Regelung wird zugleich eine Vorgabe des § 55 Abs. 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) umgesetzt. § 79 Abs. 4 Satz 4 WG LSA gibt vor, dass eine Gemeinde bei der Aufstellung des Niederschlagswasserbeseitigungskonzeptes zunächst die Möglichkeit zur ortsnahen Beseitigung des Niederschlagswassers zu prüfen hat, wenn Teile des Gemeindegebietes zukünftig an eine Einrichtung angeschlossen werden sollen. Im Umkehrschluss heißt das wohl, dass kein Anschluss erfolgen darf, wenn eine ortsnahe Beseitigung des Niederschlagswassers (gebietsbezogen) möglich ist.

Gegen die Auffassung des Landesverwaltungsamtes, dass die Gemeinden oder Zweckverbände die Niederschlagswasserbeseitigung dennoch an sich ziehen können, spricht § 5 Abs. 2 KVG LSA. Denn danach sind die Gemeinden (oder Zweckverbände) auch im eigenen Wirkungskreis an die Rechtsvorschriften gebunden. Das bedeutet, dass ein Aufgabenträger eine Aufgabe der öffentlichen Daseinsvorsorge nur dann freiwillig an sich ziehen kann, wenn dies mit den gesetzlichen Regelungen im Einklang steht. Deshalb hat sich u. E. auch die freiwillige Übernahme der Niederschlagswasserbeseitigung an den rechtlichen Vorgaben im Wassergesetz zu orientieren. Vorrang hat danach die Verpflichtung des Grundstückseigentümers zu einer ortsnahen Versickerung, Verrieselung oder Einleitung in ein Oberflächengewässer. Die recht weite Auslegung des Landesverwaltungsamtes, dass sich der Grundstückseigentümer für die Erfüllung dieser ihm obliegenden Verpflichtung auch eines Dritten bedienen kann, erscheint aus unserer Sicht bestenfalls noch dann vertretbar, soweit die freiwillige Übernahme des Niederschlagswassers in ein Trennsystem mit ortsnaher Einleitung in ein Gewässer erfolgt. Es sei in diesem Zusammenhang aber darauf hingewiesen, dass diese Frage von den Gerichten nach unserer Wahrnehmung sehr viel enger - auf das Grundstück bezogen - ausgelegt wird.

Ein „freiwilliger“ Anschluss an eine öffentliche Niederschlagswasserbeseitigungseinrichtung, der darüber hinaus geht, würde nicht den dargelegten gesetzlichen Vorgaben entsprechen und wäre demnach als nicht-rechtmäßige Inanspruchnahme der öffentlichen Einrichtung zu qualifizieren. Insoweit sind dem Aufgabenträger u. E. auch Grenzen hinsichtlich der Widmung der öffentlichen Einrichtung für einen solchen Zweck gesetzt.

Am Rande sei darauf hingewiesen, dass sich in derartigen Fällen auch die Frage der gesicherten Investitionsrefinanzierung stellt. Denn eine Beitragserhebung kommt für diese „freiwillig“ angeschlossenen Grundstücke mangels dauerhafter gesicherter Anschlussnahme nicht in Betracht. Denn der Aufgabenträger hat keine rechtliche Möglichkeit die „freiwillige“ Entsorgung dauerhaft an sich zu ziehen (so das OVG LSA, Urteil vom 29.09.2010, Az. 4 L 101/10 - *Anlage 1 zu TOP 5*).

Zu 2)
Für die „freiwillige“ bzw. nicht-rechtmäßige Inanspruchnahme der öffentlichen Niederschlagswasserbeseitigungseinrichtung ist gleichwohl nach unserer Auffassung auch eine Gebührenerhebung möglich. Voraussetzung hierfür ist, dass die Gebührensatzung alle Grundstücke in die Gebührenerhebung einschließt, die an die öffentliche Einrichtung angeschlossen sind oder in die öffentliche Einrichtung entwässern, also ohne nach der Verpflichtung hierfür zu differenzieren. Denn die Erhebung einer Gebühr nach § 5 KAG LSA knüpft allein an die (tatsächliche) Inanspruchnahme der öffentlichen Einrichtung an. Die Rechtmäßigkeit der Nutzung ist nicht Tatbestandsvoraussetzung für eine Gebührenerhebung. (so auch VG Halle, Urteil vom 24.01.2011, Az: 4 A 108/10 mit weiteren Nachweisen - *Anlage 2 zu TOP 5*).

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die Rechtsprechung in dieser Frage nicht einheitlich ist. So vertritt das VG Magdeburg in seinem Urteil vom 17.11.2011, Az: 9 A 155/09 (*Anlage 3 zu TOP 5*) die Auffassung, dass in Bezug auf die Erhebung von Niederschlagswassergebühren ausschließlich danach zu fragen ist, für welche Grundstücke die Beseitigungspflicht der Gemeinde oder dem Zweckverband obliegt. Ausschließlich der Aufwand der dadurch entsteht, sei ins Verhältnis zu den dadurch bevorteilten Grundstücken zu setzen.

Eine obergerichtliche Rechtsprechung Sachsen-Anhalts konnte hierzu nicht recherchiert werden, so dass eine abschließende Aussage zur Rechtmäßigkeit einer Gebührenerhebung in den Fällen einer beim Grundstückseigentümer liegenden Niederschlagswasserbeseitigungspflicht nicht getroffen werden kann.

Der Arbeitskreis wird um Kenntnisnahme und ggf. Austausch gebeten.

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

TOP 5 Niederschlagswasserbeseitigung

5.2 Prüfung der Handlungsoptionen aus dem „Regentonnenerlass“

In der Arbeitskreissitzung am 18.10.2018 wurde die Landesgeschäftsstelle unter Bezugnahme auf den sog. Regentonnenerlass gebeten, ggf. in Zusammenarbeit mit dem Wasserverbandstag eine Argumentation zu erarbeiten, wann der Aufgabenträger ein Grundstück in die öffentliche Niederschlagswasserbeseitigung aufnehmen müsse. Als Hintergrund sahen die Arbeitskreismitglieder bedenkliche Entwicklungen in der Rechtsprechung des Landes Sachsen-Anhalt.

Erhalt des Status quo?
§ 79 Abs. 1 WG LSA schreibt vor, dass die Gemeinden in getrennten Konzepten darstellen, wie das im Gebiet anfallende Schmutz- und Niederschlagswasser beseitigt wird. Gem. § 79 Abs. 4 Satz 1 WG LSA erläutert das Niederschlagswasserbeseitigungskonzept, wie im Gebiet das Niederschlagswasser aus dem Bereich der bebauten oder befestigten Flächen beseitigt wird. Nur wenn zukünftig Teile des Gebietes angeschlossen werden hat der Aufgabenträger bei Aufstellung des Niederschlagswasserbeseitigungskonzeptes gem. § 79 Abs. 4 Satz zunächst die Möglichkeit der ortsnahen Beseitigung von Niederschlagswasser zu prüfen. Auf diese Regelungen verweist auch der Erlass eingangs.

Dass der Gesetzgeber ausdrücklich nur für zukünftig anzuschließende Teile des Gemeindegebietes vom Aufgabenträger die Prüfung der ortsnahen Beseitigung des Niederschlagswassers fordert, spricht nach Auffassung der Landesgeschäftsstelle dafür, dass er in den Bestand der zum Zeitpunkt des Inkrafttretens des Gesetzes bestehenden Strukturen der Niederschlagswasserbeseitigung nicht eingreifen wollte. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Pflichtenlage hinsichtlich der Beseitigungspflicht des Niederschlagswassers grundsätzlich bereits mit dem 2. Investitionserleichterungsgesetz im Jahr 2003 geändert worden war.

Das Niederschlagswasserbeseitigungskonzept und dessen Fortschreibungen waren/sind gem. § 79 Abs. 4 WG LSA der zuständigen Wasserbehörde anzuzeigen. Soweit das Konzept nach Einschätzung der unteren Wasserbehörde nicht den gesetzlichen Anforderungen entsprach/ entspricht, soll die untere Wasserbehörde lt. Erlass die für die öffentlich-rechtliche Abwasserbeseitigungskörperschaft zuständige Kommunalaufsichtsbehörde informieren. ***Sofern also die untere Wasserbehörde gegen das Konzept keine Einwände erhoben hat und auch die Kommunalaufsichtsbehörde nicht tätig geworden ist, konnten die Aufgabenträger u. E. grundsätzlich von der formellen und materiellen Rechtmäßigkeit ihrer Niederschlagswasserbeseitigungskonzepte und der in diesen Konzepten als angeschlossene bzw. anzuschließende ausgewiesene Grundstücke ausgehen.***

Anders könnte diese Frage u. U. von den Gerichten beurteilt werden. So ging das Verwaltungsgericht Magdeburg im Hinblick auf die Änderung durch das 2. Investitionserleichterungsgesetz in der oben unter 5.1 genannten Entscheidung vom 17.11.2011, Az: 9 A 155/09 (*Anlage 3 zu TOP 5*) davon aus:

„[…] dass mit dem Inkrafttreten des 2. InvErlG LSA am 01.09.2003 eine Revision der wasserrechtlichen Pflichtenlage bewirkt werden sollte. Es spricht Überwiegendes dafür, dass der Gesetzgeber in Anknüpfung an die Grundkonzeption der Vorgängerregelung (Beseitigungspflicht des Grundstückeigentümers) nunmehr die Pflichtenlage ungeachtet bereits bestehender Rechtspflichten hat neu regeln

wollen. […] Ist Regelungsgegenstand einer Vorschrift die Anordnung von Pflichten, so gilt das jeweilige Recht ab dem Zeitpunkt des Inkrafttretens der Vorschrift. […] Sind infolge der Anwendung des außer Kraft getretenen Rechts Rechtsfolgen herbeigeführt worden […] bedarf es zur Aufrechterhaltung des dadurch bewirkten Rechtszustandes - nicht zuletzt aus Gründen der Rechtsklarheit - einer ausdrücklichen Übergangsvorschrift. Dies umso mehr, wenn für die Änderung einer gesetzlich angeordneten Pflichtenlage […] das Handeln einer Gemeinde vom Bestehen einer höherrangigen Rechtsgrundlage abhängig ist, bzw. diese ihre Handlungsmöglichkeiten einschränkt. […] Schafft der Gesetzgeber wie hier eine überganglose Neuregelung, so nimmt er die dadurch eintretenden Folgen mit der Erreichung des gesetzgeberischen Zieles billigend in Kauf. So nach Auffassung des Gerichts auch in Bezug auf die Refinanzierbarkeit der bis zum 01.09.2003 geschaffenen Einrichtung zur Niederschlagswasserbeseitigung, wenn einer Gemeinde nunmehr im Vergleich zu der bis zum 31.08.2003 geltenden Rechtslage die Niederschlagswasserbeseitigung nur noch in einem geringeren Umfang obliegt. Denn ab diesem Zeitpunkt ist in Bezug auf die Erhebung von Niederschlagswassergebühren ausschließlich danach zu fragen, für welche Grundstücke die Beseitigungspflicht der Gemeinde oder dem Zweckverband obliegt […].“

An dieser Rechtsauffassung hält das VG Magdeburg nach unserer Wahrnehmung bislang fest. An eine ggf. andere Einschätzung der unteren Wasserbehörden sind die Gerichte nicht gebunden. Eine obergerichtliche Klärung dieser Frage ist nach Erkenntnissen der Landesgeschäftsstelle bisher nicht erfolgt.

Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs

Die Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs bedarf einer besonderen Rechtfertigung. Nach dem Erlass ist die Rechtfertigung „besonders“, wenn der Grund für die Anschlussnotwendigkeit über einseitige privatnützige oder kommunalfiskalische Zwecke hinausgeht, z. B. bei übergeordneten wasserwirtschaftlichen Gründen. Es obliegt nach dem Erlass der abwasserbeseitigungspflichtigen öffentlich-rechtlichen Körperschaft den Sachverhalt der Versickerungsfähigkeit für den jeweiligen Teil des Gemeindegebietes (weit zu fassen) so zu ermitteln, dass im Niederschlagswasserbeseitigungskonzept eine zuverlässige Aussage getroffen werden kann.

Ob infolge der Ermittlungen Anschluss- und Benutzungszwang angeordnet werden muss (§ 8 Abs. 2 Nr. 2 Satz 1 KVG LSA) ist davon abhängig, ob der Aufgabenträger hierfür ein dringendes öffentliches Bedürfnis sieht. Hier besteht für den Aufgabenträger ein gerichtlich nur begrenzt überprüfbarer Beurteilungsspielraum. Der Erlass sieht bei der Niederschlagsentwässerung ein solches dringendes öffentliches Bedürfnis nur dann, wenn anderenfalls von dem Grundstück verschmutztes (gesundheitsschädliches) Niederschlagswasser unkontrolliert abfließen würde.

Damit dürfte die Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs in der Praxis eher geringe Relevanz haben.

Gesammeltes Fortleiten erforderlich

Diese Alternative soll lt. Erlass sicherstellen, dass ein gesammeltes Fortleiten möglich ist, wenn der Grundstückseigentümer keine Möglichkeit der ortsnahen Versickerung hat. Es soll dadurch eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit verhindert werden. Dies läge lt. Erlass vor, wenn zu befürchten ist, dass ohne das gesammelte Ableiten höhere Sachschäden oder sogar Personenschäden entstehen.

Hieraus ergibt sich zunächst, dass ein Anschluss nicht deshalb möglich ist, weil ein wirtschaftlicher Betrieb einer bereits bestehenden Einrichtung anders nicht gewährleistet oder aufrechterhalten werden kann. Derartige fiskalische Interessen begründen keine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit.

Unklar ist, ob allein aus dem Umstand, dass gebietsbezogen eine Versickerungsmöglichkeit verneint wurde (z. B. Bodengutachten) eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit indiziert ist und somit zwingend ein Anschluss vorzusehen ist (so wohl tendenziell das VG Magdeburg).

Hier ist u. E. vom Aufgabenträger zusätzlich zu prüfen, ob der vom Gesetzgeber vorgesehene Befreiungstatbestand zutreffend ist.

Befreiung vom Anschluss- und Benutzungszwang
§ 79 b Abs. 1 Satz 2 WG LSA sieht vor, dass die Grundstückseigentümer vom Anschluss- und Benutzungszwang befreit sind, wenn sie Eigentümer privater Niederschlagswasseranlagen sind, das Niederschlagswasser schadlos beseitigt wurde und wasserwirtschaftliche Gründe nicht entgegenstehen. Es handelt sich lt. Erlass um eine Bestandsschutzregelung privater Niederschlagswasserbeseitigungsanlagen. Der Begriff ist lt. Erlass weit zu fassen. Es besteht von Gesetzes wegen eine Vermutung, dass das auf einem Grundstück anfallende Niederschlagswasser schadlos beseitigt wird. ***Das bedeutet, u. E. dass die Beweislast, dass die private Niederschlagsentwässerung unzureichend ist, beim Aufgabenträger liegt, und zwar in dem Fall tatsächlich grundstücksbezogen.***

Wenn der Gesetzgeber schon bei Grundstücken für die ein Anschluss- und Benutzungszwang anzuordnen ist, eine Befreiungsmöglichkeit vorsieht, muss das erst recht für die Grundstücke gelten, bei denen ggf. die tatbestandlichen Voraussetzungen für ein gesammeltes Fortleiten vorliegen.

Der Erlass legt nahe, dass jede private Niederschlagsentwässerungseinrichtung grundsätzlich geeignet sein kann, eine derartige Befreiung anzunehmen, also auch die „Regentonne“. Natürlich sollte eine Vorrichtung grundsätzlich geeignet sein, die Abflussmengen bei durchschnittlichen Niederschlägen tatsächlich aufzunehmen!

Eine Befreiung setzt u. E. voraus, dass der Grundstückseigentümer die Befreiung tatsächlich beantragt oder in einer Art Einrede geltend machen muss.

Lt. Erlass stehen einer Befreiung wasserwirtschaftliche Gründe entgegen, wenn anhand konkreter Feststellungen vor Ort die Beeinträchtigung privaten oder öffentlichen Eigentums eingetreten ist oder mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eintreten wird und die private Entwässerung zumindest mitursächlich ist.

Hiermit lassen sich nach Auffassung der Landesgeschäftsstelle auch Fälle von einem Anschluss an eine öffentliche Einrichtung ausschließen, in denen zwar ein Bodengutachten von einer Versickerungsunfähigkeit ausgeht, aber historisch das auf den Grundstücken anfallende Niederschlagswasser schon immer auf den Grundstücken (in privaten Entwässerungseinrichtungen) verblieben ist. Denn in diesen Fällen ist keine Beeinträchtigung privaten oder öffentlichen Eigentums eingetreten, so dass wasserwirtschaftliche Gründe der Befreiung nicht entgegenstehen.

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

Grundsätzlich vertreten wir nach all dem die Aussage, dass den Aufgabenträgern hier ein weiter Entscheidungsspielraum zusteht.

Ob in letzteren Fällen ggf. zukünftig bei zunehmenden Starkregenereignissen eine neue Bewertung derartiger Grundstücke vorzunehmen ist, ist eine andere Frage. Wenn sich zukünftig tatsächlich Beeinträchtigungen ergeben, kann sich hieraus auch für den Aufgabenträger die Verpflichtung ergeben, tätig zu werden.

Ein Handlungszwang dürfte hingegen anzunehmen sein, wenn bei Regenereignissen regelmäßig eine Beeinträchtigung bereits eintritt: Überschwemmungssituationen z. B. auf öffentlichen Straßen, Vernässungen auf dem Grundstück und/oder angrenzenden Grundstücken, drohende Schlammlawinen u. ä.

Es handelt sich bei den vorherigen Ausführungen um eine rechtliche Einschätzung zu Fragen, die in der Rechtsprechung noch weitgehend ungeklärt sind. Konkrete, schematisierte Handlungsvorgaben - bzw. -alternativen für die Aufgabenträger lassen sich hieraus nicht ableiten. Es bedarf hierfür vielmehr jeweils einer Entscheidung anhand des konkret vorliegenden Sachverhaltes durch den Aufgabenträger.

Wichtig ist aus Sicht der Landesgeschäftsstelle, dass der Aufgabenträger seine Entscheidungen, insbesondere zu Befreiungen nachvollziehbar dokumentiert.

Wir sehen aufgrund der im Erlass zutreffend zusammengefassten rechtlichen Vorgaben nach dieser Prüfung keinen Handlungsbedarf; hier: mit einem Argumentationspapier an das MULE heranzutreten. Es bestehen unsererseits hierzu keine abweichenden Auffassungen. Wir sehen nicht, dass sich durch einen Austausch mit dem MULE eine ggf. divergierende Rechtsprechung aufhalten lässt.

Der Arbeitskreis wird um Austausch gebeten, ob und wenn ja mit welcher Zielstellung dennoch ein Argumentationspapier erstellt und mit dem MULE erörtert werden soll.

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

TOP 6 Disziplinarecht
Allgemeine Anordnung des LVA vom 31.01.2019 zur Ausübung von disziplinaren Befugnissen für im Ruhestand befindliche Verbandsgeschäftsführer

Vorschlag: AZV Naumburg, Frau Steinberg

Mit der o. g. Rundverfügung (4/2019 – *Anlage 1 zu TOP 6*) trifft das LVA Anordnungen zur Ausübung disziplinarer Befugnisse gegenüber Verbandsgeschäftsführern im Ruhestand.

Frau Steinberg bittet den Arbeitskreis um Austausch, insbesondere auch zu der Frage, ob durch diese Verfügung die Verbandsgeschäftsführer unter Generalverdacht gestellt werden.

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

TOP 7 Aufbewahrungsfristen nach Digitalisierung

Vorschlag: AZV Naumburg, Frau Steinberg

Im AZV Naumburg wird gegenwärtig nach einem geeigneten Katalog über Aufbewahrungsfristen von Originalen im öffentlichen Dienst nach der Digitalisierung recherchiert.

Frau Steinberg bittet den Arbeitskreis um Austausch, insbesondere auch zu der Frage, welche Dokumente dauerhaft als Original aufbewahrt werden müssen.

Vorbericht
für die 17. Arbeitskreissitzung des Arbeitskreises Zweckverbände des SGSA
am 11.04.2019

TOP 8 Entnahme von gereinigtem Kläranlagenablaufwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Vorschlag: WAHB, Herr Witte

Herr Witte informierte die Landesgeschäftsstelle über ein zunehmend sowohl für die Abwasserentsorger als auch für die Landwirtschaft interessanter werdendes Thema. Im vergangenen Jahr habe man die Anfrage einer ortsansässigen Agrargenossenschaft bearbeitet, die für die Bewässerungen insbesondere der Maisanpflanzungen zur Biomassegewinnung aus dem Ablauf der Kläranlage das gereinigte Abwasser entnehmen möchte. In Niedersachsen wird eine solche Möglichkeit teilweise bereits eingeräumt (*Anlage 1 zu TOP 8*)

Eine Klärung, insbesondere inwieweit eine vierte Reinigungsstufe für die Entfernung von Mikrospurenstoffen etc. erforderlich ist, wäre für die Zukunft wichtig, damit hier rechtliche Klarheit herrscht.

Die Landesgeschäftsstelle hat hierzu einen Bericht des Umweltbundesamtes „Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung“ recherchiert. Das Dokument ist dem Vorbericht als *Anlage 2 zu TOP 8* beigefügt.

Herr Witte wird im Arbeitskreis über die ihm verfügbaren Informationen berichten.

Der Arbeitskreis wird um Austausch gebeten.

Anlage 1 zu TOP 4

STÄDTE- UND GEMEINDEBUND SACHSEN-ANHALT

SGSA, Postfach 4009, 39015 Magdeburg

Per E-Mail

Landtag von Sachsen-Anhalt
Ausschuss für Inneres und Sport
39094 Magdeburg

vorab per E-Mail
landtag@lt.sachsen-anhalt.de

Städte- und Gemeindebund
Sachsen-Anhalt (SGSA)
- Landesgeschäftsstelle -
Sternstraße 3, 39104 Magdeburg

Telefon: 0391 5924-300
Telefax: 0391 5924-444

E-Mail: post@sgsa.info
Internet: www.kommunales-sachsen-anhalt.de

Stadtsparkasse Magdeburg
IBAN: DE56 8105 3272 0036 0029 00
BIC/SWIFT: NOLADE21MDG

Auskunft erteilt: Frau Pankrath
Durchwahl: 0391 5924-372

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom	Unser Zeichen	Datum
7/3491, Schreiben v. 06.12.2018	20-20-00, pa-ck	20.12.2018

Entwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung kommunalrechtlicher Vorschriften
Gesetzentwurf Fraktionen CDU, SPD und Bündnis 90/DIE GRÜNEN - Drs. 7/3491

Sehr geehrter Herr Ausschussvorsitzender Kohl,
sehr geehrte Damen und Herren,

am 10.01.2019 um 10:00 Uhr findet in Ihrem Ausschuss eine Anhörung zum oben genannten Gesetzentwurf statt. Sie haben uns gebeten, eine Zusammenfassung unserer wesentlichen Gedanken zu diesem Gesetzentwurf bereits vorab in schriftlicher Form zur Verfügung zu stellen. Diesem Wunsch kommen wir gerne nach.

Mit dem vorliegenden Gesetzentwurf ist die Änderung kommunalabgabenrechtlicher Bestimmungen beabsichtigt, insbesondere eine Lockerung der Beitragserhebungspflicht für leitungsgebundene Einrichtungen sowie die Entwicklung der Kurtaxe in einen grundsätzlich durch alle Gemeinden erhebbaren Gästebeitrag und der betrieblichen Tourismusabgabe in einen Tourismusbeitrag.

Grundsätzlich sind wir mit den Änderungsvorschlägen einverstanden.

Wir bitten aber darum, unsere nachfolgenden Überlegungen, Änderungs- und Ergänzungswünsche in den Gesetzentwurf einzubeziehen.

Insbesondere bitten wir darum, die Gelegenheit zu nutzen und eine Neuausrichtung der Refinanzierung der Straßenoberflächenentwässerung in diesen Gesetzentwurf aufzunehmen.

Zu den Regelungen im Einzelnen:

Artikel 1, Ziffer 1 a) aa)
Die ***Lockerung der Beitragserhebungspflicht*** im Bereich der leitungsgebundenen öffentlichen Einrichtungen könnte sich insbesondere vor dem Hintergrund der jüngsten OVG-

Rechtsprechung des Landes Sachsen-Anhalt (z. B. Urteil vom 21.08.2018; Aktenzeichen: 4 K 221/15) als vorteilhaft erweisen.

Das OVG LSA greift in dieser Entscheidung sowohl in seinen Leitsätzen als auch in der umfassenden Urteilsbegründung eine Vielzahl von Problemfragen im Zusammenhang mit der Beitragserhebung für öffentliche leitungsgebundene Einrichtungen auf. Beachtlich ist insbesondere die Auffassung, dass infolge der Beitragserhebungspflicht des § 6 Abs. 1 S. 1 KAG LSA bei Herstellungsbeiträgen grundsätzlich ein aufwandsdeckender Beitragssatz festgesetzt werden muss. Auch wenn das OVG in dieser Entscheidung der beitragserhebenden Körperschaft einen „Sicherheitsabstand“ zwischen festgesetztem und höchstzulässigem Beitragssatz in Höhe von maximal 20 v. H. zugesteht, wird das Gericht damit der ursprünglichen Intention des Gesetzgebers und dem Spielraum, welchen der Gesetzgeber den Kommunen bzw. Aufgabenträgern überlassen wollte, nicht gerecht. Wir verweisen dazu auf unsere Einschätzung, welche wir als Anmerkung zum Urteil des OVG LSA vom 21.08.2018 (a. a. O.) in unseren Kommunalnachrichten Nr. 421/2018 veröffentlicht hatten (*Anlage 1*).

In der Praxis wird diese vom OVG LSA vorgegebene Deckungsquote bei einigen Aufgabenträgern nicht erreicht. Eine Übertragung der Rechtsprechung auf diese hätte weitreichende Konsequenzen, wie z. B. die Nacherhebung von Beiträgen, Umlagebelastungen der Städte und Gemeinden wegen der gesetzlichen 10-jährigen Ausschlussfrist oder auch die mögliche Rechtswidrigkeit von Gebührenkalkulationen.

Mit der Lockerung der Beitragserhebungspflicht kann der Gesetzgeber seine ursprüngliche Intention unterstreichen und auch den Aufgabenträgern, die die vom Gericht vorgesehene Deckungsquote gegenwärtig nicht erreichen, ein geordnetes Weiterarbeiten ermöglichen.

Soweit die Gesetzesbegründung zur Aufhebung des Halbsatzes *„soweit der Aufwand nicht durch Gebühren gedeckt ist“* erklärt, dass dieser in der Praxis mitunter zu einem falschen Verständnis bei kommunalen Aufgabenträgern geführt hat, ist diese Annahme und die nachfolgende Begründung zur Rechtshistorie fehlerhaft. Denn 1996 wurden zeitgleich zur Änderung des § 6 KAG LSA auch im § 5 KAG LSA Änderungen vorgenommen. Laut Gesetzesbegründung zu § 5 ist der Gesetzgeber bei den Neuregelungen davon ausgegangen, dass die Systematik der Finanzierung einer leitungsgebundenen Einrichtung davon ausgeht, dass eine Anlage zur Verfügung gestellt wird die von den Anschlussnehmern und eventuell vom Staat sofort (**in Form von Beiträgen und Zuwendungen**) oder Zug um Zug (**in Form von Gebühren**) refinanziert wird. Außerdem ist zu diesem Zeitpunkt in § 6 Abs. 5 KAG LSA durch einen neuen S. 6 auch geregelt worden, dass für Einrichtungen der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung durch die Landkreise und Gemeinden Grenzwerte für eine vertretbare Beitragsbelastung festgesetzt werden können. Auch einzelnen Redebeiträgen in der Landtagsdebatte vom 25.04.1996 war zu entnehmen, dass mit den Änderungen der Gestaltungsspielraum der Aufgabenträger nicht prioritär auf eine aufwandsdeckende Beitragserhebung begrenzt werden sollte, sondern im Gegenteil, ein weitreichender Gestaltungsspielraum beabsichtigt war (dazu detailliert: *Anlage 1*).

Da die Gesetzesbegründung insoweit fehlerhaft ist, erwarten wir eine Streichung dieser Passage bzw. entsprechende Überarbeitung.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass eine Systemumstellung bei den Aufgabenträgern i. d. R. erst dann möglich sein wird, wenn die erstmalige Herstellung der öffentlichen Einrichtung realisiert ist. Denn Grundlage der Globalkalkulation sind alle in der Abwasserbeseitigungskonzeption schon realisierten und noch zu realisierenden Maßnahmen. Ein Umstellen des

Refinanzierungssystems vor der endgültigen erstmaligen Herstellung der öffentlichen Einrichtung würde zwingend eine gesplittete Gebührenerhebung nach sich ziehen.

Der Gesetzgeber sollte in der Gesetzesbegründung zudem klarstellen, dass das Wahlrecht nur eine Wahl hinsichtlich einer Gebühren- oder Beitragsfinanzierung ermöglicht. Es muss Klarheit darüber bestehen, dass ein Wahlrecht kein Ausweichen in eine Umlagefinanzierung zu Lasten der Städte und Gemeinden eröffnet.

Hinzuweisen ist des Weiteren darauf, dass die Gesetzesbegründung in Bezug auf eine reine Gebührenfinanzierung (Seite 9 Abs. 2) die Voraussetzungen, welche das Bundesverwaltungsgericht in dem zitierten Urteil vom 16.09.1981, Az.: 8 C 48.81 formuliert hat, nur unvollständig wiedergibt. Das Gericht benennt in seiner Entscheidungsbegründung zwei Ausnahmen von dem in die Gesetzesbegründung übernommenen Grundsatz. Es führt aus, dass die Grenze in Höhe von 20 v. H. eine als Richtwert zu verstehende Grenze ist. Diese Grenze gilt nach Auffassung des Gerichtes nicht, wenn sie sich auf den Gebührensatz nur in einem unerheblichen Maß auswirkt. Insoweit hält das Gericht eine Gebührenmehrbelastung von maximal 10 v. H. im Ergebnis für tragbar. Außerdem hält das Gericht eine Überschreitung dieser Richtwertgrenze auch dann für vertretbar, wenn der Anteil der unbebauten, aber bebaubaren Grundstücke nur vorübergehend und damit atypisch besonders hoch ist.

Insoweit bitten wir um entsprechende Ergänzung der Gesetzesbegründung.

Artikel 1, Ziffer 1 a) bb)
Ausdrücklich begrüßen wir die ***Beibehaltung der Straßenausbaubeitragserhebungspflicht***. Wir verweisen insoweit auf unser Schreiben an die Landtagsfraktionen vom 13.12.2018. Es handelt sich bei den Straßenausbaubeiträgen um eine originäre kommunale Refinanzierungsquelle, die sicherstellt, dass Aufgaben- und Finanzverantwortung unmittelbar zusammenfallen und die allein deshalb unbedingt erhaltenswert ist.

Artikel 1, Ziffer 2
Der Gesetzentwurf entwickelt die bisher in § 9 KAG LSA geregelte Kurtaxe zu einem ***Gästebeitrag*** weiter. Wie der Kurbeitrag ist der Gästebeitrag zweckgebunden, erweitert aber den bisher für die Kurtaxe maßgeblichen Tatbestand, um zu Zwecken des Tourismus durchgeführten Veranstaltungen sowie die den beitragspflichtigen Personen eingeräumte Möglichkeit, Verkehrsleistungen im öffentlichen Personennahverkehr kostenlos in Anspruch zu nehmen.

Der Änderungsvorschlag ist insbesondere aus der Sicht von Städten und Gemeinden zu begrüßen, die vielfältige touristische Angebote realisieren, ohne als Kurort, Luftkurort oder Erholungsort staatlich anerkannt zu sein. Damit könnte eine nachhaltige Finanzierung kommunaler touristischer Aufgaben in diesen Orten zukünftig sichergestellt werden.

Teilweise stößt die Weiterentwicklung der Kurtaxe zu einem Gästebeitrag bei den gegenwärtig als Kurort, Luftkurort oder Erholungsort staatlich anerkannten Städten und Gemeinden auf Widerspruch. Ohne grundsätzlich gegen die Möglichkeit der Erhebung eines Gästebeitrages zu sein, sprechen sich diese Gemeinden für eine Beibehaltung der Kurtaxe neben einem möglichen Gästebeitrag aus. Zur Begründung wird ausgeführt, dass die Prädikatisierung als Kurort, Luftkurort oder staatlich anerkannter Erholungsort die Erfüllung wichtiger staatlicher Aufgaben, geregelt durch die Kurorteverordnung des Landes Sachsen-Anhalt, voraussetzt. Insofern unterscheiden sich diese Städte und Gemeinden aufgrund der erhöhten rechtlichen Anforderungen von den sonstigen Tourismusregionen. Die Beibehaltung der bisherigen Kurtaxe würde die besondere Stellung dieser Städte und Gemeinden unterstreichen.

Wir bitten deshalb, die Möglichkeit der Beibehaltung der Kurtaxe neben einem Gästebeitrag als Hervorhebungsmerkmal für die betroffenen Städte und Gemeinden zu überprüfen.

In diesem Zusammenhang erbitten wir zugleich eine Änderung des neuen § 9 Abs. 3. Für staatlich anerkannte Kur- und Erholungsorte soll für die Erhebung des Gästebeitrages nur der Gemeindeteil maßgeblich sein, der durch die staatliche Anerkennung bestimmt wird. Es ist nicht nachvollziehbar, warum die staatlich anerkannten Kur-, Luftkur- oder Erholungsorte im Hinblick auf ihr übriges Gemeindegebiet schlechter gestellt werden sollen, als die Städte und Gemeinden im Übrigen. Es sollte grundsätzlich allen Gemeinden möglich sein, die Gemeindegebietsteile, für die ein Gästebeitrag erhoben werden soll, durch Satzung zu bestimmen. In der gegenwärtig vorgesehenen Regelung sehen wir einen Verstoß gegen den Gleichheitsgrundsatz. Wir sehen keine sachliche Rechtfertigung für die Ungleichbehandlung der staatlich anerkannten Kur- und Luftkur- sowie Erholungsorte.

Der Gesetzesbegründung ist zu entnehmen, dass die Frage des „Ob“ eines Gästebeitrages im Ermessen der Gemeinde liegt. Ausdrücklich wird ausgeführt, dass es auch bei einer gesetzlichen Verpflichtung zur Haushaltskonsolidierung grundsätzlich in der Entscheidung der betroffenen Gemeinde liegen soll, welche der ihr zur Verfügung stehenden Maßnahmen sie zur Haushaltskonsolidierung ergreifen will und nicht der zuständigen Kommunalaufsichtsbehörde. Wir haben Zweifel, dass sich allein mit dieser Begründung die von den Parlamentariern beabsichtigte Zielstellung verwirklichen lässt, die Entscheidung für oder gegen Gästebeiträge tatsächlich einer kommunalaufsichtlichen Verfügung zu entziehen. Der Gästebeitrag dürfte ein spezielles Entgelt im Sinne des § 99 Abs. 2 Nr. 1 KVG LSA sein. Wenn der Gesetzgeber tatsächlich sicherstellen will, dass Konsolidierungskommunen nicht vorrangig zur Erhebung eines Gästebeitrages verpflichtet werden können, müsste er diese Einnahmen explizit aus der Rangfolgenregelung dieser Vorschrift ausklammern.

Fraglich erscheint, wie sich die Erhebung des Gästebeitrages insbesondere bei Tagesgästen verwaltungspraktikabel realisieren lässt. Der Gesetzgeber sollte jedenfalls Vorsorge dafür treffen, dass eine gemeindliche Regelung nicht deshalb nichtig ist, weil sie Tagesgäste unberücksichtigt lässt.

Artikel 1, Ziffer 3
Mit der Weiterentwicklung der betrieblichen Tourismusabgabe zu einem ***Tourismusbeitrag*** ist keine materiell-rechtliche Änderung verbunden. Das zukünftig nur noch staatlich anerkannte Kur- oder Erholungsorte diesen Beitrag erheben können sollen, erscheint nicht sachgerecht. Wir empfehlen, hier alle in der Kurorteverordnung des Landes Sachsen-Anhalt bezeichneten Orte aufzunehmen oder aber auf die Kurorteverordnung zu verweisen. Wir erkennen keinen sachlichen Grund dafür, dass beispielsweise (zukünftig) anerkannte Heilbäder oder Luftkurorte nicht von dieser Regelung partizipieren.

Des Weiteren werden Städte und Gemeinden, deren Zahl der Gästeübernachtungen im Jahr in der Regel das Siebenfache ihrer Einwohnerzahl übersteigt, künftig aus dem Anwendungsbereich herausgenommen. Vor dem Hintergrund, dass diesen Gemeinden nunmehr die Möglichkeit der Erhebung eines Gästebeitrages eingeräumt werden soll, erscheinen die Überlegungen, welche sich insbesondere aus der Gesetzesbegründung ergeben, akzeptabel.

Gleichwohl sei darauf hingewiesen, dass der beitragspflichtige Adressatenkreis des Gästebeitrages und des Tourismusbeitrages unterschiedlich sind. Während der Gästebeitrag von den Gästen erhoben werden soll, die im Ort touristische Angebote nutzen, wird der Tourismusbeitrag von den selbstständig tätigen, natürlichen und juristischen Personen sowie sonstigen Un-

ternehmen im Gemeindegebiet erhoben. Den Städten und Gemeinden mit einer hohen Übernachtungszahl würde damit die Möglichkeit genommen, auch die im Ort ansässigen Unternehmen, welche ebenfalls vom Tourismus profitieren, an den hierfür erforderlichen Aufwendungen zu beteiligen.

Artikel 1, Ziffer 4
Der Gesetzentwurf sieht diverse Änderungen in den Verweisungen auf die Abgabenordnung vor, die sich im Wesentlichen aus Änderungen in der Abgabenordnung selbst bzw. aus der Notwendigkeit einer gesetzgeberischen Klarstellung ergeben.

Zu begrüßen ist ausdrücklich, dass der Anwendungsbereich des § 238 Abgabenordnung (AO) wieder in die Liste der Verweisungen aufgenommen wird. Einige der durch die Gesetzesänderung vom 17.06.2016 bedingten Vollzugsprobleme bei der Ermittlung der Zinsansprüche werden damit ausgeräumt.

Unsere damals in der Anhörung geäußerte Kritik an einer flexiblen Verzinsung erhalten wir aufrecht. Der Verwaltungsaufwand bei der Ermittlung der Verzinsung erhöht sich dadurch in den Städten und Gemeinden oder bei den kommunalen Aufgabenträgern erheblich. Teilweise wird eine manuelle Berechnung erforderlich. Wir erneuern deshalb unsere Bitte, die Wiedereinführung eines festen Zinssatzes zum Zwecke der Verwaltungsvereinfachung in Erwägung zu ziehen.

Ergänzung Artikel 3 neu
Neuregelung zur Refinanzierung der Straßenoberflächenentwässerung
Wir bitten darum als neuen Art. 3 die durch uns mit gemeinsamen Schreiben des Wasserverbandstages angeregte Neuregelung der Refinanzierung der Straßenoberflächenentwässerung vom 18.12.2018 (*Anlage 2*) in den Gesetzentwurf aufzunehmen:

§ 23 Abs. 3 StrG LSA wird wie folgt geändert:

„Erfolgt eine Straßenentwässerung über eine nicht straßeneigene, von der Gemeinde oder dem Abwasserverband eingerichtete Abwasseranlage, so beteiligt sich der Träger der Straßenbaulast an den Kosten der Herstellung oder Erneuerung ***sowie für den Betrieb und die Unterhaltung*** dieser Anlage ***nach den Vorschriften des Kommunalabgabengesetzes des Landes Sachsen-Anhalt***. Soweit der Straßenbaulastträger in der Vergangenheit eine Kostenerstattung nach § 23 Abs. 5 StrG LSA in der bis zum … geltenden Fassung geleistet hatte, ist dieser Betrag entsprechend zu berücksichtigen.“

Zur Begründung verweisen wir auf das oben genannte Schreiben vom 18.12.2018 an die Regierungsfraktionen im Landtag von Sachsen-Anhalt.

Für Nachfragen zu dieser Stellungnahme stehen wir am 10.01.2019 in ihrem Ausschuss gern zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Jürgen Leindecker
Landesgeschäftsführer

Anlagen

Anlage 2 zu TOP 4

Gemeinsames Schreiben Städte- und Gemeindebund Sachsen-Anhalt und Wasserverbandstag e.V.

Wasserverbandstag e.V.
Bremen | Niedersachsen | Sachsen-Anhalt

SGSA und Wasserverbandstag e.V.

Städte- und Gemeindebund
Sternstraße 3
✉ Postfach 4009
39015 Magdeburg
☎ 0391/ 5924-300
Fax: 0391/ 5924-444
post@sgsa.info

Wasserverbandstag e.V.
Geschäftsstelle Sachsen-Anhalt
Halberstädter Str. 40a
39112 Magdeburg
☎ 0391/25197931
Fax: 0391/25197940
post-lsa@wasserverbandstag.de

An die

Regierungsfraktionen im
Landtag von Sachsen-Anhalt
Domplatz 6 - 9
39104 Magdeburg

05.02.2019

Entwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung kommunalrechtlicher Vorschriften (Drs. 7/3491)
Bezug: Anhörung vom 10.01.2019

Sehr geehrte/r Frau/Herr Fraktionsvorsitzende/-der,
Sehr geehrte Landtagsabgeordnete,

im Nachgang der öffentlichen Anhörung zum oben genannten Gesetzentwurf vom 10.01.2019, zur Beitragserhebung bei leitungsgebundenen öffentlichen Einrichtungen haben wir die dringende Bitte, mit Ihnen eine wichtige rechtliche Frage noch einmal zu erörtern. Wir nehmen insoweit Bezug auf die Stellungnahmen sowohl des SGSA als auch des Herrn Rechtanwalt Pencereci in der Anhörung sowie die Diskussionen im Rahmen der Wörlitzer Beitragstage.

Zentrale Frage ist die Einordnung des Urteils des OVG-Magdeburg vom 21. August 2018 (Az: 4 K 231/15) zur Beitragsdeckung (mindestens 80%).

Die bisherige Rechtslage des KAG-Sachsen-Anhalt ist aus der Änderung des KAG im Jahr 1996 hervorgegangen. Mit dieser Änderung wurde die Erhebung von Beiträgen für Abwasseranlagen erstmals verpflichtend eingeführt. Ursprünglich sah der Gesetzentwurf vor, dass die Aufgabenträger maximal 50 % der Investitionskosten als Beiträge erheben sollten. Im Laufe der Landtagsberatungen wurde dann entschieden, von der 50 %-Regelung Abstand zu

nehmen und den Aufgabenträgern einen eigenen Spielraum für die Beitragserhebung zu geben. (Plenarprotokoll vom 25.04.1996, vgl. dazu auch: Ausführungen in Anlage 1 der Stellungnahme des SGSA vom 20.12.2018). Der nicht durch Beiträge gedeckte Investitionskostenanteil ist dann folgerichtig durch Gebühren zu refinanzieren.

Zu keinem Zeitpunkt hat der Landtag jedoch intendiert, dass 80 % der Investitionskosten aus Beiträgen zu finanzieren sind.

Auch die Landesregierung hat in ihrer Antwort auf eine große Anfrage zu Wasser- und Abwasserentgelten vom 21.08.2017 (LT-Drs. 7/1768) auf die Gebühr als weiteres Deckungsmittel verwiesen. Die Antwort zeigt, dass die tatsächliche Deckungsquote für Investitionen im Bundesland Sachsen-Anhalt im Durchschnitt jedenfalls häufig unter 80 % liegt.

Insoweit halten wir auch die gegenwärtige Begründung des Gesetzentwurfs, die die Rechtsauffassung des OVG LSA stützt, für fehlerhaft. Der SGSA hatte deshalb schon mit seiner Stellungnahme vom 20. Dezember eine Änderung der Begründung angeregt, auf die wir noch einmal besonders hinweisen.

Verschiedene Fachanwälte sind zur Auffassung gelangt, dass das Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) das OVG-Urteil bereits auf Grund eines Formfehlers an das OVG LSA zur Entscheidung zurückverweisen wird. In dem Fall hätte das OVG LSA erneut in der Sache zu entscheiden. Wir sehen einem Bekräftigen der ursprünglichen Intention des Gesetzgebers in der aktuellen Gesetzesbegründung eine Möglichkeit, das OVG LSA zu einer anderen Einschätzung zu bewegen. Zu beachten ist:

1. Die Pflicht, die Investitionskosten in nahezu voller Höhe über Beiträge zu decken, wird erst mit Inkrafttreten der beabsichtigten KAG-Änderung, also für die Zukunft, entfallen.

2. Von den Aufgabenträgern wären Nachveranlagungen für die Grundstücke vorzunehmen, die in den letzten 10 Jahre einen Anschluss an die zentrale Anlage bekommen haben. Nachveranlagte und neu anzuschließende Grundstückseigentümer müssten in der Folge einen höheren Beitrag entrichten als Grundstückseigentümer, bei denen eine Nachveranlagung (Frist) ausgeschlossen ist.

3. Die Gerichte könnten zudem in künftigen Verfahren die Gebührenkalkulationen der betroffenen Aufgabenträger beanstanden. Denn Abschreibungen auf Teile des Anlagevermögens, die nach Auffassung des OVG LSA über Beiträge hätten refinanziert werden müssen, können nicht Bestandteil des Aufwandes der Gebührenkalkulation sein. Es drohen erhebliche Einnahmeverluste für die Aufgabenträger.

Mit einer entsprechenden Klarstellung der ursprünglichen Intention des Gesetzgebers in der Gesetzesbegründung verbinden wir die Hoffnung, dass sich die **unzutreffenden Rückschlüsse in Bezug auf die Höhe der erforderlichen Beitragsrefinanzierung und der daraus resultierenden Auswirkungen auf die Gebührenkalkulationen der Aufgabenträger auflösen lassen.** Nur so kann vor allem eine erhebliche wirtschaftliche Schieflage bei den Aufgabenträgern vermieden werden**.**

Mit freundlichen Grüßen

Jürgen Leindecker
Landesgeschäftsführer
Städte- und Gemeindebund
Sachsen-Anhalt

Godehard Hennies
Geschäftsführer
Wasserverbandstag e. V.
Bremen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt

Gericht:	Oberverwaltungsgericht des Landes Sachsen-Anhalt 4. Senat
Entscheidungsdatum:	29.09.2010
Aktenzeichen:	4 L 101/10
ECLI:	ECLI:DE:OVGST:2010:0929.4L101.10.0A
Dokumenttyp:	Urteil
Quelle:	
Normen:	§ 6 Abs 1 S 1 KAG ST, § 150 Abs 4 WasG ST, § 151 Abs 3 WasG ST
Zitiervorschlag:	Oberverwaltungsgericht des Landes Sachsen-Anhalt, Urteil vom 29. September 2010 – 4 L 101/10 –, juris

Erhebung von Niederschlagswasserbeiträgen; Beseitigungspflicht; Abwasserbeseitigungskonzept

Leitsatz

1. Grundsätzlich kann ein Grundstückseigentümer sein Grundstück nach den Regelungen des Wassergesetzes des Landes Sachsen-Anhalt nicht (dauerhaft) an einen Niederschlagswasserkanal anschließen, weil § 151 Abs. 3 Nr. 1 WG LSA (juris: WasG ST) für das Niederschlagswasser von einer umfassenden Beseitigungspflicht des Grundstückseigentümers selbst ausgeht.(Rn.33)

2. Von einem beitragsrechtlichen Vorteil ist erst dann auszugehen, wenn die Beseitigungspflicht des Grundstückseigentümers unter den Voraussetzungen des § 151 Abs. 3 WG LSA (juris: WasG ST) auf die Gemeinde übergegangen ist.(Rn.40)

3. Die Einführung eines Anschluss- und Benutzungszwangs im Hinblick auf eine öffentliche Entwässerungseinrichtung für zu beseitigendes Niederschlagswasser verlangt im Rahmen der Bindung an Gründe des öffentlichen Wohls regelmäßig eine besondere wasserwirtschaftliche Rechtfertigung. (Rn.41)

4. Angesichts der Gewichtigkeit des in § 151 Abs. 3 Halbs. 2 WG LSA (juris: WasG ST) bezeichneten Schutzguts und der dem Einrichtungsträger einzuräumenden Planungssicherheit reichen abstrakte Gefahren für das Wohl der Allgemeinheit aus. (Rn.42)

5. Den Gemeinden bzw. Zweckverbänden obliegt es, den Sachverhalt mit Hilfe von Fachbehörden so zu ermitteln, dass sie im Hinblick auf ihr Abwasserbeseitigungskonzept eine zuverlässige Aussage darüber treffen können, ob und gegebenenfalls inwieweit im Entsorgungsgebiet nicht versickerungsfähige Böden vorliegen und wie sich diese auf das Wohl der Allgemeinheit auswirken.(Rn.43)

Verfahrensgang

vorgehend VG Magdeburg, 5. März 2010, 9 A 295/08, Urteil
Diese Entscheidung wird zitiert

Rechtsprechung
Anschluss VG Halle (Saale) 3. Kammer, 30. April 2012, 3 A 865/10

Verwaltungsvorschriften der Länder
Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, i. d. F. v. 27.05.2013, Az.:21-62629

Tatbestand

1 Die Klägerin wendet sich gegen ihre Heranziehung zu einem Beitrag für die erstmalige Herstellung der zentralen öffentlichen Niederschlagswasserbeseitigungsanlage des Beklagten.

2 Sie ist Eigentümerin des 4.764 m² großen Grundstücks (S...), Flur A, Flurstück B, der Gemarkung B.. Das unbebaute und unversiegelte Grundstück, das landwirtschaftlich genutzt wird, liegt im Gebiet des Bebauungsplans „(S...)“ und ist nach Angaben der Klägerin als Stilllegungsfläche ausgewiesen. Vor dem Grundstück befindet sich ein Kanal zur Aufnahme von Niederschlagswasser. Ein Grundstücksanschluss ist nicht vorhanden, so dass das auf dem Grundstück anfallende Niederschlagswasser derzeit nicht in die Niederschlagswasserbeseitigungsanlage des Beklagten eingeleitet wird.

3 Hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit des klägerischen Grundstücks liegen folgende Erkenntnisse vor: Nach einem für das Baugebiet erstellten Baugrundgutachten der Ingenieurgesellschaft Wasser- und Tiefbau mbH aus dem Jahre 1994 (Beiakte B) befinden sich im Baugebiet „(S...)“ unter einer sehr dünnen alluvialen (angeschwemmten) Lehmschicht diluviale (eiszeitliche) Harzschotter. Darunter folgen Schichten aus Kreidesandstein, die im oberen Bereich zu Sand verwittert sind. Diese Feststellungen gehen ausweislich des Gutachtens (S. 4 und 5) auf Rammkernsondierungen zurück, die zur Erkundung der Bodenbeschaffenheit durchgeführt worden sind. Die Wasserdurchlässigkeit des Harzschotters (schluffiger Kiessand) ist begrenzt, weil sein Feinkornanteil bei Wasserzufuhr sofort verschlammt (Seite 16). Die Untergrundversickerung von Regenwasser ist wegen der Mächtigkeit der undurchlässigen Deckschichten (Lehm, Harzschotter) grundsätzlich nur über relativ tiefe Schächte möglich; unter Berücksichtigung einer maximalen Schachttiefe von 3 m besteht - so das Gutachten (vgl. Seite 21) - eine Versickerungsmöglichkeit nur an den Punkten B 2 - B 5 und RKS 2, 3 und 7. Wegen der weiteren Einzelheiten des Gutachtens wird auf die Beiakte B verwiesen. Ausweislich einer Karte zur flächentypischen Aufnahmefähigkeit des Bodens von Sickerwasser der (S...) GmbH W-Stadt sowie der (H...) GmbH (Kartenerstellung vom 9. November 2005) liegt das klägerische Grundstück in einem Bereich mit vorwiegend schluffigen, tonigen oder organischen Schichten mit $k < 5 \times 10$ m/s, deren Wasserdurchlässigkeit nicht für Versickerungsanlagen geeignet ist.

4 Mit Bescheid vom 30. Juli 2008 zog der Beklagte die Klägerin zu einem Beitrag für die Herstellung der zentralen öffentlichen Niederschlagswasserbeseitigungsanlage in Höhe von 4.878,34 Euro heran. Hiergegen erhob die Klägerin unter dem 26. August 2008 Widerspruch und führte zur Begründung aus, bei dem Flurstück B handele es sich um ein landwirtschaftlich genutztes Grundstück, so dass das anfallende Niederschlagswasser auf dem Grundstück verwertet werden könne. Mit Widerspruchsbescheid vom 25. September 2008 wies der Beklagte den Widerspruch mit der Begründung zurück, das Grundstück liege im Gebiet eines Bebauungsplans und sei als allgemeines Wohngebiet mit ei-

ner Grundflächenzahl von 0,4 ausgewiesen. Bei einer derartigen Bebauung sei von einer entsprechenden Versiegelung auszugehen.

5 Mit der am 27. Oktober 2008 erhobenen Klage hat die Klägerin geltend gemacht, das streitgegenständliche Grundstück sei nicht bebaut und nicht versiegelt, so dass die Anlage für sie keinen Vorteil biete. Die Pflicht zur Niederschlagswasserbeseitigung liege unter Zugrundelegung der Regelung von § 151 WG LSA bei dem jeweiligen Grundstückseigentümer, wobei dieser keinesfalls nur die Möglichkeit der Versickerung habe.

6 Sie hat beantragt,

7 den Bescheid des Beklagten vom 30. Juli 2008 in Gestalt des Widerspruchsbescheides vom 25. September 2008 aufzuheben und festzustellen, dass die Zuziehung eines Bevollmächtigten im Vorverfahren notwendig war.

8 Der Beklagte hat beantragt,

9 die Klage abzuweisen.

10 Er hat ausgeführt, der Grundstücksanschluss sei noch nicht betriebsfertig hergestellt worden. Die sachliche Beitragspflicht sei demzufolge erst mit Inkrafttreten der 6. Änderung der Abgabensatzung zum 1. Januar 2004 entstanden, so dass der Beitrag nicht verjährt sei. Es sei zutreffend, dass das Grundstück derzeit unbebaut sei, es sei indessen unter Berücksichtigung der Festsetzungen im Bebauungsplan versiegelbar. Aufgrund der Lage des Grundstücks im Bebauungsplangebiet und des bestehenden Anschluss- und Benutzungszwangs sei am 1. Januar 2004 die sachliche Beitragspflicht entstanden.

11 Mit dem angefochtenen Urteil vom 5. März 2010 hat das Verwaltungsgericht Magdeburg die Klage abgewiesen und zur Begründung im Wesentlichen ausgeführt, ein Grundstück sei dann von einer Niederschlagswasserbeseitigungsanlage im Sinne von § 6 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA bevorteilt, wenn es unter Berücksichtigung einer rechtmäßigen Regelung zum Anschluss- und Benutzungszwang diesem abstrakt unterliege. Eine derartige Regelung finde sich in § 3 der Technischen Satzung des Beklagten; insbesondere setze diese Vorschrift die Vorgaben des § 151 Abs. 3 WG LSA um. Unerheblich sei - auch unter Berücksichtigung von § 3 Abs. 1 lit. c) der Abgabensatzung -, ob aufgrund der Regelungen in der Technischen Abwassersatzung ein Anschlusszwang bereits angeordnet werden könne. Denn wie im Bereich der Beitragserhebung für eine öffentliche Schmutzwasserentsorgung komme es nicht darauf an, ob das Grundstück einem diesbezüglich durch Satzung angeordneten Anschluss- und Benutzungszwang bereits konkret unterliege, da dieser - im Schmutzwasserbereich - auch nur für solche Grundstücke wirksam angeordnet werden könne, auf denen Schmutzwasser auf Dauer anfalle. So unterlägen - im Schmutzwasserbereich - auch vom Anschluss- und Benutzungszwang nicht erfasste, weil unbebaute oder von einem solchen befreite Grundstücke zwar nicht dem Anschluss- und Benutzungszwang; gleichwohl hätten diese Grundstücke einen Vorteil allein deshalb, weil sie grundsätzlich bebaubar seien. Gleiches gelte selbstverständlich auch im Bereich der Beiträge für die Herstellung einer Niederschlagswasserbeseitigungsanlage. Auch hier bestehe, weil Niederschlagswasser nur dann „Abwasser“ sei, wenn es von bebauten und befestigten Flächen abfließe, erst dann Anschluss- und Benutzungszwang, wenn das Grundstück entsprechend bebaut oder befestigt sei. Gleichwohl unterlägen auch unbebaute, aber bebaubare Grundstücke der Beitragspflicht, weil nach § 6 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA allein die „Möglichkeit der Inanspruchnahme“ genüge. Möglich sei eine Inanspruch-

nahme unabhängig vom objektiven Bedürfnis oder subjektiven Vermögen. Insofern seien die Fragen der Bebaubarkeit und der Versickerungsfähigkeit des Bodens bzw. der Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit und damit die Frage des Vorliegens der Voraussetzungen für eine Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs stets abstrakt zu beurteilen. Der Vorteil sei immer die Möglichkeit der Inanspruchnahme. Für diesen genüge es stets, dass ein Grundstück bebaubar sei und sich in diesem Fall an die öffentliche Einrichtung anschließen müsse.

12 So liege der Fall auch hier. Das Grundstück liege im Bereich eines Bebauungsplans, so dass es bebaubar sei. Dass die Klägerin es derzeit landwirtschaftlich nutze, sei insoweit ebenso unerheblich wie die behauptete Nutzung als Stilllegungsfläche. Das Grundstück würde auch, wenn es bebaut würde, dem Anschluss- und Benutzungszwang an die öffentliche Niederschlagswasserbeseitigungsanlage des Beklagten unterliegen, denn das dann als Abwasser auf dem Grundstück anfallende Niederschlagswasser könne auf dem Grundstück nicht ohne Beeinträchtigung öffentlicher Belange beseitigt werden. Insoweit bedürfe es insbesondere keiner grundstücksgenauen Überprüfung. Vielmehr reiche es - abstrakt und unabhängig vom Einzelfall - aus, wenn in dem Gebiet, in welchem sich das Grundstück befinde, die wasserrechtlichen Verhältnisse dergestalt seien, dass eine Beseitigung des Niederschlagswassers durch den Grundstückseigentümer auf dem Grundstück nicht möglich sei. Dabei sei zu berücksichtigen, dass die Versickerung die allein von § 150 Abs. 4 WG LSA vorgesehene Art der Niederschlagswasserbeseitigung sei. Nach den vom Beklagten vorgelegten Unterlagen sei die Versickerungsfähigkeit des Bodens im Baugebiet „(S...)“ derart gering, dass von Versickerungsmöglichkeiten bei einer Versiegelung nicht auszugehen sei bzw. diese jedenfalls einen ganz erheblichen technischen Aufwand erfordern würden. Weitergehende Ermittlungen seien nicht notwendig, insbesondere sei von dem Beklagten nicht zu verlangen, dass er vor der Errichtung von Niederschlagswasserbeseitigungsanlagen die Beseitigungsmöglichkeit für jedes Grundstück im Einzelnen prüfe.

13 Zur Begründung ihrer vom Verwaltungsgericht zugelassenen Berufung trägt die Klägerin vor, die Vorinstanz sei rechtsfehlerhaft vom materiell-rechtlichen Bestand des § 3 der Technischen Abwassersatzung des Beklagten ausgegangen; insbesondere sei es unzulässig, aufgrund der in der Satzung enthaltenen Legaldefinition zu dem Begriff der öffentlichen Belange, der auch fiskalische Gründe erfasse, eine Beeinträchtigung öffentlicher Belange mit einer Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit im Sinne der Norm gleichzusetzen. Weiter sei die Vorinstanz rechtsfehlerhaft davon ausgegangen, dass für ihr landwirtschaftlich genutztes Grundstück eine abstrakte Beitragspflicht entstanden sei, da die Vorteilslage bereits mit dem Verlegen eines Sammlers vor dem Grundstück begründet werde. Eine solche Betrachtungsweise sei durch § 151 WG LSA ausgeschlossen. Insoweit werde verkannt, dass eine Abwasserbeseitigungspflicht des Beklagten zur Niederschlagswasserbeseitigung nur dann bestehe, wenn sie ihrer Verpflichtung nicht nachkomme, weil mit der Beseitigung des Niederschlagswassers auf ihrem Grundstück das Wohl der Allgemeinheit beeinträchtigt werde. Auch durch § 150 Abs. 4 WG LSA werde § 151 Abs. 3 WG LSA nicht eingeschränkt. Vielmehr stünden dem Grundstückseigentümer auch andere Entsorgungsmöglichkeiten offen. Ihre Entsorgungspflicht für ihr Grundstück werde nur dann auf den Beklagten übertragen, wenn die technischen Voraussetzungen für eine Entsorgung des Niederschlagswassers auf ihrem Grundstück im bebauten Zustand ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit nicht vorhanden seien. Diese Bewertung eventueller Beeinträchtigungen habe nicht abstrakt, sondern konkret bezogen auf die Umstände des Einzelfalls zu erfolgen und ergebe für ihr Grund-

stück, dass eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit durch die jetzt stattfindende Versickerung des Niederschlagswassers auf dem Grundstück völlig ausgeschlossen sei. Demzufolge sei derzeit eine Vorteilslage für ihr Grundstück nicht existent, da eine Entwässerung eines landwirtschaftlich genutzten Grundstücks nach den Bestimmungen des WG LSA nicht vorgesehen sei und damit das in § 2 Abs. 3 Nr. 3 WG LSA genannte Wohl der Allgemeinheit durch die Beseitigung des Niederschlagswassers auf dem Grundstück nicht beeinträchtigt werde. Aber selbst im Falle einer Bebauung sei eine gesicherte Prognose, ob das anfallende Niederschlagswasser durch den Eigentümer entsorgt werden könne, ausgeschlossen, da die konkreten Bedingungen, unter welchen dann die Entsorgung stattfinde, einschließlich einer zukünftigen Bebauung unbekannt seien.

14 Die Klägerin beantragt,

15 das Urteil des Verwaltungsgerichts Magdeburg vom 5. März 2010 zu ändern und den Bescheid des Beklagten vom 30. Juli 2008 in der Gestalt des Widerspruchsbescheides vom 25. September 2008 aufzuheben, und

16 die Hinzuziehung eines Bevollmächtigten für das Vorverfahren für notwendig zu erklären.

17 Der Beklagte beantragt,

18 die Berufung zurückzuweisen.

19 Er führt aus, die Regelung in § 3 Abs. 1 Satz 2 der Technischen Abwassersatzung erweise sich bei gesetzeskonformer Auslegung im Sinne des § 151 Abs. 3 WG LSA als wirksam, da sie nur so verstanden werden könne, dass allein die Beeinträchtigung öffentlicher Belange eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit im Sinne der Satzungsregelung sei. Das klägerische Grundstück sei auch beitragspflichtig; insbesondere bestehe ein Anschluss- und Benutzungszwang, weil das Grundstück im Geltungsbereich eines Bebauungsplans liege und aufgrund der Festsetzungen im Bebauungsplan baulich nutzbar sei. Für die Beurteilung der Erforderlichkeit der Abwasserbeseitigung durch den Verband sei bei unbebauten Grundstücken oder Grundstücksteilen nicht vom unbebauten Ist-Zustand, sondern von der Annahme einer ortsüblichen, den Festsetzungen des Bebauungsplans entsprechenden Bebauung auszugehen; denn das Kanalbaubeitragsrecht knüpfe die Beitragspflicht an die Baulandqualität von Grundstücken an. Schließlich ergebe sich aus dem eingeholten Baugrundgutachten, dass eine Versickerung nur über relativ tiefe Schächte erfolgen könne. Damit stehe fest, dass im Falle der Bebauung das Grundstück entsprechend den Festsetzungen des Bebauungsplans eine Niederschlagswasserbeseitigung durch den Grundstückseigentümer gemäß § 151 Abs. 3 WG LSA nicht möglich sei.

20 Der Senat hat in der mündlichen Verhandlung vom 29. September 2010 zur flächentypischen Aufnahmefähigkeit des Bodens von Sickerwasser im Bereich des klägerischen Grundstücks den sachverständigen Geschäftsführer der zur Kartenerstellung vom 9. November 2005 beauftragten (S...) GmbH W-Stadt, Herrn Dr. W. K., angehört. Hinsichtlich seiner Stellungnahme im Einzelnen wird auf den Inhalt des Protokolls der öffentlichen Sitzung verwiesen.

21 Wegen der weiteren Einzelheiten des Sach- und Streitstandes wird auf den Inhalt der Gerichtsakte und des beigezogenen Verwaltungsvorgangs des Beklagten Bezug genommen, die Gegenstand der mündlichen Verhandlung gewesen sind.

Entscheidungsgründe

22 Die zulässige Berufung ist begründet.

23 Der angefochtene Beitragsbescheid ist rechtswidrig und verletzt die Klägerin in ihren Rechten (vgl. § 113 Abs. 1 Satz 1 VwGO); denn für die Erhebung von Niederschlagswasserbeiträgen für die Möglichkeit der Anschlussnahme an die zentrale Niederschlagswasserbeseitigungsanlage fehlt es dem Beklagten an einer wirksamen Rechtsgrundlage; insbesondere kann der angefochtene Bescheid entgegen der Auffassung des Verwaltungsgerichts nicht auf die §§ 2, 3 Abs. 1 lit. c), 5 der Satzung des Beklagten über die Erhebung von Beiträgen und Gebühren für die Abwasserbeseitigung - Abgabensatzung (AS) - vom 29. Oktober 1998 in der Fassung der 7. Änderung vom 27. Mai 2004 gestützt werden.

24 Nach diesen Vorschriften erhebt der Beklagte zur Deckung seines Aufwandes für die Herstellung der jeweiligen zentralen öffentlichen Abwasseranlage (§ 1 Abs. 2 AS) von den Beitragspflichtigen, denen durch die Inanspruchnahme oder die Möglichkeit der Inanspruchnahme dieser Leistungen ein Vorteil entsteht, Abwasserbeiträge, soweit der Aufwand nicht durch Gebühren gedeckt ist (§ 2 Abs. 1 AS). Dabei entsteht die Beitragspflicht bei Vorliegen dieser Voraussetzungen gemäß § 7 Abs. 1 AS mit der betriebsfertigen Herstellung der zentralen öffentlichen Abwasseranlage vor dem Grundstück.

25 Der Beitragspflicht für Niederschlagswasser gemäß § 3 Abs. 1 Satz 2 AS unterliegen allerdings nur Grundstücke, für die nach § 3 Abs. 1 der Satzung des Beklagten über die Abwasserbeseitigung und den Anschluss an die öffentliche Abwasserbeseitigungsanlage - Technische Abwassersatzung (TAS) - vom 30. Juli 1998 in der Fassung der 1. Änderung vom 15. April 1999 ein Anschlusszwang an die öffentliche zentrale Niederschlagswasseranlage vorgesehen ist.

26 1. Diese Vorschriften sind in ihrer Gesamtheit schon deswegen nicht geeignet, eine Beitragspflicht der Klägerin zu begründen, weil der in § 3 Abs. 1 Satz 2 TAS geregelte Anschlusszwang an die öffentliche Abwasseranlage des Beklagten für die Niederschlagswasserbeseitigung, auf den § 3 Abs. 1 Satz 2 AS Bezug nimmt, den Anforderungen des § 151 Abs. 3 des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt - WG LSA - nicht gerecht wird (noch offen gelassen in: OVG LSA, Beschl. v. 02.11.2009 - 4 M 93/09 -).

27 Nach dieser Vorschrift sind die Grundstückseigentümer zur Beseitigung des Niederschlagswassers anstelle der Gemeinde verpflichtet, soweit nicht die Gemeinde den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt, weil ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten. Die von dem Beklagten in § 3 Abs. 1 Satz 2 TAS gewählte Formulierung „wenn nicht öffentliche Belange, wie die Verhütung von Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit dem entgegenstehen“ entspricht unzweifelhaft nicht dem Wortlaut des § 151 Abs. 3 Halbs. 2 WG LSA, weil diese Vorschrift die Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs nicht vom Vorliegen öffentlicher Belange, sondern ausschließlich von einer Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit abhängig macht. Demgegenüber hat der Beklagte eine eigene Definition des Anschlusszwangs für die Nie-

derschlagswasserbeseitigung entwickelt, die über den Wortlaut des § 151 Abs. 3 Halbs. 2 WG LSA hinausgeht, weil die Satzungsbestimmung nicht ausschließlich an das „Wohl der Allgemeinheit“ anknüpft, sondern für den Beklagten die Möglichkeit eröffnet, den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage auch dann vorzuschreiben, wenn „öffentliche Belange“ dies rechfertigen. Dabei sind nach Auffassung des Senats die Begriffe „öffentliche Belange“ und „Wohl der Allgemeinheit“ nicht deckungsgleich. Vielmehr ergibt sich schon aus dem Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt selbst, dass der Gesetzgeber nicht nur zwischen den Begrifflichkeiten unterscheidet (vgl. zum Begriff „öffentliche Belange“ die §§ 47 Abs. 1, 185 Abs. 4 WG LSA und zum Begriff „Wohl der Allgemeinheit“ z. B. die §§ 2 Abs. 3, 6 Abs. 1 WG LSA), sondern den Begriff „öffentliche Belange“ weit versteht, indem er ihm in den o. g. Vorschriften (teilweise) die Bedeutung eines Auffangtatbestands zukommen lässt. § 3 Abs. 1 Satz 2 TAS bekommt auch nicht dadurch eine andere Bedeutung, weil die Vorschrift den Begriff „Wohl der Allgemeinheit“ verwendet; denn durch den Zusatz „wie…“ stellt die „Verhütung von Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit“ nur eine beispielhafte Aufzählung für einen öffentlichen Belang im Sinne des § 3 Abs. 1 Satz 2 TAS dar.

28 Soweit das Verwaltungsgericht die Auffassung vertritt, aus der in § 3 Abs. 1 Satz 3 TAS folgenden Legaldefinition zu dem Begriff der öffentlichen Belange und dem Fehlen von weiteren Ausführungen zu dem Begriff des Wohls der Allgemeinheit müsse die Formulierung in § 3 Abs. 1 Satz 2 TAS dahingehend verstanden werden, dass allein die Beeinträchtigung öffentlicher Belange eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit im Sinne der Norm sei, schließt sich der Senat dieser Auslegung nicht an. Vielmehr ist gerade durch die Wendung „öffentliche Belange sind insbesondere “ in § 3 Abs. 1 Satz 3 TAS der Anwendungsbereich der Satzung nicht abschließend umschrieben, sondern lässt nach wie vor eine Auslegung dahingehend zu, dass weitere, nicht von § 151 Abs. 3 Halbs. 2 WG LSA zugelassene „öffentliche Belange“ den Anschlusszwang rechtfertigen könnten.

29 Ist mithin § 3 Abs. 1 Satz 2 TAS nach seinem eindeutigen und einer abweichenden Auslegung nicht zugänglichen Wortlaut mit der Regelung des § 151 Abs. 3 Halbs. 2 WG LSA nicht vereinbar, kann danach ein wirksamer Anschlusszwang nicht begründet werden mit der Folge, dass auch § 3 Abs. 1 Satz 2 AS, der das Entstehen der Beitragspflicht für Niederschlagswasser ausdrücklich an diese Vorschrift knüpft, keine wirksame Bestimmung der Beitragspflicht für Niederschlagswasser im Sinne des § 2 Abs. 1 Satz 2 KAG LSA trifft.

30 2. Unabhängig davon ist entgegen der Auffassung des Verwaltungsgerichts auch deswegen eine Beitragspflicht der Klägerin für die Möglichkeit der Inanspruchnahme der zentralen Niederschlagswasserbeseitigungsanlage des Beklagten noch nicht entstanden, weil die Voraussetzungen des § 3 Abs. 1 Satz 2 AS i. V. m. § 3 Abs. 1 Satz 1 i. V. m. Abs. 2 TAS nicht erfüllt sind.

31 2.1. Dabei legt der Senat seiner Auffassung folgende Grundsätze für die Erhebung von Niederschlagswasserbeiträgen zugrunde:

32 Die Erhebung eines Beitrags nach § 6 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA setzt voraus, dass der Grundstückseigentümer die auf Dauer gesicherte Möglichkeit zur Inanspruchnahme der öffentlichen Einrichtung hat und ihm dadurch dauerhaft besondere wirtschaftliche Vorteile erwachsen (st. Rspr. d. Senats, vgl. nur OVG LSA, Beschl. v. 20.07.2009 - 4 L 66/09 -, zit. nach juris). Davon ist im Bereich der Abwasserbeseitigung immer dann aus-

zugehen, wenn der Grundstückseigentümer ein Recht zum Anschluss an den vor seinem Grundstück betriebsfertig hergestellten Kanal hat, d. h. wenn für ihn die dauerhafte, rechtlich gesicherte Möglichkeit der Anschlussnahme gewährleistet ist. Dieses Recht kann sich unmittelbar aus dem Gesetz, einer kommunalen Abwasserbeseitigungssatzung oder einem dieses Recht begründenden Verwaltungsakt ergeben oder dadurch begründet werden, dass das Grundstück einem Anschluss- und Benutzungszwang unterliegt (vgl. dazu auch OVG Niedersachsen, Beschl. v. 21.09.2006 - 9 LA 2/06 -, zit. nach juris).

33 Dies ist für den Bereich der Niederschlagswasserbeseitigung nach dem Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt nicht ohne Weiteres der Fall, weil der Grundstückseigentümer sein Grundstück aus Rechtsgründen grundsätzlich nicht (dauerhaft) an den Niederschlagswasserkanal anschließen kann. Das Gesetz geht nämlich vom Grundsatz her (vgl. insoweit § 151 Abs. 3 Nr. 1 WG LSA) von einer umfassenden Beseitigungspflicht des Grundstückseigentümers selbst für das Niederschlagswasser aus; denn dieses kann - wie es dem natürlichen Wasserkreislauf entspricht - aufgrund seiner geringen Belastung oder Verschmutzung grundsätzlich auch dadurch schadlos und regelmäßig wohl auch billiger beseitigt werden, dass es versickert (§ 150 Abs. 4 WG LSA), verrieselt oder in oberirdische Gewässer eingeleitet wird. Die zuletzt genannten Möglichkeiten der Beseitigung des Niederschlagswassers schließt das Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt nicht aus, sondern es gibt der Versickerung als einfachste Methode der Beseitigung lediglich den Vorrang vor anderen Beseitigungsmöglichkeiten (vgl. LT-Drucksache 4/1789, Seite 3: „Die Streichung bedeutet keine Abkehr von der Festlegung das Niederschlagswasser möglichst durch Versickerung zu beseitigen.“).

34 Auch ist jeder Vergleich der Niederschlagswasserbeseitigung mit der öffentlichen Schmutzwasserentsorgung von vornherein ausgeschlossen, weil § 151 Abs. 3 WG LSA die Beseitigungspflicht für Niederschlagswasser - anders als bei der Schmutzwasserbeseitigung (§ 151 Abs. 1 Satz 1 WG LSA) - einer besonderen Regelung unterwirft. Insoweit verweist der Senat auf die Begründung des Entwurfs eines Vierten Gesetzes zu Änderung des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt vom 2. September 2004 (LT-Drucksache 4/1789. S. 90f.), in der es heißt:

35 „§ 151 WG LSA ist die grundlegende Vorschrift zur Abwasserbeseitigungspflicht...

36 Absatz 1

37 Die Bestimmung hält an der Grundentscheidung des geltenden Rechts fest, die Gemeinden für ihr Gebiet als abwasserbeseitigungspflichtige Körperschaften zu benennen, bemüht sich jedoch, Inhalt und Reichweite der Pflicht zu präzisieren. Hierzu besteht Anlass, weil die geltende Gesetzesfassung insoweit immer wieder zu Fehlinterpretationen geführt hat. Satz 1 der Bestimmung enthält die das gesamte Gemeindegebiet umfassende grundsätzliche Pflicht der Gemeinden zur Beseitigung des gesamten auf diesem Gebiet anfallenden Abwassers. Diese originäre, allumfassende Beseitigungspflicht der Gemeinden erstreckt sich auch auf das dezentral anfallende Abwasser. Der ein Grundstück nutzende Einwohner kann daher immer nur subsidiär, und das heißt in der Regel durch einen wie auch immer gestalteten Übergang der Pflicht von der Gemeinde auf ihn – also aus abgeleitetem Recht – abwasserbeseitigungspflichtig werden. Eine ursprüngliche, unmittelbar aus dem Gesetz ableitbare Beseitigungspflicht hat er nicht. Dieses Verständnis von der Reichweite der Abwas-

serbeseitigungspflicht ist die Grundlage für alle weiteren Überlegungen und Schlussfolgerungen zur Abwasserbeseitigung.“

38 Eine unmittelbar aus dem Gesetz ableitbare Beseitigungspflicht hat der Grundstückseigentümer aber für den Bereich der Niederschlagswasserbeseitigung (§ 151 Abs. 3 Nr. 1 WG LSA), so dass es entgegen der Auffassung des Verwaltungsgerichts auch systemgerecht ist, dass im Bereich der Erhebung von Beiträgen für die Herstellung einer öffentlichen Einrichtung zur Beseitigung von Niederschlagswasser andere Grundsätze zu gelten haben als im Bereich der Herstellungsbeiträge für öffentliche Schmutzwassereinrichtungen.

39 Die Prüfung, ob einem Grundstückseigentümer durch die Möglichkeit der Inanspruchnahme der öffentlichen Niederschlagswasseranlage ein Vorteil entsteht, hat demnach zwingend in den Blick zu nehmen, dass der Gesetzgeber vorrangig den Grundstückseigentümer in der Pflicht zur Niederschlagswasserbeseitigung sieht, also vom Regelungsansatz her davon ausgeht, dass der Grundstückseigentümer das Niederschlagswasser gerade nicht in das öffentliche Kanalnetz einleitet mit der Folge, dass ihm - aus Sicht des Beitragsrechts - die Bereitstellung der öffentlichen Einrichtung nicht gleichsam automatisch einen beitragsrechtlichen Vorteil bietet.

40 Von einem beitragsrechtlichen Vorteil ist vielmehr erst dann auszugehen, wenn die Beseitigungspflicht des Grundstückseigentümers unter den Voraussetzungen des § 151 Abs. 3 WG LSA auf die Gemeinde übergegangen ist. Nach dieser Vorschrift sind die Grundstückseigentümer solange zur Beseitigung des Niederschlagswassers anstelle der Gemeinde verpflichtet, soweit die Gemeinde nicht den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt, weil ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten. Die Pflicht zur Einleitung von Niederschlagswasser in eine öffentliche Entwässerungsanlage bedarf folglich immer - namentlich auch wegen der Möglichkeit der Durchsetzung des Anschluss- und Benutzungszwangs gegen den Willen der betroffenen Grundstückseigentümer - einer besonderen Rechtfertigung.

41 Insoweit vermögen fiskalische Gründe den Anschluss- und Benutzungszwang nicht zu legitimieren. Die Einführung eines Anschluss- und Benutzungszwangs im Hinblick auf eine öffentliche Entwässerungseinrichtung für zu beseitigendes Niederschlagswasser verlangt vielmehr im Rahmen der Bindung an Gründe des öffentlichen Wohls regelmäßig eine besondere wasserwirtschaftliche Rechtfertigung. Als solche Gründe können etwa in Betracht kommen besondere Verhältnisse des Untergrunds, die Lage in städtischen Verdichtungsbereichen sowie der Schutz des Grundwassers, sonstiger Gewässer oder von Trinkwasserreservoiren. Eine in diesem Sinne anzunehmende Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit ist in der Regel dann gegeben, wenn der Allgemeinheit dadurch Nachteile entstehen, dass Niederschlagswasser nicht schadlos auf dem Grundstück beseitigt werden kann und deshalb auf von der Allgemeinheit genutzte Flächen oder private Nachbargrundstücke gelangt oder aufgrund topographischer Gegebenheiten unkontrolliert abläuft. Insoweit werden die Möglichkeiten der Anordnung eines Anschluss- und Benutzungszwangs bzw. die Pflicht zur Eigenentsorgung des Niederschlagswassers durch den Grundstückseigentümer maßgeblich davon bestimmt, ob die Grundstücks- und Bodenverhältnisse eine Beseitigung des Niederschlagswassers zulassen (vgl. dazu auch BayVerfGH, Entscheidung v. 10.11.2008 - Vf. 4-VII-06 -, zit. nach juris).

42 Bei der Prüfung, ob derartige Gründe vorliegen, kommt es - wie das Verwaltungsgericht zutreffend ausführt - nicht auf die Grundstücksverhältnisse im konkreten Einzelfall an (a. A. VG Halle, Urt. v. 17.01.2008 - 4 A 224/07 -, zit. nach juris). Vielmehr reichen angesichts der Gewichtigkeit des in § 151 Abs. 3 Halbs. 2 WG LSA bezeichneten Schutzguts und der dem Einrichtungsträger einzuräumenden Planungssicherheit abstrakte Gefahren für das Wohl der Allgemeinheit aus.

43 Insoweit obliegt es den Gemeinden bzw. Zweckverbänden, den Sachverhalt mit Hilfe von Fachbehörden so zu ermitteln, dass sie im Hinblick auf ihr Abwasserbeseitigungskonzept eine zuverlässige Aussage darüber treffen können, ob und gegebenenfalls inwieweit im Entsorgungsgebiet nicht versickerungsfähige Böden vorliegen und wie sich diese auf das Wohl der Allgemeinheit auswirken.

44 2.2. Ausgehend von diesen Grundsätzen und unter Berücksichtigung der vorliegenden Erkenntnismittel, insbesondere der Stellungnahme des in der mündlichen Verhandlung vom 29. September 2010 angehörten Gutachters, steht zur Überzeugung des Senats fest, dass das Niederschlagswasser zwar derzeit aufgrund der natürlichen Eigenschaften des Bodens und seiner konkreten Nutzung auf dem Grundstück verbleibt. Im Falle einer Bebauung ist die Versickerungsfähigkeit nach den sachkundigen und glaubhaften Aussagen des Gutachters, denen die Klägerin im Übrigen auch nicht substanziiert entgegen getreten ist, allerdings unter geologischen Aspekten nicht mehr gewährleistet, so dass der Beklagte mit Blick auf die durch den rechtskräftigen Bebauungsplan bestehende Bebaubarkeit des klägerischen Grundstücks zu Recht von einer abstrakten Gefährdungslage im vorgenannten Sinne ausgegangen ist, die dazu berechtigt, auf der Grundlage einer wirksamen, den Vorgaben des § 151 Abs. 3 Halbs. 2 WG LSA gerecht werdenden Satzung eine Beitragspflicht anzunehmen. Über eine derartige Satzung verfügt der Beklagte indes - wie oben bereits ausgeführt - nicht.

45 2.3. Auch besteht derzeit gemäß § 3 Abs. 1 Satz 1 i. V. m. Abs. 2 TAS keine Anschlusspflicht der Klägerin, weil danach jeder Grundstückseigentümer erst dann verpflichtet ist, sein Grundstück an eine öffentliche Abwasseranlage anzuschließen, sobald auf seinem Grundstück Abwasser auf Dauer anfällt. Ein dauernder Anfall von Abwasser ist gemäß § 3 Abs. 2 TAS allerdings nur dann anzunehmen, sobald das Grundstück mit Gebäuden für den dauernden oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen oder für gewerbliche oder industrielle Zwecke bebaut ist oder mit der Bebauung begonnen wurde oder das Grundstück derart befestigt worden ist, dass Niederschlagswasser als Abwasser anfällt. Auch diese Voraussetzungen erfüllt das streitgegenständliche Grundstück bezogen auf die Niederschlagswasserbeseitigung schon vom Ansatz her nicht; denn es ist (tatsächlich) weder bebaut noch derart befestigt worden, dass Niederschlagswasser als Abwasser anfällt.

46 Soweit der Beklagte geltend macht, diese vom Senat schon im vorläufigen Rechtsschutzverfahren vertretene Auffassung sei mit beitragsrechtlichen Grundsätzen nicht zu vereinbaren, vielmehr sei für die Erforderlichkeit der Abwasserbeseitigung durch den Verband bei unbebauten Grundstücken oder Grundstücksteilen nicht vom unbebauten Ist-Zustand, sondern von der Annahme einer ortsüblichen, den Festsetzungen des Bebauungsplans entsprechenden Bebauung auszugehen, weil das Kanalbaubeitragsrecht die Beitragspflicht an die Baulandqualität von Grundstücken anknüpfe, ist dem entgegen zu halten, dass der Beklagte durch die von ihm gewählte Formulierung in § 3 Abs. 1 Satz 2 AS (im Gegensatz zur Regelung in § 3 Abs. 1 Satz 1 AS) die Beitragspflicht für Nieder-

schlagswasser ausdrücklich vom Vorliegen der Voraussetzungen des „§ 3 (1) der Technischen Abwassersatzung“ abhängig gemacht hat. Angesichts des klaren Wortlauts der Satzungsbestimmung und dem darin zweifelsfrei zum Ausdruck kommenden Willen des Satzungsgebers ist der Senat gehindert, diese in dem von dem Beklagten verstandenen Sinne auszulegen.

47 Die Kostenentscheidung beruht auf § 154 Abs. 1 VwGO.

48 Die Entscheidung über die vorläufige Vollstreckbarkeit folgt aus den §§ 167 VwGO, 708 Nr. 10, 711 ZPO.

49 Gründe für die Zulassung der Revision (§ 132 Abs. 2 VwGO) liegen nicht vor; insbesondere hat die Rechtssache mit Blick auf die hier notwendige Auslegung landesrechtlicher Bestimmungen (§§ 2, 150, 151 WG LSA) keine grundsätzliche Bedeutung (§ 132 Abs. 2 Nr. 1 VwGO).

Gericht: VG Halle (Saale) 4. Kammer
Entscheidungsdatum: 24.01.2011
Aktenzeichen: 4 A 108/10
ECLI: ECLI:DE:VGHALLE:2011:0124.4A108.10.0A
Dokumenttyp: Urteil
Quelle: juris
Normen: § 5 Abs 1 S 1 KAG ST, § 151 Abs 3 WG ST
Zitiervorschlag: VG Halle (Saale), Urteil vom 24. Januar 2011 – 4 A 108/10 –, juris

Erhebung von Niederschlagswassergebühren

Leitsatz

Die Erhebung von Niederschlagswassergebühren setzt nicht voraus, dass für das Grundstück gemäß § 151 Abs. 3 WG LSA der Anschluss- und Benutzungszwang angeordnet wurde.(Rn.20)

Tatbestand

1 Der Kläger richtet sich gegen die Heranziehung zu Niederschlagswassergebühren durch den Beklagten.

2 Der Kläger ist Erbbauberechtigter des Grundstücks Gemarkung A-Stadt, Flur 7, Flurstück 104/10, Größe 10.121 m², und Eigentümer der Grundstücke Gemarkung A-Stadt, Flur 7, Flurstücke 245 (492 m²), 246 (4.444 m²) und 104/9 (72 m²), mit der Lagebezeichnung {A.} Weg 5.

3 Das Flurstück 104/10 umgibt U-förmig die Flurstücke 245, 246 und 104/9, auf denen sich eine Tankstelle befindet. Der gesamte Komplex grenzt im Süden an die B 80 und im Norden an den {A.} Weg. Die Zufahrt auf das Grundstück erfolgt vom {A.} Weg. Hierbei handelt es sich um eine asphaltierte Straße, in der sich ein Niederschlagswasserkanal befindet. Das Grundstück hat ein leichtes Gefälle nach Norden, also zum {A.} Weg, so dass Niederschlagswasser dorthin fließen und entweder über die an der Grundstücksgrenze errichtete Querrinne oder über die auf der gegenüber liegenden Straßenseite befindlichen Straßeneinläufe in die Niederschlagswasserkanalisation gelangen kann. Das Grundstück ist überwiegend mit Schotter bedeckt mit Ausnahme der Fläche vor der Einmündung in den {A.} Weg, wo eine Asphaltschicht aufgebracht wurde.

4 Auf einem bei den Verwaltungsvorgängen befindlichen Lageplan des Flurstücks 104/10 sind die Fläche F1 (256 m²) als Beton- und Asphaltfläche (Befestigungsart 3) und F2 (1.700 m²) als sonstige gering versiegelte Fläche (Befestigungsart 6) dargestellt, von denen Niederschlagswasser in die Kanalisation gelangt. Auf einem weiteren Lageplan der Flurstücke 245, 246 und 104/9 sind derartige Flächen mit F1 (1.045 m²) als Dachfläche (Befestigungsart 1) und F2 (3.467 m²) als Verbundpflasterfläche (Befestigungsart 4) dargestellt. Beide Lagepläne wurden am 16. September 2009 vom Kläger unterzeichnet.

5 Mit zwei Bescheiden vom 21. Oktober 2009 – Bescheid-Nr.: NW0006533 und NW0006534 – zog der Beklagte den Kläger für das Grundstück „A-Stadt, {A.} Weg (Döner/Raststt.) 5“

zu Niederschlagswassergebühren für die Jahre 2008 und 2009 in Höhe von je 200,22 € heran. Er berücksichtigte hierbei eine Fläche von 256 m², die er mit dem Faktor 1, und eine weitere Fläche von 1.700 m², die er mit dem Faktor 0,1 heranzog, womit sich eine Gebührenbemessungsfläche von 426 m² (256 m² + 170 m²) ergab, die mit dem Gebührensatz von 0,47 €/m² multipliziert wurde.

6 Mit zwei weiteren Bescheiden vom 21. Oktober 2009 – Bescheid-Nr.: NW0006536 und NW0006538 – zog der Beklagte den Kläger auch für das Grundstück „A-Stadt, {A.} Weg, Flur 7, Fl.stck. 245, 246, 104/9-Tankst“ zu Niederschlagswassergebühren für die Jahre 2008 und 2009 in Höhe von je 1.468,84 € heran. Er berücksichtigte hierbei eine Fläche von 1.045 m², die er mit dem Faktor 1, und eine weitere Fläche von 3.467 m², die er mit dem Faktor 0,6 heranzog, womit sich eine Gebührenbemessungsfläche von 3.125,2 m² (1.045 m² + 2.080.2 m²) ergab, die mit dem Gebührensatz von 0,47 €/m² multipliziert wurde.

7 Die hiergegen eingelegten Widersprüche des Klägers wurden mit vier Widerspruchsbescheiden des Beklagten vom 13. Januar 2010 zurückgewiesen.

8 Am 4. Februar 2010 hat der Kläger beim erkennenden Gericht Klage erhoben.

9 Er trägt vor, der Beklagte dürfte keine Niederschlagswassergebühren erheben, da er bislang noch keinen Anschluss- und Benutzungszwang für die Grundstücke ausgesprochen habe. Damit gelte § 151 Abs. 3 WG LSA, wonach er selbst zur Beseitigung des Niederschlagswassers auf den Grundstücken verpflichtet sei. Eine Versickerung sei auch möglich, da große Teile der Grundstücke nicht versiegelt seien. Zudem habe die Gemeinde A-Stadt die Niederschlagswasserleitungen noch nicht auf den Beklagten übertragen.

10 Der Kläger beantragt,

11 die Bescheide des Beklagten vom 21. Oktober 2009 in der Gestalt der Widerspruchsbescheide vom 13. Januar 2010 aufzuheben.

12 Der Beklagte beantragt,

13 die Klage abzuweisen.

14 Er verteidigt die angefochtenen Bescheide sowie die Widerspruchsbescheide. Ergänzend führt er aus, die öffentliche Einrichtung zur Niederschlagswasserbeseitigung befinde sich in seinem Eigentum. Jedenfalls nutze und betreibe er diese Einrichtung. Dies sei ausreichend. Auch liege die Aufgabe der Niederschlagswasserbeseitigung für den entsprechenden Bereich bei ihm. Auf die Frage, ob ein Anschluss- und Benutzungszwang angeordnet werden könne, komme es nicht an. Ausreichend sei, dass die öffentliche Einrichtung durch den Kläger tatsächlich benutzt werde.

Entscheidungsgründe

15 Die Kammer kann durch den Einzelrichter entscheiden, denn der Rechtsstreit wurde gemäß § 6 VwGO mit Beschluss der Kammer vom 6. Dezember 2010 auf den Berichterstatter als Einzelrichter übertragen.

16 Die zulässige Klage ist unbegründet. Die Bescheide des Beklagten vom 21. Oktober 2009 in der Gestalt der Widerspruchsbescheide vom 13. Januar 2010 sind rechtmäßig und verletzen den Kläger nicht in seinen Rechten (§ 113 Abs. 1 Satz 1 VwGO).

17 Rechtsgrundlage der Bescheide ist § 5 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA in Verbindung mit der Satzung des Abwasserzweckverbandes „Salza“ über die Erhebung von Gebühren für die Niederschlagswasserbeseitigung vom 19. Dezember 2007 (im Folgenden: GS NW 2007). Gemäß § 2 GS NW 2007 werden für die Inanspruchnahme der zentralen öffentlichen Niederschlagswasserbeseitigungsanlagen Gebühren für die Grundstücke erhoben, die an dieser öffentlichen Anlage angeschlossen sind oder in diese entwässern. Die Voraussetzungen der Erhebung von Niederschlagswassergebühren nach diesen Vorschriften liegen vor.

18 Der Kläger nimmt die öffentliche Einrichtung des Beklagten zur Niederschlagswasserbeseitigung tatsächlich in Anspruch. Der Gebührentatbestand der Inanspruchnahme setzt im Bereich der leitungsgebundenen Einrichtungen zwar grundsätzlich voraus, dass eine abwassertechnische Verbindung in Gestalt einer Anschlussleitung zwischen dem Grundstück und der Kanalisation besteht. Eine tatsächliche Inanspruchnahme einer leitungsgebundenen Einrichtung zur Beseitigung des Niederschlagswassers kann aber auch dann vorliegen, wenn das auf der befestigten Fläche eines Grundstücke niedergehende Regenwasser infolge des natürlichen Gefälles der Befestigungsfläche oberirdisch zur Straße fließt und von dort aus über einen Straßeneinlauf in den der Straßen- und Grundstücksentwässerung dienenden Kanal fließt. In diesen Fällen ist die kommunale Leistung gebührenfähig, sofern die einschlägige Satzung ausdrücklich normiert, dass die Niederschlagswassergebühr für solche Grundstücke erhoben wird, die an die öffentliche Einrichtung angeschlossen sind „oder in diese entwässern“ (OVG Saarlouis, Beschluss vom 27. Juli 2007 – 1 A 42/07 – juris Rn. 25 ff.; OVG Münster, Beschluss vom 5. November 2007 – 9 A 4433/05 – juris Rn. 5; Lichtenfeld, in: Driehaus, Kommunalabgabenrecht <Stand: 43. Ergänzungslieferung September 2010>, § 4 Rn. 24; Brüning, in: Driehaus, a.a.O., § 6 Rn. 349). Hiernach liegt im vorliegenden Fall eine tatsächliche Inanspruchnahme der Niederschlagswasserkanalisation vor, denn das Niederschlagswasser fließt auf Grund des Gefälles von den Grundstücken des Klägers in die im ... Weg verlegte Kanalisation. Dieser Fall wird auch vom Gebührentatbestand des § 2 GS NW 2007 erfasst.

19 Die Anlagen im ... Weg in A-Stadt, in die das Niederschlagswasser von den Grundstücken des Klägers fließt, gehören auch zu der öffentlichen Einrichtung des Beklagten zur Niederschlagswasserbeseitigung. Der Begriff der öffentlichen Einrichtung ist aufgabenbezogen zu verstehen (OVG LSA, Beschluss vom 28. September 2009 – 4 K 356/08 –). Bei der Niederschlagswasserbeseitigung besteht die öffentliche Einrichtung danach aus der Gesamtheit aller Anlagen und Anlagenteile, die diesem Zweck dienen (OVG Weimar, Urteile vom 12. Dezember 2001 – 4 N 595/94 – LKV 2002, 534 <537> und vom 3. September 2008 – 1 KO 559/07 – juris Rn. 47). Anlagen, die der Niederschlagswasserbeseitigung dienen, werden durch eine Widmung zu einer öffentlichen Einrichtung. Die Widmung einer leitungsgebundenen Einrichtung ist nicht formgebunden und kann auch konkludent erfolgen (OVG Weimar, Urteile vom 12. Dezember 2001 – 4 N 595/94 – a.a.O. S. 539 und vom 3. September 2008 – 1 KO 559/07 – a.a.O. Rn. 70). Die zur Aufgabenerfüllung dienenden Anlagen müssen nicht im Eigentum des Aufgabenträgers stehen (OVG Weimar, Urteil vom 12. Dezember 2001 – 4 N 595/94 – a.a.O.). Sofern sich aus der ausdrücklichen oder konkludenten Widmung nichts anderes ergibt, ist bei einem aufgabenbezogenen

Verständnis des Einrichtungsbegriffs – wie hier – davon auszugehen, dass zu einer leitungsgebundenen öffentlichen Abwasserbeseitigungseinrichtung alle dem Widmungszweck dienenden Anlagen und Anlagenteile im räumlichen Zuständigkeitsbereich des Aufgabenträgers gehören (OVG Weimar, Urteil vom 12. Dezember 2001 – 4 N 595/94 – a.a.O. S. 539). Nach diesen Grundsätzen hat der Beklagte sämtliche der Niederschlagswasserbeseitigung dienenden, nicht in privater Hand befindlichen Anlagen in den Mitgliedsgemeinden, in denen er auch für die Niederschlagswasserbeseitigung zuständig ist, zu Bestandteilen seiner öffentlichen Einrichtung zur Niederschlagswasserbeseitigung gewidmet, für deren Inanspruchnahme gemäß der GS NW 2007 ab dem Jahr 2008 Benutzungsgebühren zu zahlen sind. Hierzu zählen auch die Anlagen in der Gemeinde A-Stadt.

20 Unerheblich ist, ob der Kläger gemäß § 151 Abs. 3 Nr. 1 WG LSA zur Niederschlagswasserbeseitigung auf seinem Grundstück verpflichtet ist. Ausreichend für die Entstehung der Gebühr ist gemäß § 5 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA vielmehr allein die tatsächliche Inanspruchnahme der öffentlichen Einrichtung. Ob der Benutzer die Einrichtung in Anspruch nehmen darf, ist ohne Belang. Die Erhebung von Benutzungsgebühren für die tatsächliche Inanspruchnahme einer öffentlichen Einrichtung gemäß § 5 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA ist nicht nur für die regelgerechte Benutzung, sondern auch in allen anderen Fällen nachgewiesener – atypischer, möglicherweise vorschriftswidriger – Benutzung zulässig (vgl. OVG Lüneburg, Urteil vom 20. März 1989 – 9 L 19/89 – juris Rn. 20; Lichtenfeld, in: Driehaus, a.a.O., § 6 Rn. 715). Die Entstehung von Niederschlagswassergebühren setzt daher nicht voraus, dass gemäß § 151 Abs. 3 WG LSA der Anschluss und Benutzungszwang für die öffentliche Niederschlagswasserbeseitigungsanlage angeordnet wurde.

21 Dies steht nicht in Widerspruch zur Rechtsprechung des OVG LSA zur Erhebung von Niederschlagswasserbeiträgen. Hiernach entsteht ein beitragsrechtlicher Vorteil im Sinne des § 6 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA im Bereich der Niederschlagswasserbeseitigung erst, wenn die Beseitigungspflicht des Grundstückseigentümers unter den Voraussetzungen des § 151 Abs. 3 WG LSA auf die Gemeinde bzw. den Zweckverband übergegangen ist, da erst dann die auf Dauer gesicherte Möglichkeit zur Inanspruchnahme der öffentlichen Einrichtung vorliegt (OVG LSA, Urteil vom 29. September 2010 – 4 L 101/10 –). Diese Grundsätze können auf das Gebührenrecht nicht übertragen werden, da Benutzungsgebühren nach § 5 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA zeitabschnittsbezogen für die Inanspruchnahme einer öffentlichen Einrichtung in einem bestimmten Zeitraum erhoben werden und einen dauerhaften Vorteil bzw. eine tatsächlich und rechtlich auf Dauer gesicherte Inanspruchnahmemöglichkeit nicht voraussetzen.

22 Der Erhebung von Niederschlagswassergebühren ohne vorherige Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs gemäß § 151 Abs. 3 WG LSA für das betreffende Grundstück steht auch nicht entgegen, dass in diesen Fällen der Betreiber der öffentlichen Einrichtung verpflichtet sein kann, die Benutzung der Niederschlagswasserbeseitigungsanlage durch den gemäß § 151 Abs. 3 Nr. 1 WG LSA selbst beseitigungspflichtigen Grundstückseigentümer nicht mehr zuzulassen (vgl. VG Dessau, Urteil vom 26. Juli 2006 – 1 A 72/06 –). Zwar kann eine Gebühr nur für eine rechtmäßige Amtshandlung erhoben werden. Der der Amtshandlung des allgemeinen Gebührenrechts entsprechende Vorgang – die „Leistung“ – besteht im Niederschlagswassergebührenrecht jedoch allein in der Abnahme des auf den einzelnen Grundstücken anfallenden Niederschlagswassers, die für sich allein nicht rechtswidrig ist. Daraus folgt, dass sich ein Verstoß gegen § 151 Abs. 3 WG LSA auf die Gebührenpflicht der Benutzer nicht auswirkt.

23 Die Kostenentscheidung beruht auf § 154 Abs. 1 VwGO.

24 Die Entscheidung über die vorläufige Vollstreckbarkeit folgt aus § 167 VwGO in Verbindung mit §§ 708 Nr. 11, 711 ZPO.

Gericht:	VG Magdeburg 9. Kammer
Entscheidungsdatum:	17.11.2011
Aktenzeichen:	9 A 155/09
ECLI:	ECLI:DE:VGMAGDE:2011:1117.9A155.09.0A
Dokumenttyp:	Urteil
Quelle:	juris
Normen:	§ 5 Abs 1 KAG ST, § 5 Abs 3 S 1 KAG ST, § 151 Abs 3 WasG ST
Zitiervorschlag:	VG Magdeburg, Urteil vom 17. November 2011 – 9 A 155/09 –, juris

Benutzungsgebühr, Niederschlagswasser

Leitsatz

Zur Kalkulation einer Niederschlagswassergebühr (hier: Einfluss der Rechtsänderungen des WG LS zum 01.09.2003)(Rn.15)

Orientierungssatz

1. Einer Kalkulation, die von der Erwägung getragen ist, der Ermittlung einer Gebühr seien ungeachtet der seit dem 01.09.2003 bestehenden Pflicht zur Beseitigung des Niederschlagswassers gleichsam die (Gesamt-)Kosten der öffentlichen Einrichtung „Niederschlagswasser“ zugrunde zu legen und diese auf die in diesen Erhebungszeiträumen angeschlossenen Flächen zu verteilen, ist für die Feststellung der Einhaltung des Kostenüberschreitungsverbotes nicht geeignet. Auch in solchen Fällen, in denen die Kalkulation mehr oder weniger an einem „methodischen Fehler“ leidet, ist die Prüfung des Kostenüberschreitungsverbotes anhand vorgelegter Unterlagen nicht möglich.(Rn.15)

2. Der Wert der Gegenleistung für die zu zahlende Gebühr kann sich mangels anderer hinreichender Anhaltspunkte nur nach dem Aufwand, der für die Leistungserbringung erforderlich ist, bemessen. Aus diesem Grunde ist es rechtlich grundsätzlich nicht zu beanstanden, wenn die Benutzungsgebühr aus dem Verhältnis von - aus kosten- und anlagenbezogener Sicht notwendig und erforderlichem - Aufwand während eines bestimmten Zeitraumes und den gewichteten Benutzern (Maßstabseinheiten) ermittelt wird. Bestehen einfach gesetzliche Regelungen für die Feststellung des Wertes der von einem Einrichtungsträger erbrachten Leistung nicht, so hat sich diese Beurteilung an den § 5 KAG LSA beherrschenden Grundprinzipien des Gebührenrechts wie dem Äquivalenzprinzip und dem der Leistungsproportionalität auszurichten.(Rn.18)

3. Kann seit dem 01.09.2003 Anschluss- und Benutzungszwang auf der Grundlage von §§ 8 Nr. 2 GO LSA, 16 GKG lediglich noch angeordnet werden, weil ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um dem Allgemeinwohlinteresse gerecht zu werden, so ist auch der gebührenrechtlich Handlungsrahmen der Gemeinde daran zu messen.(Rn.23)

Diese Entscheidung zitiert

Rechtsprechung

Vergleiche Oberverwaltungsgericht des Landes Sachsen-Anhalt 4. Senat, 29. April 2010, 4 L 341/08

Vergleiche Oberverwaltungsgericht des Landes Sachsen-Anhalt 1. Senat, 27. Mai 2004, 1 L 117/02

Tatbestand

1 Die Klägerin begehrt die Aufhebung eines Niederschlagswassergebührensbescheides für die Erhebungszeiträume 2004 bis 2007 des Beklagten.

2 Sie ist Eigentümerin eines Grundstücks im Verbandsgebiet des Beklagten, das an die zentrale Niederschlagswasseranlage des Beklagten in den hier maßgeblichen Erhebungszeiträumen 2004 bis 2007 angeschlossen war.

3 Mit Bescheid vom 17.11.2008 setzte der Beklagte Niederschlagswassergebühren in Höhe von 658,82 € fest. Den dagegen eingelegten Widerspruch wies der Beklagte mit Widerspruchsbescheid vom 22.04.2009 als unbegründet zurück.

4 Mit am 22.05.2009 beim Verwaltungsgericht Magdeburg eingegangenem Schriftsatz ihres Prozessbevollmächtigten hat die Klägerin Klage erhoben. Sie bestreitet die Rechtmäßigkeit der Gebührenerhebung durch den Beklagten

5 Die Klägerin beantragt,

6 den Bescheid des Beklagten vom 17.11.2008 in der Gestalt des Widerspruchsbescheides vom 22.04.2009 aufzuheben.

7 Der Beklagte beantragt,

8 die Klage abzuweisen.

9 Er verteidigt die streitige Gebührenfestsetzung.

10 Wegen der weiteren Einzelheiten des Sachverhaltes sowie des Vorbringens der Beteiligten wird auf den Inhalt der Gerichtsakte und den beigezogenen Verwaltungsvorgang des Beklagten verwiesen. Diese Unterlagen waren Gegenstand der Entscheidungsfindung.

Entscheidungsgründe

I.

11 Der Bescheid des Beklagten vom 17.11.2008 in der Gestalt des Widerspruchsbescheides vom 22.04.2009 ist rechtswidrig und verletzt die Klägerin in eigenen Rechten, weshalb ihr ein Aufhebungsanspruch zur Seite steht (§ 113 Abs. 1 Satz 1 VwGO).

12 Die Rechtmäßigkeit der hier streitigen Gebührenfestsetzungen für die Erhebungszeiträume vom 01.01.2004 bis zum 31.12.2007 misst sich an den Satzungen über die Erhebung von Gebühren für die zentrale Abwasserbeseitigung (Gebührensatzung) des Beklagten vom 20.02.2003 (01.01.2004 bis 28.05.2004), vom 03.05.2004 (29.05.2004 bis 31.12.2006) sowie vom 30. Juni 2009 (01.01.2007 bis 31.12.2007) und den darin festgesetzten Gebührensätzen in Höhe von 0,65 €/m², 0,64 €/m² bzw. 2,75 €/m². Diese Satzungen sind nicht mit höherrangigem Recht vereinbar, weshalb sie zur Gebührenerhebung nicht geeignet sind (§§ 2 Abs. 1, 5 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA); sich darauf stützende Benutzungsgebührenbescheide sind aufzuheben.

13 1. Nach § 5 Abs. 1 Satz 1 KAG LSA soll das Gebührenaufkommen die Kosten der Einrichtung decken, jedoch nicht überschreiten, wobei eine Überschreitung der Kosten bis zu 3% unschädlich ist (OVG LSA, B. v. 23.04.2009, 4 L 299/07). Dies hat das Gericht jedenfalls dann zu überprüfen, wenn ein Beteiligter die Verletzung dieses Gebotes substantiiert rügt oder sich für das Gericht dahingehende Anhaltspunkte ergeben (dazu grundsätzlich VG Magdeburg, U. v. 14.01.2010, 9 A 139/09 MD m. w. N.). So auch hier deshalb, weil sowohl den dem Gericht vorgelegten Unterlagen als auch dem Vorbringen des Beklagten entnommen werden kann, dass der Kalkulation der Gebührensätze der Aufwand der öffentlichen Einrichtung „Niederschlagswasser“ die gesamten Kosten, jedoch deshalb lediglich ein Teil der Flächen zugrunde gelegt wurde, die von dieser Einrichtung erschlossen werden, weil auch nach Auffassung des Beklagten jedenfalls seit dem 01.09.2003 eine Anschlusspflicht nicht mehr gleichsam für alle bebauten oder befestigten Grundstücke mit der Folge besteht, dass ihm die Aufgabe der Niederschlagswasserbeseitigung nicht für alle Grundstücke obliege.

14 Maßstab der gerichtlichen Überprüfung ist die „Ergebnisrichtigkeit“ des Gebührensatzes (OVG LSA, seit U. v. 27.07.2006, 4 K 253/05). Diese hat das Gericht anhand einer vorzulegenden Gebührenkalkulation vorzunehmen. Dabei gilt: Lag bereits für den jeweiligen Erhebungszeitraum eine (Voraus-)Kalkulation vor, so sind und bleiben die darin enthalten kalkulatorischen Ansätze für die Beurteilung des Kostenüberschreitungsverbotes maßgeblich (OVG LSA, B. v.02.03.2010, Ziffer 1, letzter Absatz). Trägt die Kalkulation unter Berücksichtigung der dafür geltenden rechtlichen Maßstäbe den Gebührensatz, so sind nachträgliche Änderungen der Kosten oder Maßstabseinheiten, die sich u. a. aus den zwischenzeitlich vorliegenden sog. harten Zahlen ergeben können, unbeachtlich. Trägt die vorgelegte Kalkulation den Gebührensatz auch nach Erläuterung durch die Körperschaft nicht (OVG LSA, B. v. 02.03.2010, Ziffer b. bb.)), führt das nicht per se zur Unwirksamkeit des Gebührensatzes. Denn der Körperschaft ist es erlaubt, einen fehlenden Verstoß gegen das Kostenüberschreitungsverbot durch Vorlage eine Nachberechnung zu belegen (OVG LSA, seit U. v. 27.07.2006, 4 K 253/05). Zur gerichtlichen Kontrolle hat der Abgabengläubiger dann spätestens zur mündlichen Verhandlung verständliche Unterlagen vorzulegen, aus denen sich ein fehlender Verstoß gegen § 5 Abs. 1 Satz 2 KAG LSA ergibt (OVG LSA, B. v. 18.02.2009, 4 L 36/08; zu den inhaltlichen Anforderungen B. v. 02.03.2010, 4 L 199/09).

15 Die „Ergebnisrichtigkeit“ der o. a. Gebührensätze vermag das Gericht in Anbetracht dessen anhand der vorgelegten Unterlagen nicht festzustellen. Zwar ergibt sich der Gebührensatz für die Zeit ab dem 01.01.2007 im Ergebnis aus der nachvollziehbaren und plausiblen Gebührenkalkulation 2007 – 2009, was jedoch in Bezug auf die vorliegende Kalkulation 2004 – 2006 vom 28.02.2004 nicht ohne weiteres gilt. Einer Kalkulation, die von der Erwägung getragen ist, der Ermittlung einer Gebühr seien ungeachtet der seit dem 01.09.2003 bestehenden Pflicht zur Beseitigung des Niederschlagswassers gleichsam die (Gesamt-)Kosten der öffentlichen Einrichtung „Niederschlagswasser“ zugrunde zu legen und diese auf die in diesen Erhebungszeiträumen angeschlossenen Flächen zu verteilen, ist für die Feststellung der Einhaltung des Kostenüberschreitungsverbotes nicht geeignet. Auch in solchen Fällen, in denen die Kalkulation mehr oder weniger an einem „methodischen Fehler“ leidet, ist die Prüfung des Kostenüberschreitungsverbotes anhand vorgelegter Unterlagen nicht möglich (so ausdrücklich OVG LSA, U. v. 29.04.2009, 4 L 341/08).

16 2. Nach Auffassung des Gerichts ist die Ermittlung einer Benutzungsgebühr jedenfalls in den hier maßgeblichen Erhebungszeiträumen unter Berücksichtigung folgender Grundsätze vorzunehmen:

17 a) Das Wesen einer Benutzungsgebühr besteht darin, die Benutzer an den Kosten der öffentlichen Einrichtung in einer Weise zu beteiligen, wie es dem Wert der für sie erbrachten Gegenleistung entspricht. Die Gebühr für jeden einzelnen Benutzer ist dabei nach Art und Umfang der Inanspruchnahme zu bemessen (§ 5 Abs. 3 Satz 1 KAG LSA).

18 Der Wert der Gegenleistung für die zu zahlende Gebühr kann sich mangels anderer hinreichender Anhaltspunkte nur nach dem Aufwand, der für die Leistungserbringung erforderlich ist, bemessen (dazu Schulte/ Wiesemann in: Driehaus, Kommunalabgabenrecht, Kommentar, Stand September 2011, § 6 Rn. 49b), der in ein Verhältnis zur (ggf. gewichteten; § 5 Abs. 3 Satz 1 KAG LSA) Anzahl der Benutzer zu setzen ist. Aus diesem Grunde ist es rechtlich grundsätzlich nicht zu beanstanden, wenn die Benutzungsgebühr aus dem Verhältnis von - aus kosten- und anlagenbezogener Sicht notwendig und erforderlichem - Aufwand während eines bestimmten Zeitraumes und den gewichteten Benutzern (Maßstabseinheiten) ermittelt wird. Bestehen einfach gesetzliche Regelungen für die Feststellung des Wertes der von einem Einrichtungsträger erbrachten Leistung – wie hier - nicht, so hat sich diese Beurteilung an den § 5 KAG LSA beherrschenden Grundprinzipien des Gebührenrechts wie dem Äquivalenzprinzip und dem der Leistungsproportionalität (dazu Schulte/ Wiesemann in: a. a. O., § 6 Rn. 49 ff.) auszurichten. Diese Grundprinzipien nehmen einerseits andere Grundsätze (zu denselben Schulte/ Wiesemann in: a. a. O., § 6 Rn. 22 ff.) in sich auf, verkörpern diese quasi, gehen jedoch andererseits auch darüber hinaus.

19 Handelt es sich bei der erbrachten Leistung – wie vorliegend - um eine Pflichtaufgabe der Körperschaft, so ergeben sich Gegenstand und Umfang der Leistungserbringung aus dem Gesetz. Dieses allein ist dann Ausgangspunkt für die Beurteilung, ob ein festgesetzter Gebührensatz die vorstehend benannten Prinzipien hinreichend beachtet. Maßgeblich sind hier insoweit die Regelungen des Wasserrechts bezüglich der Zuständigkeiten für die Niederschlagswasserbeseitigung (OVG LSA, U. v. 29.09.2010, 4 L 101/10 zum Niederschlagswasserbeitrag).

20 b) Die (schadlose) Abwasserbeseitigung oblag nach § 2 Abs. 2 des Gesetzes über die Selbstverwaltung der Gemeinden und Landkreise in der DDR (Kommunalverfassung) vom 17. Mai 1990 (GBl. DDR I S. 255) zunächst den Gemeinden.

21 Auch mit Inkrafttreten von § 151 Abs. 1 des Wassergesetzes des Landes Sachsen-Anhalt (WG LSA a. F.) vom 08.09.1993 (GVBl. LSA 1993, S. 477) waren originär die Gemeinden zur Beseitigung des auf ihrem Gebiet anfallenden Abwassers verpflichtet, wobei Abwasser auch das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende Wasser ist (§ 150 Abs. 1 Satz 1 WG LSA). Davon abweichend bestimmte § 151 Abs. 3 WG LSA, dass an Stelle der Gemeinden u. a. die Grundstückseigentümer zu Abwasserbeseitigungspflichtigen, jedenfalls soweit nicht die Gemeinde den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt (1. Alternative) oder ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung des Wohles der Allgemeinheit zu verhüten (2. Alternative). Der Gesetzgeber hat den Grundstückseigentümern bzw. Trägern der Straßenbaulast die Pflicht zur Beseitigung des Niederschlagswassers übertragen und die Gemeinde zugleich ermächtigt, sie davon wieder

zu entbinden (1. Alternative) bzw. die Entbindung kraft Gesetzes – mithin in der nächsten juristischen Sekunde – bewirkt (2. Alternative).

22 Mit Artikel 11 Nr. 7 des Zweiten Gesetzes zur Erleichterung von Investitionen im Land Sachsen-Anhalt (Zweites Investitionserleichterungsgesetz – 2. InvErlG LSA) vom 16.07. 2003 (GVBl. LSA S. 158) wurde § 151 Abs. 3 WG LSA geändert. Es blieb zwar bei der bereits bislang vorgefundenen Regelungsmethode, nämlich u. a. den Grundstückseigentümern die Aufgabe der Abwasserbeseitigung dann zu übertragen, wenn nicht die Gemeinde, den Anschluss an die öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt. Entgegen der bislang geltenden Rechtslage ist dies einer Gemeinde nunmehr jedoch nur noch deshalb möglich, weil ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung des Wohles der Allgemeinheit zu verhüten. Nach der alten Rechtslage ebenfalls anerkannte, ein besonderes öffentliches Bedürfnis i. S. v. § 8 Nr. 2 GO LSA tragende und außerhalb des Wasserrechts liegende Gründe (vgl. dazu OVG LSA, B. v. 05.11.2001, 1 L 374/01 zu Rentabilitätsgesichtspunkten), sind mithin nicht mehr geeignet, eine Entbindung der Grundstückseigentümer zu bewirken (so nun auch OVG LSA, U. v. 29.09.2010, 4 L 101/10).

23 Entgegen der noch mit Urteil vom 01.10.2009 (9 A 51/08 MD) erörterten Rechtsauffassung, auf die es dort jedoch nicht entscheidend ankam, geht das Gericht nunmehr davon aus, dass mit dem Inkrafttreten des 2. InvErlG LSA am 01.09.2003 eine Revision der wasserrechtlichen Pflichtenlage bewirkt werden sollte. Es spricht Überwiegendes dafür, dass der Gesetzgeber in Anknüpfung an die Grundkonzeption der Vorgängerregelung (Beseitigungspflicht des Grundstückseigentümers) nunmehr die Pflichtenlage ungeachtet bereits bestehender Rechtspflichten hat neu regeln wollen. Zwar lässt sich den Materialen zum Gesetzgebungsverfahren nicht entnehmen, welche Motive den Gesetzgeber zu dieser Neuregelung veranlasst haben (LT-Drs. 4/610), da die beschlossene Regelung erst Bestandteil der Beschlussempfehlung des Ausschusses für Recht und Verfassung ist (vgl. LT-Drs. 4/872, S. 39). Ist Regelungsgegenstand einer Vorschrift die Anordnung von Pflichten, so gilt das jeweilige Recht ab dem Zeitpunkt des Inkrafttretens der Vorschrift. Neues Recht gilt mithin uneingeschränkt für die Zukunft, nur in der Vergangenheit liegende Tatbestände sollen nicht rückwirkend angetastet werden (vgl. dazu OVG Niedersachsen, U. v. 15.03.2006, 10 LB 7/06, zit. nach juris m. w. N.). Sind infolge der Anwendung des außer Kraft getretenen Rechts Rechtsfolgen herbeigeführt worden (hier: ggf. Übergang der Beseitigungspflicht auf die Gemeinde), bedarf es deshalb zur Aufrechterhaltung des dadurch bewirkten Rechtszustandes – nicht zuletzt aus Gründen der Rechtsklarheit - einer ausdrücklichen Übergangsvorschrift. Dies um so mehr, wenn für die Änderung einer gesetzlich angeordneten Pflichtenlage (hier: Übergang der Aufgabe der Niederschlagswasserbeseitigung) das Handeln einer Gemeinde (hier: Anordnung des Anschluss- und Benutzungszwangs) vom Bestehen einer höherrangigen Rechtsgrundlage abhängig ist bzw. diese ihre Handlungsmöglichkeiten einschränkt. Kann seit dem 01.09.2003 Anschluss- und Benutzungszwang auf der Grundlage von §§ 8 Nr. 2 GO LSA, 16 GKG lediglich noch angeordnet werden, weil ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um dem Allgemeinwohlinteresse gerecht zu werden, so ist auch der gebührenrechtlich Handlungsrahmen der Gemeinde daran zu messen (so auch OVG LSA, B. v. 27.05.2004, 1 L 117/02).

24 Schafft der Gesetzgeber wie hier eine übergangslose Neuregelung, so nimmt er die dadurch eintretenden Folgen mit der Erreichung des gesetzgeberischen Zieles billigend in Kauf. So nach Auffassung des Gerichts auch in Bezug auf die Refinanzierbarkeit der bis

zum 01.09.2003 geschaffenen Einrichtungen zur Niederschlagswasserbeseitigung, wenn einer Gemeinde nunmehr im Vergleich zu der bis zum 31.08.2003 geltenden Rechtslage die Niederschlagswasserbeseitigung nur noch in einem geringeren Umfang obliegt. Denn ab diesem Zeitpunkt ist in Bezug auf die Erhebung von Niederschlagswassergebühren ausschließlich danach zu fragen, für welche Grundstücke die Beseitigungspflicht der Gemeinde oder dem Zweckverband obliegt. Ausschließlich dieser Aufwand, der dafür entsteht, ist ins Verhältnis zu den dadurch „bevorteilten“ Grundstücksflächen zu setzen; nur ein solches Vorgehen im Rahmen der Kalkulation eines Niederschlagswassergebührensatzes sichert nach Auffassung des Gerichts die Einhaltung der oben beschriebenen Grundsätze. Soweit der Beklagte dagegen einwendet, in der gebühren- und beitragsrechtlichen Rechtsprechung sei anerkannt, dass das nachträgliche nicht Eintreten von Prognosen jedenfalls dann keinen Einfluss auf die Höhe des berücksichtigungsfähigen Aufwandes hat, wenn der Prognose sachgerechte Tatsachen zugrunde gelegt wurden (vgl. dazu zuletzt VG Magdeburg, U. v. 03.08.2011, 9 A 292/08 MD m. w. N.), so ist dies auf die hier zu beurteilenden Fragen wegen der zwischenzeitlich eingetretenen Rechtsänderung nicht zu übertragen. Ungeachtet des Umstandes, in welchem Umfang dem Beklagten bereits nach der ab 1990 geltenden Rechtslage (dazu oben) die Beseitigungspflicht für das Niederschlagswasser oblag, können daraus resultierende Aufwendungen nach der ab 01.09.2003 geltenden Rechtslage jedenfalls dann nicht mehr gleichsam berücksichtigt werden, wenn diese Aufwendungen aus anlagenbezogener Sicht seit diesem Zeitpunkt gar nicht mehr notwendig und erforderlich. Dass einem Einrichtungsträger dann ggf. für Altanlagen Einnahmeausfälle deshalb entstehen, weil nicht mehr der gesamte Aufwand refinanzierbar ist, ist gebührenrechtlich unbeachtlich. Aus Gründen der Leistungsproportionalität kann eine Benutzungsgebühr jedenfalls nicht von den Grundstückseigentümern verlangt werden, die ab dem 01.09.2003 verpflichtet sind, das Niederschlagswasser selbst zu beseitigen. Andererseits kann auch nicht den Grundstückseigentümern, für deren Grundstücke die Aufgabe der Niederschlagswasserbeseitigung dem Beklagten obliegt, die gesamte „Kostenlast“ für die Altanlage nur deshalb auferlegt werden, weil der Einrichtungsträger diese in Ansehung anderer rechtlicher Vorgaben errichtet hat. Eine Benutzungsgebühr – wie hier - so kalkuliert und festgesetzt, bewirkt aus der Sicht des Gerichts einen Verstoß gegen das Prinzip der Leistungsproportionalität.

25 c) Ist der Beklagte nach §§ 78 Abs. 3 Ziffer 1 WG LSA, 3 Abs. 2 ABS (lediglich noch) für die Grundstücke niederschlagswasserbeseitigungspflichtig, bei denen ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung des Wohles der Allgemeinheit zu verhüten, so hat er weder vorgetragen noch bestehen für das Gericht greifbaren Anhaltspunkte dafür, dass dies jedenfalls eine Einrichtung zur zentralen Niederschlagswasserbeseitigung in dieser Ausdehnung erfordert hätte, wie dies nunmehr durch die Ermittlung des Gebührensatzes zu Grunde gelegten Kosten seinen Ausdruck findet. Denn die Einführung des Anschluss- und Benutzungszwangs im Hinblick auf die öffentliche Niederschlagswassereinrichtung verlangt im Rahmen der Bindung an Gründe des öffentlichen Wohls regelmäßig eine besondere w a s s e r w i r t s c h a f t l i c h e Rechtfertigung. Als solche Gründe können etwa besondere Verhältnisse des Untergrundes, die Lage in städtischen Verdichtungsbereichen sowie der Schutz des Grundwassers, sonstiger Gewässer oder von Trinkwasserreservoiren in Betracht kommen (so auch OVG LSA, U. v. 20.09.2010, 4 L 101/10); anlagebezogene Aspekte oder Gründe der Refinanzierung bereits errichteter Anlagen dagegen nicht. Hinreichende Anhaltspunkte dafür, welche tatsächlichen Verhältnisse die Versickerung von Niederschlagswasser auf dem Grundstück zulassen, geben u. a. das Arbeitsblatt DWA-A 138 (Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser) sowie das Merkblatt DWA-M 153 (Hand-

lungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser). Dass diese Erwägungen auch nur Ansatzweise zu Beginn der 90-er Jahre des letzten Jahrhunderts Maßstab für die Errichtung einer fast das gesamte Verbandsgebiet erfassenden technischen Anlage zur Beseitigung des Niederschlagswassers – ob nun im Misch- oder Trennsystem - gewesen ist, kann insbesondere in Ansehung der überwiegend eher dörflichen Struktur des Verbandsgebietes nach den hier vorliegenden Unterlagen ausgeschlossen werden.

26 d) Darüber hinaus sind die für die Erhebungszeiträume 2004 bis 2006 festgesetzten Gebührensätze nach Auffassung des Gerichts auch deshalb unwirksam, weil die Satzung vom 20.02.2003 sowie vom 03.05.2004 Schmutzwassergebühren in Höhe von 6,16 €/ m³ beinhaltet. Diese Gebühr war überhöht (VG Magdeburg, U. v. 18.03.2009, 9 A 242/07 MD), eine Gebühr in Höhe von 4,03 €/m³ - wie nunmehr (rückwirkend bis 01.01.2007) festgesetzt - dagegen nicht zu beanstanden (OVG LSA, U. v. 24.11.2010, 4 L 115/09; VG Magdeburg, U. v. 20.09.2011, 9 A 223/11 MD). Wurde mit den in diesen Satzungen festgesetzten Schmutz- und Niederschlagswassergebühren eine Gesamtkostendeckung verfolgt, was sich den vorliegenden Kalkulationen entnehmen lässt, und die Höhe der Schmutzwassergebühr (6,16 €/m³) jedenfalls auch deshalb gegen das Kostenüberschreitungsverbot (§ 5 Abs. 1 Satz 2 Hs. 2 KAG LSA) verstieß, weil darin zu Unrecht Kosten aus dem Betrieb der Niederschlagswasserbeseitigung berücksichtigt worden sind, führt dies auch Unwirksamkeit der in einer Satzung ebenfalls festgesetzten Niederschlagswassergebühr (vgl. zu Aspekten der Gesamt- und Teilnichtigkeit von Satzungen OVG LSA, U. v. 14.04.2008, 4 L 181/07; ThürOVG, U. v. 18.12.2000, 4 N 472/00, alle juris).

II.

27 Die Kostenentscheidung folgt aus § 154 Abs. 1 VwGO. Die Entscheidung zur vorläufigen Vollstreckbarkeit beruht auf den §§ 167 VwGO, 708 Nr. 11, 711 ZPO.

28 Der Antrag, die Zuziehung eines Bevollmächtigten im Vorverfahren für notwendig zu erklären, war mangels Rechtsschutzbedürfnisses abzulehnen, da der Kläger verpflichtet ist, die Kosten des Verfahrens, mithin auch die des Vorverfahrens (§ 162 Abs. 1 VwGO), zu tragen.

29 Die Streitwertfestsetzung beruht auf § 52 Abs. 3 GKG.

Anlage 1 zu TOP 6

Kommunalaufsicht
Eing.-Nr.: 327
11. Feb. 2019
Bearb.: ...

Landesverwaltungsamt · Postfach 20 02 56 · 06003 Halle (Saale)

Burgenlandkreis
Posteingang
07. Feb. 2019
Schönburger Straße 41
06618 Naumburg

SACHSEN-ANHALT

LANDESVERWALTUNGSAMT

Der Präsident

Landkreise und kreisfreie Städte
Zweckverbände entsprechend Verteiler

Posteingang Dezernat I
Eing.-Nr.: 5102 Weitergabe an: 15
08. Feb. 2019 LR z.K. Re
Ø DT
☒ Mit der Bitte um:
☒ Bearbeitung ☐ Rücksprache
☐ zur Unterschrift vorlegen ☐ Wiedervorlage
☐ .....

Halle, 31. Jan. 2019

Disziplinarrecht;
Allgemeine Anordnung zur Ausübung von disziplinaren Befugnissen für im Ruhestand befindliche Verbandsgeschäftsführer eines Zweckverbandes

RdVfg 4/2019

Zur Ausübung von disziplinaren Befugnissen für im Ruhestand befindliche Verbandsgeschäftsführer eines Zweckverbandes ordne ich nach §§ 78 Abs. 2 i. V. m. 80 Abs. 1 S. 2 DG LSA Folgendes an:

Der für den Zweckverband zuständigen Kommunalaufsichtsbehörde wird die disziplinarrechtliche Befugnis nach § 17ff DG LSA, einschließlich der Befugnisse zur Kürzung des Ruhegehalts bis zum Höchstmaß nach § 33 Abs. 4 DG LSA und zur Erhebung der Disziplinarklage nach § 34 DG LSA übertragen. Meine Befugnisse nach § 35 Abs. 1 DG LSA (Vorlage der Einstellungs- und Disziplinarverfügung) bleiben davon unberührt. Abweichend von § 42 Abs. 1 S. 1 DG LSA erfolgt entsprechend § 77 DG LSA die Bearbeitung des Widerspruchsbescheids durch mich.

Ich bitte diese Rundverfügung den unter Ihrer Aufsicht stehenden Kommunen und Zweckverbänden zur Kenntnis zu geben. Gleichzeitig erfolgt eine Veröffentlichung im Amtsblatt des Landesverwaltungsamtes.

Pleye

Ihr Zeichen:
Mein Zeichen:
206.3.1-03150-G
Bearbeitet von:
Herrn Michlik
maik.michlik@
lvwa.sachsen-anhalt.de

Tel.: (0345) 514-1297
Fax: (0345) 514-1414

Hauptsitz:
Ernst-Kamieth-Straße 2
06112 Halle (Saale)

Tel.: (0345) 514-0
Fax: (0345) 514-1444
Poststelle@
lvwa.sachsen-anhalt.de

Internet:
www.landesverwaltungsamt.
sachsen-anhalt.de

E-Mail-Adresse nur für
formlose Mitteilungen
ohne elektronische Signatur

Landeshauptkasse Sachsen-Anhalt
Deutsche Bundesbank
BIC MARKDEF1810
IBAN
DE21 8100 0000 0081 0015 00

Hier macht das Bauhaus Schule.
#moderndenken

Anlage 1 zu TOP 8

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz

Niedersachsen. Klar.

Verbleib des gereinigten Abwassers

Vorlesen

Das in einer Kläranlage vollbiologisch gereinigte Abwasser enthält noch immer gewisse Restbelastungen. Das sind sauerstoffzehrende organische Verbindungen, die Nährstoffe Phosphat und Nitrat, geringe Mengen von Metallsalzen sowie pathogene Keime. Durch die Ableitung des gereinigten Abwassers in ein leistungsfähiges Fließgewässer findet eine Verdünnung dieser Stoffe sowie ein weiterer Abbau der organischen Verbindungen durch die Selbstreinigungskräfte der Gewässer statt. Es ist hierbei aber auch zu beachten, dass einige Stoffe nur sehr langsam oder gar nicht abgebaut werden und es bei schlechten Reinigungsleistungen der Kläranlagen zu erheblichen Güteproblemen in den Flüssen und selbst in der Nordsee kommen kann.

Erfolgt die Ableitung aus einer Kläranlage in ein kleineres, schwaches Gewässer, so kann und muss die Wasserbehörde in begründeten Fällen höhere Anforderungen an die Abwasserreinigung stellen, die regelmäßig über die Anforderungen nach dem Stand der Technik hinausgehen.

Die Technik der Abwasserreinigung ist in den letzten Jahrzehnten ständig verfeinert worden und hat heute einen hohen Standard erreicht. Analog dazu konnte die Wasserqualität in den niedersächsischen Fließgewässern ständig verbessert werden.

Historisch bedingt gibt es in Niedersachsen eine Besonderheit: Die Städte Wolfsburg und Braunschweig verwerten ihr teilgereinigtes und geruchsfreies Abwasser mit den darin enthaltenen Nährstoffen während der Vegetationsphase in der Landwirtschaft. Hierbei haben die Abwasserverbände strenge Anforderungen an die fachgerechte Ausbringung des Abwassers einzuhalten. Zu diesen Auflagen zählen dichte Spritzschutzhecken an allen Straßen, ausreichende Abstände zu bewohnten Gebäuden und keine Beregnung von Gemüse und Obst.

Bei Kleinkläranlagen steht in aller Regel kein geeignetes Fließgewässer für die Einleitung des gereinigten Abwassers zur Verfügung. Daher muss das Abwasser über eine Bodenpassage dem Grundwasser zugeführt werden. Grundwasser genießt aber einen besonderen gesetzlichen Schutz; die Unteren Wasserbehörden haben deshalb auf die Einhaltung der Anforderungen zu achten.

Drucken

Aktuelles

Aktuelle Messwerte & Pegelstände
Pressemitteilungen
Presse-Aboservice
Niedersächsischer Landtag - Mündliche Anfragen
Newsletter
Newsletter-Abo
Veranstaltungen
Stellenangebote
Publikationen

Themen im Fokus

Themen

Wasser
Boden
Natur & Landschaft
Luftqualität
Klima
Energie
Atomaufsicht & Strahlenschutz
Nachhaltigkeit
Bauen & Wohnen
Abfall
Lärmschutz
Moorschutz
Technischer Umweltschutz
Weltnaturerbe Wattenmeer
Leichte Sprache

Umweltbericht

Wasser ist Leben
Unser Boden ist ein Schatz
Natur und Landschaft - Zu Hause in Niedersachsen
Atomausstieg: Rückbau und Lagerung - Priorität Sicherheit!
100 Prozent Erneuerbare Energien bis 2050
Das Klima schützen - den Klimawandel stoppen!
Luftreinhaltung ist Gesundheitsschutz
Weniger Lärm = Mehr Lebensqualität
Ressourceneffizientes Wirtschaften stärken
Umweltbildung mit Herz und Verstand
Umweltinformation - Wissen fürs Leben

Das Ministerium

Umweltminister Olaf Lies
Staatssekretär Frank Doods
Pressestelle
Organisationsplan
Geschäftsbereich
Haushalt & EU-Förderung
Kontakt

Service

Kontakt
Pressestelle
Umweltkarten
Umweltinformationssysteme
Stiftungen
Förderung

Sponsoringleistungen

Vergebene Aufträge / ex-post-Transparenz
Impressum
RSS-Feed

Niedersachsen. Klar.

Bildrechte Impressum Datenschutz Kontakt RSS Inhaltsverzeichnis

zum Seitenanfang

zur mobilen Ansicht wechseln

Anlage 2 zu TOP 8

TEXTE

34/2016

Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 34/2016

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3713 21 232
UBA-FB 002323

Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

von

Wolfgang Seis, Boris Lesjean
Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Berlin

Sebastian Maaßen, Dagmar Balla
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg

Rita Hochstrat
Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz, Schweiz

Bernhard Düppenbecker
Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
Cicerostr. 24
10709 Berlin

Abschlussdatum:
Februar 2016

Redaktion:
Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser und Boden
Manuela Helmecke
Fachgebiet II 4.3 Luftreinhaltung und terrestrische Ökosysteme
Simone Richter

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmenbedingungen-fuer-die-umweltgerechte-nutzung

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3713 21 232 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Der Bericht befasst sich mit den Rahmenbedingungen für die Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung in Deutschland. Der Bericht stellt eine Zusammenfassung verschiedener Aspekte dar, die bei Realisierung und Bewertung von Bewässerungsmaßnahmen mit behandeltem Abwasser zu berücksichtigen sind. Inhaltlich umfasst dies eine Zusammenfassung des Status-Quo der Bewässerungslandwirtschaft in Deutschland, eine Darstellung der für die Bewässerung mit behandeltem Abwasser benötigten Infrastruktur sowie eine Analyse des Potenzials und des Bedarfs, landwirtschaftliche Flächen mit Abwasser zu bewässern. Risiken, die durch die hygienische und chemische Beschaffenheit von behandelten kommunalen Abwässern mit der landwirtschaftlichen Bewässerung verbunden sind, werden aufgezeigt und, soweit möglich, anhand bestehender Schutzanforderungen für Gewässer, Boden und für die menschliche Gesundheit bewertet. Bezüglich der qualitativen Anforderung an Abwasser werden verschiedene nationale und internationale Standards an Bewässerungswasser bzw. behandeltes Abwasser zusammengestellt. Anhand dieser Zusammenstellung wird geprüft, ob die bestehenden Anforderungen in Deutschland für eine erforderliche Risikominimierung ausreichen oder wo ggf. nachgesteuert werden muss. Es werden verschiedene verfahrenstechnische Optionen, die für eine potenziell notwendige weitergehende Abwasserbehandlung zur Verfügung stehen, dargestellt.

Abstract

This report issues the boundary condition for the sustainable reuse of treated wastewater for agricultural irrigation in Germany. It is a summary of different aspects, which have to be considered for the realization and assessment of irrigation projects with treated wastewater. The report comprises a summary of the status quo of agricultural irrigation in Germany, the required infrastructure for agricultural wastewater reuse and an analysis of the potential and the agricultural demand for using wastewater as an additional water source. Furthermore, various national and international recommendations and legal requirements concerning wastewater reuse in agriculture are presented. These standards were evaluated on the basis of existing requirements for protection of water, soil and human health in Germany. Risks related to the hygienic and chemical quality of treated wastewater are presented. Based on this survey it is verified whether the existing requirements in Germany are sufficient for risk reduction. Additional treatment options for advanced wastewater treatment for reuse are shown.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis v
Autorenverzeichnis ix
Abbildungsverzeichnis x
Tabellenverzeichnis xiii
Abkürzungen xvii
Zusammenfassung 1
Summary 10
1 Hintergrund und Ausgangslage 18
1.1 Stand der Bewässerungslandwirtschaft in Deutschland 19
1.2 Stand der Abwasserbehandlung in Deutschland 21
1.3 Wiederverwendung von behandeltem Abwasser in Deutschland 21
1.4 Berichtstruktur 23
2 Quantifizierung des Bedarfs an landwirtschaftlicher Wasserwiederverwendung 25
2.1 Bilanzierung des Wasserdargebots 27
2.1.1 Methodik 27
2.1.2 Ergebnisse 29
2.2 Gegenwärtiger und potenzieller Bewässerungsbedarf in Deutschland 32
2.2.1 Methodik 32
2.2.2 Ergebnisse 35
2.3 Potenzial der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung 41
2.3.1 Methodik 41
2.3.2 Ergebnisse 43
2.4 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf 55
3 Rechtlicher und regulatorischer Rahmen in Deutschland 57
3.1 Mediales Umweltrecht 58
3.1.1 Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) 58
3.1.2 Grundwasserverordnung (GrwV) 58
3.1.3 Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) 60
3.1.4 Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV) 60
3.1.5 Düngeverordnung (DüV) 61
3.1.6 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) 62

3.2 Verbraucher- und Gesundheitsschutz 63
3.2.1 Badegewässerrichtlinie (und entsprechende Verordnungen der Länder) 63
3.2.2 Trinkwasserverordnung (TrinkwV) 63
3.2.3 Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) 64
3.2.4 Rückstandshöchstmengenverordnung (RHmV) 64
3.3 Empfehlungen ohne rechtliche Bindung 67
3.3.1 DIN 19684-10 «Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen» 67
3.3.2 DIN 19650 Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser 67
3.3.3 Empfehlungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 69
3.3.4 Branchenspezifische Qualitätsanforderungen 70
3.4 Schlussfolgerungen 70
4 Hygienische und stoffliche Aspekte bei der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung 71
4.1 Krankheitserreger im behandelten Abwasser 71
4.1.1 Gefährdungspotenzial 72
4.1.2 Mikrobielle Belastung des behandelten Abwassers 73
4.1.3 Bewertung der hygienischen Wasserqualität 74
4.1.4 Schlussfolgerungen, Forschungsbedarf, Empfehlungen 75
4.2 Chemische Abwasserinhaltsstoffe 76
4.2.1 Salze und ihre Ionen 76
4.2.2 Stickstoff und Phosphor 78
4.2.3 Schwermetalle 85
4.2.4 Organischer Kohlenstoff 89
4.2.5 Organische Mikroverunreinigungen 89
4.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 95
5 Weitergehende Abwasserbehandlung 96
5.1 Verfahren zur Desinfektion von behandeltem Abwasser 99
5.1.1 Chlorung 99
5.1.2 UV-Bestrahlung 100
5.1.3 Ozonung 100
5.1.4 Membranverfahren 101
5.1.5 Sonstige Desinfektionsverfahren 102
5.1.6 Abscheidung von Krankheitserregern im Abwasser durch andere Verfahren der Abwasserbehandlung 103

5.1.7 Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit verschiedener Desinfektionsverfahren ... 104
5.2 Verfahren zur stofflichen Aufbereitung von behandeltem Abwasser ... 109
5.2.1 Biofilter (nachgeschaltet) ... 109
5.2.2 Fällung und Flockung ... 110
5.2.3 Membranverfahren ... 110
5.2.4 Mikrosiebung ... 110
5.2.5 Schnellfiltration (Tiefenfiltration) ... 111
5.2.6 Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit verschiedener Verfahren zur stofflichen Aufbereitung von behandeltem Abwasser ... 111
5.3 Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus behandeltem Abwasser ... 115
5.3.1 Optimierung konventioneller Verfahren ... 115
5.3.2 Oxidative Verfahren ... 116
5.3.3 Adsorptive Verfahren ... 117
5.3.4 Membranverfahren ... 118
5.4 Mögliche Verfahrensketten zum Erreichen der Anforderungen ... 118
5.5 Schlussfolgerungen, Forschungsbedarf, Empfehlungen ... 120
6 Infrastruktur und Organisation ... 122
6.1 Infrastruktur ... 122
6.1.1 Sammlung und Behandlung ... 122
6.1.2 Transport und Verteilung ... 123
6.1.3 Wasserspeicherung ... 125
6.1.4 Bewässerungssysteme ... 129
6.2 Wassermengenmanagement, Organisation und Kommunikation im Nutzungsverbund ... 130
6.3 Risiko- und Qualitätsmanagement ... 133
6.4 Wirtschaftlichkeit und Kostenkalkulation ... 135
6.4.1 Bewässerungsbedürftigkeit und Bewässerungswürdigkeit ... 135
6.4.2 Kosten-Nutzen-Kalkulation bei konventioneller Feldberegnung ... 135
6.4.3 Besonderheiten bei der Nutzung von behandeltem Abwasser ... 137
6.5 Kostenverteilung, Akzeptanz und Akteure ... 138
6.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen ... 141
7 Internationale Erfahrungen im Bereich Wasserwiederverwendung ... 143
7.1 Außereuropäische und supranationale Leitlinien und Normen ... 143
7.1.1 Leitlinien der Weltgesundheitsorganisation ... 143

7.1.2 Australische Leitlinien 144
7.1.3 Leitlinien der US-amerikanischen Umweltbehörde: US EPA Guidelines for Water Reuse 145
7.1.4 Internationale Normung (ISO) 146
7.2 Existierende Regelungen zur Wiederverwendung behandelten Abwassers in EU-Mitgliedsstaaten 147
7.3 Schlussfolgerungen 151
7.4 Praxisbeispiele 151
7.4.1 Mechanische-biologische Abwasserbehandlung in Kombination mit Filtration und Desinfektion 152
7.4.2 Mechanische-biologische Abwasserbehandlung in Kombination mit SAT (soil-aquifer treatment) (Shafdan, IL) 155
8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen 157
8.1 Bedarf für eine landwirtschaftliche Bewässerung mit behandeltem Abwasser in Deutschland 157
8.2 Wahrung der Schutzziele und Anforderungen an die Wasserqualität 157
8.3 Nutzung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe 159
8.4 Verfahrenstechnische Voraussetzungen 159
8.5 Infrastrukturelle Anforderungen und Akzeptanz der Landwirte 160
8.6 Allgemeine Empfehlungen 160
Quellenverzeichnis 162
Anhang I: Rechtliche Anforderungen 176
Anhang II: Kostenrechnung verschiedener Bewässerungssysteme 187
Anhang III: Reduktionsleistung verschiedener Behandlungsstufen 191
Anhang IV: Gesetzgebung zur Wiederverwendung von behandeltem Abwasser in Europa 194

Autorenverzeichnis

Kapitel	Überschrift	Autor/-en
1	Hintergrund und Ausgangslage	KWB, FHNW, ZALF, TU Darmstadt
2	Quantifizierung des Bedarfs an landwirtschaftlicher Wasserwiederverwendung	ZALF
3	Rechtlicher und regulatorischer Rahmen in Deutschland	FHNW, KWB
4	Hygienische und stoffliche Aspekte bei der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung	KWB, FHNW, ZALF
5	Weitergehende Abwasserbehandlung	TU Darmstadt
6	Infrastruktur und Organisation	KWB, ZALF
7	Internationale Erfahrungen im Bereich Wasserwiederverwendung	FHNW, KWB
8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	KWB, FHNW, ZALF, TU Darmstadt
	Anhang	FHNW, KWB

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Relevante Schutzgüter sowie chemische und hygienische Abwasserbestandteile mit Gefährdungspotenzialen, die bei der landwirtschaftlichen Bewässerung mit behandeltem Abwasser zu berücksichtigen sind 19

Abbildung 2: Luftbild der Kläranlage in Wolfsburg (mit freundlicher Genehmigung der Wolfsburger Entwässerungsbetriebe) 22

Abbildung 3: Überblick über die verschiedenen Komponenten/Bereiche eines Systems zur Wasserwiederverwendung 23

Abbildung 4: Mengenmäßiger Grundwasserzustand 27

Abbildung 5: Mittlere klimatische Wasserbilanz für die Vegetationsperiode April – Oktober (1981-2010) 30

Abbildung 6: Mittlere Grundwasserneubildung in den verschiedenen Landkreisen und Bundesländern 31

Abbildung 7: Mittleres für die landwirtschaftliche Bewässerung nutzbares Grundwasserdargebot 32

Abbildung 8: Anteile der real und potenziell bewässerten Flächen an der landwirtschaftlichen Gesamtfläche 35

Abbildung 9: Anteile der realen und potenziellen Bewässerungsmengen an den öffentlichen und nicht öffentlichen Wasserentnahmen 36

Abbildung 10: Reale Beregnungshöhen auf Bundeslandebene 37

Abbildung 11: Reale und zukünftige Beregnungshöhen (150 %) sowie fruchtartengewichteter Zusatzwasserbedarf (fgZB), bezogen auf die realen Anbauverhältnisse der Bundesländer (Summe für Getreide, Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben) im Mittel und für Trockenjahre 38

Abbildung 12: Wassermengen für die landwirtschaftliche Bewässerung nach Wasserquellen 39

Abbildung 13: Verhältnis aus szenarienabhängiger Gesamtgrundwasserentnahme und Grundwasserneubildung auf Landkreisebene 40

Abbildung 14: Verhältnis aus szenarienabhängiger Gesamtgrundwasserentnahme und Grundwasserneubildung auf Bundeslandebene 41

Abbildung 15: Mengen an kommunalem Abwasser (Jahressumme 2010) 44

Abbildung 16: Verhältnis aus kommunaler Abwassermenge und Bewässerungsmenge auf Landkreisebene 45

Abbildung 17: Verhältnis aus der mit der verfügbaren Abwassermenge bewässerbaren Fläche zur landwirtschaftlichen Gesamtfläche für die aktuelle und zukünftige (150 %) Beregnungshöhe 46

Abbildung 18: Verhältnis aus szenarienabhängiger Gesamtgrundwasserentnahme und Grundwasserneubildung bei zusätzlicher Verwendung des gesamten kommunalen Abwassers 48

Abbildung 19: Anzahl der Kläranlagen, gruppiert nach Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen (Größenklassen 2 und 3, Größenklassen 4 und 5) für die aktuelle und zukünftige (150 %) Beregnungshöhe 49

Abbildung 20: Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen (Größenklassen 2 und 3, Größenklassen 4 und 5) für die aktuelle und zukünftige (150 %) Beregnungshöhe in Abhängigkeit vom Bundesland 50

Abbildung 21: Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen Größenklasse 4 und 5 bei aktueller und zukünftiger Beregnungshöhe 52

Abbildung 22: Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen Größenklasse 2 und 3 bei aktueller und zukünftiger Beregnungshöhe 53

Abbildung 23: Kläranlagen der Größenklasse 5 (> 100 000 EW) mit Bewertung des verbleibenden Durchflusses der Einleitgewässer bei fehlender Abwassereinleitung durch Verwendung des Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung 54

Abbildung 24: Übersicht der relevanten Vorschriften, die in Deutschland im Zusammenhang mit der Nutzung von behandeltem Abwasser potenziell zu berücksichtigen sind 58

Abbildung 25: Mögliche Expositionspfade verschiedener Bevölkerungsgruppen bei der landwirtschaftlichen Bewässerung (WHO 2006) 73

Abbildung 26: Konzentrationen ausgewählter mikrobieller Parameter in Kläranlagenabläufen und log_{10} Reduzierung 74

Abbildung 27: Zusammenhang zwischen der elektrischen Leitfähigkeit, dem Natrium- Adsorptionskoeffizienten (SAR) und der Beeinflussung der Infiltration des Bewässerungswassers in den Boden 77

Abbildung 28: Potenzielle Stickstofffrachten (N_{ges}) in Abhängigkeit von der Beregnungshöhe bei Einhaltung der Anforderungen an Stickstoff für Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5, der Einhaltung der Empfehlung des Bundeslands Thüringen, der mittleren Stickstoff-Ablaufkonzentration deutscher Klärwerke, der mittleren Zulaufkonzentration sowie die Definition „wesentliche Nährstoffmenge“ für die Stickstofffracht 79

Abbildung 29: Transferpfade von Schwermetallen innerhalb terrestrischer und aquatischer Ökosysteme (Schütze, 2002) 86

Abbildung 30: Elimination ausgewählter organischer Spurenstoffe bei der Untergrundpassage in Abhängigkeit von Redoxbedingungen und Aufenthaltszeiten (Miret *et al.*, 2012). Dunkelgrau hinterlegte Felder repräsentieren eine > 90 %ige Elimination) 91

Abbildung 31: Schema der Modellkläranlage sowie der weitergehenden Abwasserbehandlung 97

Abbildung 32: Schematische Darstellung verschiedener Arten der Grundwasseranreicherung in der Land-und Forstwirtschaft 127

Abbildung 33: Übersicht über existierende Bewässerungssysteme zur landwirtschaftlichen Bewässerung nach DIN 19655 130

Abbildung 34: Fallbetrachtung der direkten Nutzung von behandeltem Abwasser mit kurzfristiger Speicherung 131

Abbildung 35: Indirekte Nutzung von behandeltem Abwasser mit längerfristiger Speicherung 133

Abbildung 36: Übersicht über den Status von spezifischen Regelungen zur Abwasserwiederverwendung in Europa. Da sich die DIN 19650 allgemein auf Bewässerungswasser bezieht, ist sie hier nicht berücksichtigt 148

Abbildung 37: Vergleich der Grenzwerte für *E. coli* oder Fäkalcoliforme für uneingeschränkte Bewässerung in verschiedenen Regularien 151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beregnungsflächen in Deutschland 2013 (Statistisches Bundesamt, 2014) 20

Tabelle 2: Beregnungsgebiete in Deutschland (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2011) 20

Tabelle 3: Anzahl und Ausbaugröße der Kläranlagen in Deutschland entsprechend der Größenklassen (DWA, 2012) 21

Tabelle 4: Datenquellen und Methoden zur Bilanzierung des Wasserdargebots 29

Tabelle 5: Methoden und Datenquellen zur Bilanzierung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs 34

Tabelle 6: Methoden und Datenquellen für die Bilanzierung des Bedarfs an gereinigtem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung 43

Tabelle 7: Gesetze und Verordnungen und die darin berücksichtigten Wasserqualitätsparameter sowie umgesetzte EU-Richtlinien 65

Tabelle 8: Hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und Anwendung von Bewässerungswasser nach DIN 19650 68

Tabelle 9: Auswahl von Krankheitserregern, die potenziell in kommunalen Abwässern vorkommen und damit verbundene Krankheiten (WHO 2006) 72

Tabelle 10: Typische Konzentrationen ausgewählter Einzelionen sowie der elektrischen Leitfähigkeit in behandeltem Abwasser 77

Tabelle 11: Berechnete Frachten für Gesamt-Stickstoff N_{ges} und Gesamt-Phosphor P_{ges} bei Beregnung mit behandeltem Abwasser, bezogen auf die durchschnittliche Beregnungshöhe h_{ber} für die Bundesländer, beaufschlagt mit 50 % (h_{ber}*1,5) zur Berücksichtigung des Klimawandels bis zum Jahr 2050 80

Tabelle 12: Stickstoffbilanz auf landwirtschaftlichen Flächen für 2010 auf Bundesebene (BMU, BMELV 2012, leicht verändert) 81

Tabelle 13: Gesamtsollwerte für Stickstoffdüngung aus N_{min} +Düngung für verschiedener Getreidearten (Düngeempfehlung der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen) 81

Tabelle 14: Bewässerungszeitspannen (hellgrau) nach Roth (1993), veröffentlicht in Michel & Sourell (2014) sowie Abschätzung der Zeiträume für Stickstoffgaben (gelb) in Abhängigkeit von der Kulturart, ergänzt durch Expertenbefragung, Düngezeitpunkt für Winterweizen nach LWK-NRW (2012) sowie zeitliche Abschätzung der Entwicklungsstadien für Winterweizen nach Qara-Fallah (2008) 82

Tabelle 15: Versickerungsintensität und maximal vertretbare Beregnungsintensitäten in Abhängigkeit von Bodenart und Hangneigung 84

Tabelle 16: Vergleich der Emissionsfaktoren für verschiedene Schwermetalle für mittlere Ablaufkonzentrationen deutscher Kläranlagen (Scherer

& Fuchs, 2010) mit den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung und den Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS nach LAWA, 2004) 87

Tabelle 17: Vergleich der zulässigen zusätzlichen jährlichen Schwermetallfrachten, die über alle Wirkungspfade bei Überschreiten der Vorsorgewerte nach BBodschV (1999) auf Böden aufgebracht werden dürfen und der mit dem Bewässerungswasser aufgebrachten Fracht sowie den angenommenen atmosphärischen Depositionen 88

Tabelle 18: Umfang der durch das NLWKN durchgeführten Grundwasseruntersuchungen und semiquantitative Auswertung (NLWKN, 2014), (BG: Bestimmungsgrenze) 92

Tabelle 19: Konzentration von ausgewählten Mikroverunreinigungen in Kläranlagenabläufen und in Studien zu Phytoxizität und Pflanzenaufnahme 93

Tabelle 20: Überblick der betrachteten Verfahren zur weitergehenden Behandlung von Abwasser 98

Tabelle 21: Wirksamkeit ausgewählter Verfahrenstechniken hinsichtlich der Desinfektion von behandeltem Abwasser 99

Tabelle 22: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Chlorung und Ozon, unter dem Aspekt der Desinfektion von behandeltem Abwasser 105

Tabelle 23: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von UV-Bestrahlung und Membranverfahren (UF), unter dem Aspekt der Desinfektion von Abwasser 106

Tabelle 24: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Mikrosiebung und Schnellfiltration, unter dem Aspekt der Desinfektion von Abwasser 107

Tabelle 25: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Fällung und Flockung (nachgeschaltet) und Schönungsteichen, unter dem Aspekt der Desinfektion von Abwasser 108

Tabelle 26: Kritische Wasserqualitätsparameter bei der Bewässerung mit behandeltem Abwasser 109

Tabelle 27: Kennwerte zur Abscheidung von abfiltrierbaren Stoffen (AFS) mittels Mikrosiebanlagen 111

Tabelle 28: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Biofiltern (nachgeschaltet) und Fällung und Flockung (nachgeschaltet) 112

Tabelle 29: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Membranverfahren 113

Tabelle 30: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Mikrosiebung und Schnellfiltration 114

Tabelle 31: Beispiele für Verfahrensketten zum Erreichen der Qualitätsanforderungen für unterschiedliche Nutzungsarten (Eignungsklassen nach DIN 19650) 119

Tabelle 32: Systembereiche und Komponenten bei der landwirtschaftlichen Bewässerung 122

Tabelle 33: Technische Daten des Beregnungsverbandes Vorderpfalz (BVP, 2015) 125

Tabelle 34: Maximale Betriebsdauer, bewässerbare Fläche und benötigte Anzahl von Beregnungsmaschinen in Abhängigkeit von der Ausbaugröße des Klärwerks sowie unterschiedlicher spezifischer Abwassermengen pro Einwohnerwert (EW) bei direkter Abwassernutzung 132

Tabelle 35: Hauptkomponenten und Maßnahmen von Systemen zur Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung 134

Tabelle 36: Wirtschaftlichkeit der Feldberegnung am Versuchsfeld Hamersdorf 2006 - 2010 (Fricke & Riedel, 2011) 137

Tabelle 37: Infrastrukturelle Komponenten bei verschiedenen Optionen der Feldberegnung 141

Tabelle 38: Übersicht über die Einzeldokumente der Australischen ‚National Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks' (Erscheinungsjahr und Anwendungsgebiete) 145

Tabelle 39: Zusammenhang zwischen Behandlungsstufe, Nutzungsmöglichkeiten, Gesundheitsrisiken und Kosten der Wasserwiederverwendung (US-EPA 2012) 146

Tabelle 40: Überblick über die in Regelwerken europäischer Staaten definierten und reglementierten Arten der Abwasserwiederverwendung (FR-Frankreich, ES-Spanien, PT-Portugal, IT-Italien, GR-Griechenland, CY- Zypern) 149

Tabelle 41: Überblick über regulierte physikalisch-chemische und mikrobielle Parameter in abwasserwiederverwendungsspezifischen Regularien europäischer Staaten (FR- Frankreich, ES- Spanien, PT- Portugal, IT- Italien, GR- Griechenland ,CY- Zypern) 149

Tabelle 42: Anforderungen an häusliches und kommunales Abwasser für die Einleitstelle (Abwasserverordnung, 2007) 176

Tabelle 43: Überwachungsparameter und Perzentilwerte zur Einstufung der Badegewässerqualität nach Badegewässerverordnung 177

Tabelle 44: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach der Salzkonzentration und der elektrischen Leitfähigkeit, bezogen auf die Salzverträglichkeit der Kulturpflanzenart sowie unter Berücksichtigung der Bodenbehandlung DIN 19684-10 177

Tabelle 45: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach dem höchstzulässigen Natrium Anteil an der Gesamt-Salzkonzentration

(SP-Wert) und Natriumadsorptionskoeffizienten (SAR), bezogen auf die Salzverträglichkeit der Kulturart DIN 19684-10 178

Tabelle 46: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach seiner Chloridkonzentration und der daraus resultierenden Schadwirkung bei Kulturpflanzen bezogen auf die Chloridverträglichkeit der Kulturpflanzenart 178

Tabelle 47: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach seiner Borkonzentration und der daraus resultierenden Schadwirkung bei Kulturpflanzen bezogen auf die Borverträglichkeit der Kulturpflanzenart 178

Tabelle 48: Toleranzbereiche verschiedener Metalle und Halbmetalle für Bewässerungswasser (DIN 19684-10) 179

Tabelle 49: Hygienische Anforderungen an die Qualität von Bewässerungswasser (TLL 2010) 179

Tabelle 50: Toleranzbereiche verschiedener Ionen und Schwermetalle des Bundeslandes Thüringen an die Qualität von Bewässerungswasser (TLL 2010) 180

Tabelle 51: Hygienische Anforderungen der QS-Fachgesellschaft Obst Gemüse Kartoffeln 181

Tabelle 52: Empfehlung der amerikanische Umweltbehörde US-EPA hinsichtlich potenzieller Bewässerungseinschränkungen aufgrund des Salzgehaltes 181

Tabelle 53: Vorschläge für Wasserqualitätsanforderungen und weitere Kriterien für verschiedene Kategorien der Wasserwiederverwendung (US EPA guidelines for water reuse - Auszug) 183

Tabelle 54: Kosten Nutzen Analyse verschiedener Beregnungssysteme nach von Haaren & von Haaren (2014) 187

Tabelle 55: Entfernungsraten von Indikatororganismen und Pathogenen in ausgewählten Abwasserbehandlungsverfahren 191

Tabelle 56: Qualitätskategorien und – parameter der französischen Gesetzgebung 194

Tabelle 57: Qualitätskategorien und – parameter für landwirtschaftliche und sonstige Bewässerung der portugiesischen Norm NP 4434 195

Abkürzungen

AFP	Agrarförderungsprogramm
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
BSB_5	Biochemischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen
ClO_2	Chlordioxid
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DNP	Desinfektionsnebenprodukte
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff (Dissolved Organic Carbon)
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EF	Emissionsfaktor
E+MSR	Elektrisches Messen, Steuern und Regeln
EW	Einwohnergleichwert
GK	Größenklasse (bezieht sich auf die Ausbaugröße von Kläranlagen)
GOW	gesundheitlicher Orientierungswert
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert
HAD	Hydrologischer Atlas von Deutschland
HCl	Salzsäure
HClO	Hypochlorige Säure
KBE	Koloniebildende Einheiten
MF	Mikrofiltration
NDMA	N-Nitrosodimethylamine
$NaClO_2$	Natriumchlorit
N_{ges}	Gesamt-Stickstoff
NF	Nanofiltration
NH_4^+	Ammonium-Ion
NH_4-N	Ammonium-Stickstoff
NO_2^-	Nitronium-Ion
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (Einheit für Trübungsmessungen)
O_3	Ozon
OCl^-	Hypochlorit-Ion
PES	Peroxyessigsäure

P_{ges}	Gesamt-Phosphor
PO_4^{3-}	Phosphat
RNS	Ribonukleinsäure
RO	Umkehrosmose (Reverse Osmosis)
TOC	Gesamt-Kohlenstoff (Total Organic Carbon)
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TS	Trockensubstanz
UF	Ultrafiltration
USEPA	U.S. Environmental Protection Agency
UV	Ultraviolett
UV-LEDs	Ultraviolette Leuchtdioden
WHO	World Health Organization

Zusammenfassung

In Deutschland ist die Landwirtschaft bislang in den meisten Regionen ohne Zusatzbewässerung möglich. Nur etwas mehr als 2 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden derzeit bewässert (Statistisches Bundesamt, 2014). Auch in ihrer „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ aus dem Jahr 2008 sieht die Bundesregierung die Wasserversorgung in Deutschland als gesichert an. Gleichwohl weist sie darauf hin, dass „vor allem bei längeren und häufiger auftretenden regionalen Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden regional Nutzungskonflikte bei oberirdischen Gewässern und insbesondere bei oberflächennahen Grundwasserentnahmen (z. B. für Beregnung) möglich werden“ (Bundesregierung 2008, S. 23). Der Sommer 2015 hat die Folgen andauernder Trockenheit gezeigt. In vielen Teilen Deutschlands kam es zu Ernteeinbußen. Sollte sich die Häufigkeit solch trockener Jahre erhöhen, ist mit einer Zunahme des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs zu rechnen.

Die vorliegende Studie befasst sich in diesem Zusammenhang mit verschiedenen Aspekten der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser aus kommunalen Kläranlagen zur landwirtschaftlichen Bewässerung, entweder direkt nach der Aufbereitung oder indirekt über die Infiltration des behandelten Abwassers in einen geeigneten Grundwasserleiter (Grundwasseranreicherung) zur späteren Wiederentnahme.

Ziel war es zu klären, ob und unter welchen Bedingungen behandeltes Abwasser in Deutschland zu Bewässerungszwecken genutzt werden kann. Dazu wurden die vorhandene Literatur sowie Erkenntnisse aus Forschungsprojekten ausgewertet und zusammengefasst. Zudem wurden diverse Richtliniendokumente sowie die administrativen Rahmenbedingungen im Bereich der landwirtschaftlichen Bewässerung, der Abwasserbehandlung und des Gewässerschutzes analysiert. Dabei wurde auf die spezielle Situation in Deutschland eingegangen. Ausgangslage ist der derzeitige Stand der Bewässerungslandwirtschaft sowie der kommunalen Abwasserbehandlung.

Bewässerungslandwirtschaft in Deutschland

Die Bewässerungslandwirtschaft ist in Deutschland von vergleichsweise geringer Bedeutung, da die Jahresniederschläge mit 450 – 1000 mm pro Jahr relativ hoch sind. In den meisten Regionen fallen auch während der Vegetationsperiode ausreichend Niederschläge. Schwerpunkte der Bewässerungslandwirtschaft liegen derzeit in Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Hessen und Nordrhein-Westfalen. Der Zusatzwasserbedarf für Beregnung liegt auf Bundeslandebene im Median zwischen 50 und 110 mm/a, und in mehr als 75 % aller Fälle unterhalb von 150 mm/a.

Abwasserbehandlung in Deutschland

In Deutschland sind 96 % der Bevölkerung an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen (Statistisches Bundesamt, 2013). Entsprechend ihrer Ausbaugröße bzw. Behandlungskapazität werden Kläranlagen in fünf Größenklassen (GK) eingeteilt (siehe Kapitel 1.2). 91 % der installierten Behandlungskapazitäten fallen auf große Kläranlagen der Größenklassen 4 (10 000 – 100 000 EW) und 5 (> 100 000 EW) (DWA, 2012). Die Kläranlagen der Größenklassen 1, 2 und 3 machen zusammen nur 8,1 % der Gesamtausbaugröße aus. Anlagen der Größenklassen 3, 4 und 5 behandeln das Abwasser in der Regel im Belebungsverfahren (> 95 %). Naturnahe Verfahren, wie Pflanzenkläranlagen sowie belüftete und unbelüftete Abwasserteiche, kommen fast ausschließlich in den Größenklassen 1 und 2 zum Einsatz. (DWA, 2012). Zur Abschätzung des Potenzials, behandeltes Abwasser wiederzuverwenden, wurde von daher der Fokus auf große Kläranlagen gelegt (GK 3 – GK 5).

Quantifizierung des Bedarfs an landwirtschaftlicher Wasserwiederverwendung

Generelles Ziel der Untersuchungen war die Beantwortung der Frage, ob in Deutschland vor dem Hintergrund aktueller und zukünftiger klimatischer Verhältnisse ein Bedarf an der Erschließung alternativer oder zusätzlicher Wasserquellen für die Bewässerung besteht. Dazu wurden auf Bundesland- und Landkreisebene das Wasserdargebot anhand der klimatischen Wasserbilanz, der Grundwasserneubildungsraten und Wasserentnahmen bilanziert. Regionen mit negativer klimatischer Wasserbilanz und einer geringen Grundwasserneubildungsrate, d.h. Regionen mit potenziell hohem Trockenstress und einem saisonal hohen Bedarf an Zusatzbewässerung, liegen insbesondere im Nordöstlichen Tiefland (Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg), in großen Teilen von Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen sowie in der Lüneburger Heide und in Teilen des Oberrheinischen Tieflandes.

In den Analysen wurde der landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf für insgesamt vier Szenarien dargestellt (Bewässerung mit Grundwasser, reale Gesamtbewässerung, potenzielle aktuelle Gesamtbewässerung und potenzielle zukünftige Gesamtbewässerung). Drei der Szenarien beziehen sich auf aktuell vorherrschende klimatische Bedingungen, wogegen ein viertes Szenario prognostizierte klimatische Entwicklungen bis zum Jahre 2050 betrachtet. Grundlage zur Beurteilung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs waren die Daten der Landwirtschaftszählung 2010 auf Landkreis- und Bundeslandebene (Statistisches Bundesamt, 2011, Statistische Landesämter, 2011-2012).

Der Anteil der real bewässerten Fläche an der landwirtschaftlichen Gesamtfläche in Deutschland beträgt ca. 2,2 %. Bei Bewässerung aller mit Bewässerungstechnik ausgestatteten Flächen (aktuell potenziell bewässerbare Fläche) steigt der Flächenanteil auf 3,8 %. Regionen mit den höchsten Flächenanteilen an bewässerbaren Flächen (> 50 %) befinden sich in Niedersachsen, v.a. in der Lüneburger Heide (Landkreise Uelzen, Celle und Gifhorn), im Oberrheinischen Tiefland (Rheinland-Pfalz, Hessen, Baden-Württemberg) sowie in der Region Niederrhein (Nordrhein-Westfalen).

Bei Betrachtung der Anteile der landwirtschaftlichen Bewässerungsmengen an den gesamten Wasserentnahmen zeigten sich für Deutschland im Mittel sehr geringe Werte (reale Gesamtbewässerung 1,6 % und potenzielle Gesamtbewässerung 3,1 %). In den meisten Landkreisen lagen die Anteile unter 2 %, jedoch war ein starker Anstieg im Nordosten Deutschlands zu verzeichnen mit den höchsten Anteilen in Niedersachen, insbesondere in der Lüneburger Heide mit > 75 %. Auch für angrenzende Landkreise in Bandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern waren die Anteile mit 10 - 50 % stark erhöht sowie in Landkreisen südwestlich von Berlin in Brandenburg und in Sachsen-Anhalt (10 - 25 %).

Eine weitere Zielstellung war die Analyse der Bewässerungsmenge in Abhängigkeit von der Wasserherkunft. Es zeigte sich, dass in den meisten Bundesländern die Bewässerung mit Grundwasser dominiert, wobei in Rheinland-Pfalz 72 % des Bewässerungswassers als Uferfiltrat entnommen und über Beregnungsverbände verteilt wird. In Mecklenburg-Vorpommern stammt ein hoher Anteil des Bewässerungswassers (62 %) aus dem Oberflächenwasser (meist Grabeneinstau).

Eine weitere Betrachtung widmete sich der Fragestellung, ob die Verwendung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung eine Stabilisierung des mengenmäßigen Grundwasserzustands bewirken würde, da dadurch die Grundwasserentnahmen für Bewässerungszwecke stark reduziert werden könnten. Die Analysen zeigen, dass in Deutschland in einigen Regionen ein landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf besteht, der jedoch in den meisten Fällen aus den vorhandenen Wasserressourcen gedeckt werden kann, ohne dass der mengenmäßige Grundwasserzustand beeinträchtigt wird. Einige Landkreise in der Lüneburger

Heide und im Oberrheinischen Tiefland jedoch würden von einer Zusatzbewässerung mit behandeltem Abwasser dahingehend profitieren, dass der mengenmäßige Grundwasserzustand in diesen Regionen trotz potenziell hoher Entnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung gestützt bzw. verbessert werden könnte.

Darüber hinaus wurde betrachtet, ob es durch die landwirtschaftliche Bewässerung mit behandeltem Abwasser zu Konkurrenzsituationen zwischen Grund- und Oberflächengewässern kommen kann, wenn Abwasserströme nicht mehr dem Oberflächengewässer zugeführt werden. Hinsichtlich der mengenmäßigen Beeinflussung von Oberflächengewässern, in die behandeltes Abwasser eingeleitet wird, zeigte ein erstes Screening für die Kläranlagen GK 5, dass bei vollständiger Entnahme des Klärwerksabflusses für die landwirtschaftliche Bewässerung nur bei einzelnen großen Kläranlagen die Gefahr besteht, ein Drittel des mittleren Niedrigwasserabflusses zu unterschreiten. Für die kleineren Kläranlagen (GK 2 - 4), welche meist auch in kleinere Fließgewässer einleiten, könnte die fehlende Abwassereinleitung jedoch einen negativen Einfluss auf den Mindestwasserabfluss der Einleitgewässer haben. Hier besteht noch Untersuchungsbedarf.

Hygienische und stoffliche Aspekte bei der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Da bei der konventionellen Abwasserbehandlung nicht alle Schadstoffe vollständig abgebaut oder zurückgehalten werden, besteht durch die Nutzung von behandeltem Abwasser ein Gefährdungspotenzial für verschiedene Schutzgüter, insbesondere für die menschliche Gesundheit, den Boden und für das Grundwasser.

Dabei handelt es sich insbesondere um hygienische Risiken durch im behandelten Abwasser befindliche Krankheitserreger und Stoffeinträge in oberflächennahe Grundwasserleiter und in den Boden. Basierend auf einer Charakterisierung der Abwasserzusammensetzung wurde abgeschätzt, ob Schutzziele, wie sie beispielsweise im medialen Umweltrecht festgelegt sind, durch eine Beregnung mit behandeltem Abwasser gefährdet würden. Die Untersuchungen konzentrierten sich dabei auf die Bewertung der hygienischen Wasserqualität, des Gehalts an gelösten Ionen und des Risikos der Bodenversalzung, des Eintrags von organischen Verbindungen und Mikroverunreinigungen sowie der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe.

Dabei muss vor allem hinsichtlich der Nährstofffrachten zwischen Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen unterschieden werden. Legt man die Grenzwerte der Abwasserverordnung für Stickstoff und Phosphor und Beregnungshöhen zwischen 80 und 150 mm pro Jahr zu Grunde, betragen die aufgebrachten Nährstofffrachten im Abwasser großer Kläranlagen (GK 4 und GK 5) nur 5 - 15 % der jährlich benötigten Nährstoffmengen für die Pflanzenproduktion. Diese Frachten sind gering, sollten aber bei der Ermittlung des Düngebedarfs berücksichtigt werden. Für kleinere Kläranlagen wird der Parameter Gesamt-Stickstoff durch die Abwasserverordnung bislang nicht geregelt, sodass Abschätzungen hier im Einzelfall erfolgen müssen.

Für die übrigen Parameter wurde festgestellt, dass für eine sichere Anwendungspraxis aus regulatorischer Sicht die Herausforderungen vor allem darin bestehen,

- bisher nicht regulierte Substanzen (Mikroverunreinigungen) zu begrenzen oder zu bewerten,
- die Verbindlichkeit bestehender hygienischer Ziel-/Grenzwerte (s. DIN 19650) zu erhöhen,
- relevante Indikatororganismen auszuwählen, durch die sich das tatsächliche Infektionsrisiko noch besser abschätzen lässt.

Auf mögliche technische Verfahren zur Risikoreduktion, wie das Erreichen von Wasserqualitätswerten durch Abwasserbehandlung (Desinfektion, Nährstoffeliminierung, Entfernung von Mikroverunreinigungen), wurde in einem gesonderten Kapitel ausführlich eingegangen. Generell können Risiken aber durch Maßnahmen an verschiedenen Stellen im Gesamtsystems - Einzugsgebiet, Abwasserbehandlung und Landwirtschaft - reduziert werden (Tabelle A), sodass im Einzelfall zu prüfen ist, durch welche Maßnahmenkombination sich die benötigte Risikoreduktion am effizientesten erreichen lässt.

Tabelle A: Hauptkomponenten und Kontrollmaßnahmen von Systemen zur Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Systemkomponenten	Mögliche Maßnahmen	Zielparameter
Einzugsgebiet (städtisch, ländlich, industriell geprägt)	Indirekteinleiterkontrollen (z. B. Braunschweig), Vermeidung industrieller Einleitungen (z. B. Wolfsburg), Vorbehandlung von Krankenhausabwässern	Persistente und (toxische) chemische Verbindungen (spezifisch für bestimmte Industriezweige und Anwendungsgebiete), multiresistente Keime
Abwasserbehandlung (GK 1 - GK 5 + zusätzliche Nachbehandlung)	Einführung zusätzlicher Reinigungsstufen	Desinfektion, Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen, Nährstoffeliminierung
Langfristige/ kurzfristige Speicherung (oberirdische Speicherung, Grundwasseranreicherung)	Gezielte Nutzung biologischer und physikalischer Prozesse zur Reduktion chemischer und mikrobiologischer Belastungen	Hygienische Parameter, biologisch und photolytisch abbaubare Substanzen, Feststoffe
Potenzielle Nachbehandlung	Technische Nachbehandlung nach Speicherung	Einzelfallspezifische Nachbehandlung
Wasserverteilung	Expositionsvermeidung durch Wahl geeigneter Bewässerungsverfahren, Bewässerungssteuerung zur bedarfsgerechten Bewässerung, Mischung mit anderen Wässern	Hygienische Parameter, Vermeidung von Stoffausträgen, Ionentoxizität und Salzgehalt
Landwirtschaftliche Praxis	Wahl der Kulturart und Bewässerungsziel (z. B. Kulturarten für den Rohverzehr, Energie- und Industriepflanzen, Frostschutzbewässerung)	Hygienische Parameter, Salzgehalt durch Wahl salzverträglicher Kulturarten
Ergänzende Maßnahmen (Schutzhecken, Mindestabstände, Arbeitssicherheit)	Expositionsvermeidung (z. B. Braunschweig)	v. a. hygienische Parameter, Stoffausträge

Abwasserbehandlung

Zur Produktion von Bewässerungswasser aus behandeltem Abwasser werden, abhängig von den Qualitätsanforderungen im spezifischen Anwendungsfall, geeignete Verfahren bzw. Verfahrensketten benötigt. Unter Berücksichtigung des derzeitigen Standes der Abwasserbehandlung in Deutschland wurden technische Optionen zur weitergehenden Abwasserbehandlung beschrieben und hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten bewertet. Hierbei wurde zwischen Verfahren zum Erreichen der

hygienischen Anforderungen (Desinfektion), Verfahren zum Erreichen der stofflichen Anforderungen (stoffliche Aufbereitung) und Verfahren zur Elimination von organischen Mikroverunreinigungen unterschieden.

Als Stand der Technik in Deutschland wurde eine Modellkläranlage mit biologischer Reinigungsstufe nach dem Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination (N und P) angenommen, welche mindestens die Ablaufgrenzwerte der Größenklasse 4 erfüllt. Mit dieser Modellkläranlage kann die Abwasserbehandlung von über 90 % der in Deutschland anfallenden Abwassermenge vereinfacht beschrieben werden. Diese technischen Optionen sind somit als mögliche weitergehende Behandlungsstufen, aufbauend auf der Modellkläranlage, zu verstehen. Der Fokus ist somit auf Verfahren gerichtet, welche zur Ertüchtigung der für Deutschland repräsentativen Kläranlagen (Belebungsverfahren; Größenklassen 4 und 5) geeignet sind.

Die vorgestellten Verfahren können prinzipiell auch zur Behandlung des Ablaufes von kleineren Kläranlagen (GK 1 – GK 3) eingesetzt werden. Für diese sind jedoch bei der weitergehenden Abwasserbehandlung spezifisch höhere Investitions- und Betriebskosten zu erwarten. Darüber hinaus sind durch die derzeit geringeren Grenzwerte für diese Kläranlagen der Größenklassen 1 bis 3 zusätzliche Behandlungsschritte (Desinfektion, stoffliche Aufbereitung) zum Erreichen derselben Bewässerungswasserqualität notwendig. Aufgrund der hohen Variabilität bei der Behandlung und der Ablaufqualität kleiner Kläranlagen wird daher auf verallgemeinernde Empfehlungen verzichtet.

Der Vergleich der Verfahren zur Desinfektion und zur stofflichen Aufbereitung ist anhand einer entwickelten Bewertungsmatrix möglich, nach der anhand von ausgewählten Kennwerten die Verfahren hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit eingeschätzt werden können. Außerdem wird für jedes Behandlungsverfahren angegeben, welche Nutzung mit dem behandelten Abwasser möglich bzw. empfehlenswert ist. Als wissenschaftliche Basis hierfür dient der DWA Themenband „Aufbereitungsstufen für die Wasserwiederverwendung“ (DWA, 2008). Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen wurden nicht in die Bewertungsmatrix aufgenommen, da bislang kaum Daten von großtechnischen Anlagen zur Verfügung stehen.

In Tabelle B werden alle betrachteten Verfahren zusammengefasst. Sie ermöglicht zudem eine grobe Einordnung der technischen Optionen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bei der Elimination von Krankheitserregern, Nährstoffen, Schwermetallen, organischen Mikroverunreinigungen und Salzen.

Zur Desinfektion von Abwasser sind insbesondere die UV-Bestrahlung, die Ozonung sowie die Ultra- und Mikrofiltration geeignet und großtechnisch hinreichend erprobt. Dabei sind die unterschiedlichen Wirkungsweisen der Verfahren und die damit einhergehende, je nach Krankheitserreger (Viren, Bakterien, Protozoen, Helminthenier) unterschiedlich starke bzw. schwache Desinfektionswirkung zu berücksichtigen. Aufgrund der Bildung von gesundheitsgefährdeten Desinfektionsnebenprodukten wird die Chlorung, trotz ihrer internationalen Verbreitung, nicht als Desinfektionsverfahren empfohlen.

Im Gegensatz zur Desinfektion und zur stofflichen Aufbereitung nimmt die Abscheidung von Mikroverunreinigungen eine Sonderstellung ein. Behandlungsverfahren zur Reduktion von Mikroverunreinigungen stehen noch am Anfang der großtechnischen Anwendung. Derzeit stellen die Ozonung und die Adsorption an Aktivkohle die vielversprechendsten Verfahren dar. Die Verfahren werden derzeit großtechnisch umgesetzt. Vor allem ist die wirtschaftliche Optimierung noch nicht abgeschlossen. Anzumerken ist auch, dass bei der Ozonung teilweise unbekannte Oxidationsnebenprodukte gebildet werden können, über deren Verhalten kaum

Informationen vorliegen. Hier besteht noch Forschungsbedarf. Auch hinsichtlich der Untersuchung von Verfahrenskombinationen (z. B. Ozon + Aktivkohle) besteht noch Forschungsbedarf. Verfahrenskombinationen könnten ein größeres Stoffspektrum abdecken, ggf. flexibler im Betrieb sein und Kostenvorteile bieten. Darüber hinaus werden derzeit weitere Verfahren, die auf der Bildung bzw. Reaktion von Hydroxylradikalen basieren (Advanced Oxidation Processes), untersucht. Mit AOPs lässt sich prinzipiell eine breitere Stoffpalette an Mikroverunreinigungen reduzieren. Für den großtechnischen Einsatz werden sie allerdings als wenig effizient eingeschätzt. Festzuhalten bleibt jedoch, dass die (weitestgehende) Abscheidung aller gelösten Verbindungen letztlich nur mit der Umkehrosmose umsetzbar und dies mit einem hohen Energiebedarf verbunden ist. Zudem entstehen bei der Umkehrosmose Konzentrate, welche einer Behandlung zugeführt werden müssen.

Abschließend wurden Beispiele für Verfahrensketten konzipiert, um die unterschiedlichen Anforderungen an die hygienische und stoffliche Qualität des aufbereiteten Abwassers zu erfüllen. Hierzu wurden unterschiedliche Fallbeispiele betrachtet und Verfahrensketten für unterschiedliche Qualitätsanforderungen erstellt. Bei der Auslegung von Verfahrensketten besteht insbesondere noch Forschungsbedarf hinsichtlich der möglichen Nutzung von synergetischen Effekten durch eine gezielte Auswahl der Verfahren. Die Ozonung zum Beispiel ermöglicht die Elimination von Mikroverunreinigungen und Krankheitserregern. Die technische Herausforderung besteht somit darin, Synergieeffekte zu nutzen und effiziente Verfahrensketten für den spezifischen Anwendungsfall bereitzustellen.

Tabelle B: Überblick der betrachteten Verfahren zur weitergehenden Behandlung von Abwasser. Markierung mit einem Kreuz induziert Eignung zur Abscheidung bzw. Elimination. Klammern weisen darauf hin, dass eine Abscheidung bzw. Elimination nur mit Einschränkungen zu erwarten ist

		UV	Ozonung	Chlorung	Membranverfahren				Schnellsandfilter	Fällung/ Flockung	Mikrosieb	Schönungsteich	Biofilter	Adsorption an Aktivkohle
					MF	UF	NF	RO						
Hygiene	Viren	x	x	x	(x)[1]	(x)[1]	x	x	(x)[3]	(x)[5]		(x)[5]		
	Bakterien	x	x	x	x	x	x	x	(x)[3]			(x)[5]		
	Protozoen	x	x		x	x	x	x	(x)[3]	(x)[5]		(x)[5]		
	Helminthen-eier				x	x	x	x	(x)[3]		(x)[3]	(x)[5]		
Nährstoffe (N, P)					(x)[2]	(x)[2]	x	x	(x)[4]	x	(x)[4]	x	x	x[6]
Schwermetalle								x		x				
Organische Mikroverunreinigungen			x				x	x					x	X
Ionen (Salze)							x	x						

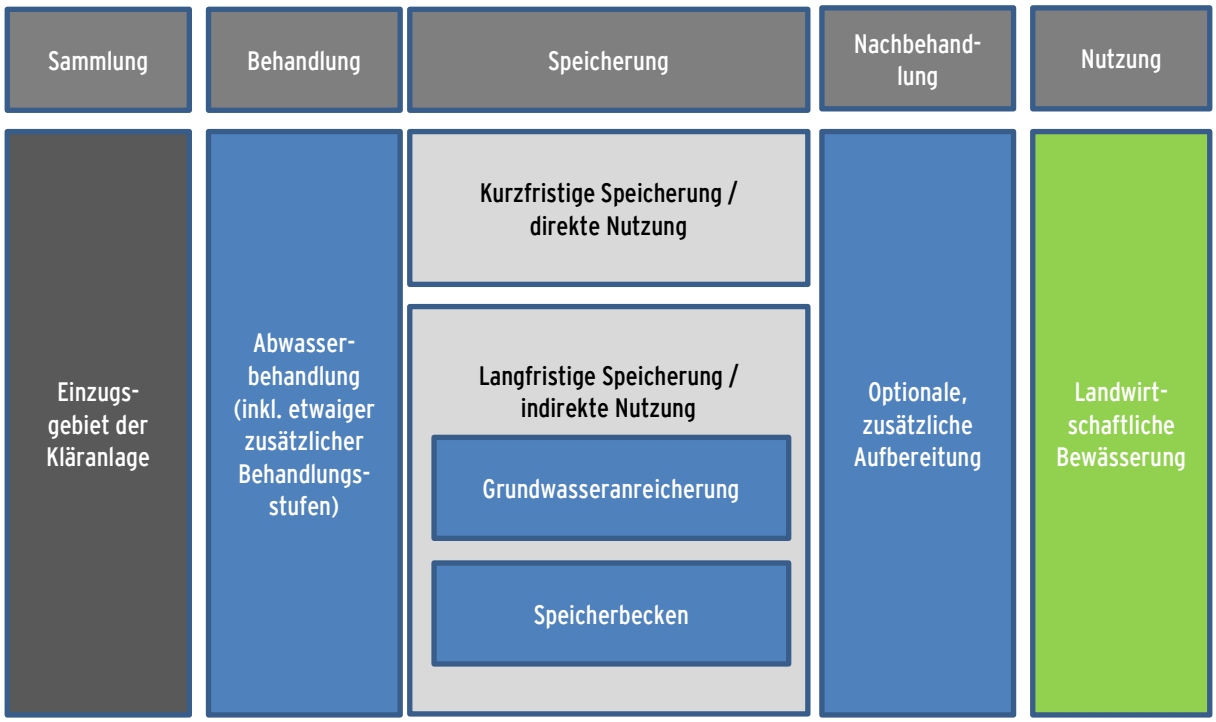
[1] Rückhalt von der Charakteristik (Porengröße, Porengrößenverteilung) der Membran und von Betriebsparametern abhängig
[2] in Kombination mit biologischen Verfahren
[3] Rückhalt von Filtermedium und Betriebsparametern abhängig
[4] partikulär gebundene Nährstoffe
[5] Rückhalt von Betriebsparametern abhängig
[6] organische Verbindungen
[7] Umkehrosmose

Infrastruktur, Organisation und Akzeptanz

Im Rahmen der Studie wurde untersucht, welche infrastrukturellen und organisatorischen Voraussetzungen bei der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser für eine landwirtschaftliche Bewässerung erforderlich sind. Die Standorte Braunschweig und Wolfsburg dienten hierfür als Orientierung. Eine Grundwasseranreicherung wurde in diesem Zusammenhang als eine Form der langfristigen Wasserspeicherung angesehen. Die Untergrundpassage wurde dabei nicht als zusätzliche Reinigungsstufe berücksichtigt.

Infrastrukturelle Besonderheiten ergeben sich durch die Wasserbereitstellung am Ort der Kläranlage und der damit verbundenen Wasserzuleitung zur Bewässerungsfläche, durch kurz- oder längerfristige Speicherung des Wassers sowie durch die potenziell notwendige zusätzliche Wasseraufbereitung (z. B. Abwasserdesinfektion). Abbildung A zeigt die Hauptkomponenten eines Systems zur landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung.

Abbildung A: Übersicht über die wesentlichen Komponenten eines Systems zur Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung



Wasserspeicher sind bei der Nutzung von behandeltem Abwasser von besonderer Bedeutung, da sie Schwankungen zwischen Abwasseranfall und Bewässerungsbedarf ausgleichen. Sie spielen zudem für die wirtschaftliche Auslegung der einzelnen Komponenten (v. a. zusätzliche Wasseraufbereitung und Zubringerleitung) eine zentrale Rolle. Es kann zwischen kurz- und langfristigen Speicheroptionen unterschieden werden. Je nach Standortgegebenheiten, Zusatzwasserbedarf, den verfügbaren Abwassermengen und der bereits vorhandenen Infra- und Agrarstruktur ist eine Anpassung dieser Systeme erforderlich.

Hinsichtlich interner Organisationsstrukturen bieten die Erfahrungen existierender Wasser-, Boden- und Bewässerungsverbände sowie der Standorte Braunschweig und Wolfsburg hinreichend praktische Kenntnisse, die als Orientierung bei der Neugestaltung von Systemen zur landwirtschaftlichen Bewässerung herangezogen werden können.

Durch ein prozessorientiertes Risikomanagement können bestehende Risiken systematisch erfasst, offengelegt und durch entsprechende Maßnahmen an verschiedenen Stellen des Gesamtsystems handhabbar gemacht werden. Die Implementierung risikobasierter Managementansätze kann als gute Praxis angesehen werden.

Bezüglich der Kosten und Nutzen liegen die Unterschiede zur konventionellen Bewässerung vor allem in Investitions- und Betriebskosten für die Wasserzuleitung, der benötigten Speicherkapazitäten sowie der potenziell benötigten weitergehenden Abwasserbehandlung. Durchgeführte Kosten-Nutzen-Analysen im Rahmen des Projektes „KLIMZUG NORD“ kamen zu dem Ergebnis, dass die Bewässerung mit behandeltem Abwasser unter bestimmten Bedingungen eine sinnvolle und wirtschaftliche Option zur konventionellen Bewässerung darstellen kann. Die Kostenverteilung ist zwischen den beteiligten Akteuren abzustimmen. Auch hier können die Erfahrungen an den Standorten Braunschweig und Wolfsburg als Orientierung dienen.

Neben der technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Machbarkeit ist die Akzeptanz der beteiligten Akteure wahrscheinlich die wichtigste Voraussetzung dafür, dass behandeltes Abwasser zur Bewässerung eingesetzt wird. Hierzu zählen vor allem die landwirtschaftlichen Betriebe sowie die genehmigenden Behörden. Die größten Vorbehalte gegen eine Nutzung von behandeltem Abwasser in der Bewässerungslandwirtschaft scheinen momentan das Fehlen einer konkretisierten Formulierung des Besorgnisgrundsatzes für Grundwasser sowie von Regelungen im Bereich der Produktqualität und -haftung für bislang nicht geregelte Substanzen zu sein.

Summary

In most regions of Germany agriculture is possible without additional irrigation. Only 2 % of the arable land is currently irrigated. Within the German Strategy for Adaptation to Climate Change the German Federal Government states that water supply in Germany is secure, on the one hand. On the other hand it is underlined that especially in longer lasting and more frequently occurring dry periods regional conflicts on water withdrawals from surface water and shallow aquifers cannot be excluded. It is further stated that the reuse of treated and hygienically safe wastewater may be one option to cope with this problem. The summer of 2015 showed the potential consequences of long drought periods. In many regions farmers suffered from bad harvests and consequential economic losses. If in future the frequency or severity of such dry periods increases an extension of irrigated agricultural areas becomes likely.

Therefore, the present report aims at summarizing various aspects of agricultural water reuse. Distinctions are made between wastewater which is used directly after wastewater treatment (direct use) and wastewater which is infiltrated into a suitable aquifer for later withdrawals (indirect use).

Need for irrigation in Germany

Agricultural irrigation plays a minor role in Germany. The natural precipitation amounts to between 450 and 1 000 mm/a, and can be expected to meet the agricultural water requirements during the vegetation period in most of the years. However, there are big regional differences between federal states and regions within federal states. Main regions of irrigation can be found in Lower Saxony, North Rhine-Westphalia, Hesse and Rhineland-Palatinate. The areas are irrigated with median volumes of between 50 and 110 mm/a. In 75 % of the cases applied volumes do not exceed 150 mm/a.

For further estimates on loads of nutrients and chemicals an irrigation demand between 80 and 150 mm/a is assumed.

Wastewater treatment in Germany

96 % of the German population is connected to a municipal sewer system (Federal Statistical Office, 2013). Wastewater treatment plants are divided by size into five size classes. More than 91 % of the installed treatment capacities can be attributed to large treatment plants of size classes 4 and 5. These are treatment plants which serve more than 10 000 population equivalents (PE) (size class 4) and 100 000 (size class 5), respectively (DWA, 2012). Only 8.1 % of the total capacity is treated by smaller treatment plants of size classes 1 - 3. From size class 3 on wastewater is usually treated by activated sludge treatment (> 95 %). Treatment options like constructed wetlands or sewage ponds are only used for small treatment plants. For estimating the potential of wastewater reuse in Germany focus is put on wastewater treatment plant of size class 3 and larger using activated sludge treatment for wastewater treatment.

Quantification of the demand for agricultural water reuse

The general aim of the investigations was to answer the question if there is a need for alternative or additional water sources for irrigation in Germany against the background of current and future climatic conditions. For this, the water resources were analysed using the climatic water balance, groundwater recharge rates and water withdrawals on federal state and district level. Regions with negative climatic water balance and a low groundwater recharge rate, i.e. regions with potentially high water stress and a seasonal high demand for supplementary irrigation, are situated particularly in the Northeastern lowlands (Mecklenburg-Western Pomerania and Brandenburg), in large parts of Saxony-Anhalt, Saxony and Thuringia, as well as in the Lüneburg Heath and in parts of the Upper Rhine lowlands.

In the analysis, the agricultural irrigation demand was presented for a total of four scenarios (irrigation with groundwater, real total irrigation, potential total irrigation current and potential total irrigation future). Three of the scenarios relate to current prevailing climatic conditions, while another scenario considers forecast climatic developments up to the year 2050. Basis for assessing the agricultural irrigation demand were the data of the 2010 agricultural census on federal state and district level (Statistisches Bundesamt, 2011, Statistische Landesämter, 2011-2012).

The ratio of real irrigated area to the total agricultural area in Germany is approximately 2.2 %. When irrigating all areas equipped with irrigation technology the area ratio increases to 3.8 %. Regions with the highest irrigated area percentages (> 50 %) are located in Lower Saxony, esp. Luneburg Heath (districts Uelzen, Celle and Gifhorn), in the Upper Rhine lowland (Rhineland-Palatinate, Hesse, Baden-Württemberg) and in the Lower Rhine region (North Rhine-Westphalia). The ratio of agricultural irrigation amounts to total water withdrawals in Germany are on average very low (real total irrigation 1.6 % and total potential irrigation 3.1 %). In most districts, the ratios are below 2 %, but a sharp increase was found in the northeast of Germany with the highest ratios in Lower Saxony, esp. in the Luneburg Heath with > 75 %. For the surrounding districts in Brandenburg, Saxony-Anhalt and Mecklenburg-Western Pomerania, the ratios were strongly increased (10 – 50 %) as well as in districts southwest of Berlin in Brandenburg and Saxony-Anhalt (10 – 25 %).

Another aim of this study was to analyze the irrigation amount, depending on the water source. It was found that in most federal states, irrigation with groundwater dominates. In Rhineland-Palatinate, 72 % of the irrigation water is withdrawn as bank filtrate and distributed via irrigation associations, whereas in Mecklenburg-Western Pomerania, a high proportion of the irrigation water (62 %) is taken from surface water (mostly impoundments).

A further consideration was devoted to the question if the use of treated wastewater for irrigation could help to stabilize the quantitative groundwater status, since thereby the groundwater extraction for irrigation could be greatly reduced. The analyses show that in some regions of Germany, there is a certain agricultural irrigation demand, which in most cases can be covered by the available water resources, without compromising the quantitative groundwater status. However, some districts in the Luneburg Heath and the Upper Rhine lowlands would benefit from additional irrigation with treated wastewater, so that the quantitative groundwater status in these regions could be supported or improved despite potentially high withdrawals for agricultural irrigation.

Moreover, it was analysed if competitive situations between groundwater and surface waters may be caused by agricultural irrigation with treated wastewater, when wastewater streams are no longer supplied to the surface waters. An initial assessment of the quantitative influence on

surface waters, which are used as receiving waters for wastewater, was done for wastewater treatment plants with size class 5 (> 100 000 population equivalents). It was found that upon complete withdrawal of the wastewater stream for agricultural irrigation only for single large sewage treatment plants there might be a risk of a dramatic reduction of the minimum water flow. For smaller treatment plants (size classes 2 - 4, 1 000 – 100 000 population equivalents), which usually discharge into smaller running waters, the lack of wastewater discharge could have a negative influence on the minimum water flow of the receiving water. There is still need for investigation.

Hazards and risks of wastewater reuse in agriculture

Municipal wastewater treatment does not eliminate or remove all chemical and microbial hazards, which may be present in municipal wastewater. These hazards potentially affect different environmental compartments as well as human health. Moreover, inputs of chemicals into unconfined aquifers and soil have to be considered as well as the protection of the quality of the grown products.

Within the present study municipal wastewater was characterized and its quality compared to legislative environmental standard in force in Germany. Thereby it was assessed whether use of treated wastewater for agricultural irrigation poses a risk for the different environmental compartments. The focus of the investigation was put on the hygienic water quality, the contents of dissolved ions and the risk of soil salinization, the input of organic substances and micropollutants, and the management of the nutrients raw and treated wastewater contains.

Especially for the nutrients content of treated wastewater distinctions have to be made between different treatment plant size classes. Binding limit values for nitrogen and phosphorous are established only for WWTPs of size classes 4 and 5. Assuming those limit values and an annual irrigation volume of 70 - 150 mm/a, the annual nutrient loads applied remain within well acceptable ranges. However, they should be included into the calculation of nutrient and fertilizer demands. In this way, wastewater reuse can lead to an overall reduction of nutrient emissions. For smaller treatment plants of size classes 1, 2, and 3, limit values for total nitrogen do not exist, which makes estimation on nutrient loads applied with treated wastewater rather speculative.

For the remaining parameters it was concluded that for regulators aiming at setting boundary conditions which ensure safety in wastewater reuse the major challenges comprise:

- the regulation of currently unregulated and unassessed substances,
- the transformation or translation of existing guidance documents into legally binding laws, and
- the selection of suitable indicator organisms which allow for a more appropriate assessment of present risks.

Advanced wastewater treatment as a technical measure for risk reduction was issued in a separate chapter in which alternatives for disinfection, nutrient removal and the elimination of micropollutants were addressed. Generally, risk reduction measures can be implemented at different points in the whole system, consisting of the catchment, the wastewater treatment, storage, the distribution system and the agricultural practice itself. Table A gives an overview of the major components of a reuse scheme for agricultural reuse as well as of potential measures which can be applied at different locations of the systems and the parameters to be potentially controlled.

Table A: Components and control measures of different parameter of agricultural wastewater reuse systems

Components of the system	Measures	Parameters
Catchment (urban, rural, industrial)	Control/separate of industrial discharges, pre-treatment of hospital wastewaters	Persistent and/or toxic chemicals, multi-resistant pathogens
Wastewater treatment (size classes 1 - 5 + additional treatment)	Adapt water quality to needs by implementing additional wastewater treatment steps	Disinfection, elimination of micropollutants, additional nutrient removal
Long-term and short-term storage (managed aquifer recharge, surface storage)	Purposeful use of biological and physical processes for the reduction of chemical and microbial parameters	Hygienic parameters, biologically und photolytic degradable substances, suspended solids
Post-treatment	Optional - additional treatment after storage (e.g. filtration, additional disinfection)	Case specific parameter (e.g. suspended solids, hygienic parameters)
Irrigation system	Exposure reduction by choice of adequate irrigation system, irrigation control for optimal water supply of crops,	Hygienic Parameter, reduction of salinity
Agricultural practice	Choice of crop type and purpose of irrigation (e.g. restricted or unrestricted irrigation, irrigation for frost prevention)	Hygienic parameters, salinity
Additional measures (protective hedges, setback distances, protective clothes etc.)	Exposure reduction, blending with other water resources	Especially hygienic parameters, nutrient losses

Advanced treatment technologies for wastewater reuse

For the production of irrigation water from secondary treated wastewater appropriate technologies are required. Therefore, technical options for the (advanced) treatment of wastewater were identified, briefly described and assessed regarding their performance. However, in Germany wastewater is required to be treated to secondary level. The state of wastewater treatment technology in Germany can be described (simplified) by means of a model wastewater treatment plant (WWTP) as described below. Accordingly, within this study, “Advanced Treatment Technologies“ are defined as processes to further treat the effluent of this model WWTP. They include processes for the removal of pathogenic organisms (disinfection) and chemical constituents as well as physical parameters, such as ions, suspended solids, etc. Separately, processes for the removal of micropollutants were considered.

To describe the state of wastewater treatment technology in Germany, a WWTP with biological treatment according to the activated-sludge process and removal of nitrogen and phosphorus, was defined as model WWTP. Furthermore, it was stipulated that the effluent of the model WWTP meets at least the German threshold values for WWTPs of size class 4. In a simplified view this model WWTP describes the current treatment of more than 90 % of the collected municipal wastewater in Germany. Hence, the described advanced processes represent technical options for the further upgrading of the state of wastewater treatment technology in Germany. However, it should be mentioned that this study focused consequently on the upgrading of large WWTPs (size class 4 or 5 according to the German regulations).

The selected processes can generally be used for the treatment of effluents from smaller WWTP (size classes 1 – 3 according to the German regulations) as well. However, advanced treatment at smaller WWTPs will likely result in higher investment and operation costs. Due to the currently lower quality requirements for smaller WWTPs in Germany, additional treatment for the use as irrigation water might be needed to meet the desired quality requirements.

An overview of all selected treatment processes is given in Table B. Furthermore, Table B offers a rough classification of each process regarding the expected removal performance of waterborne pathogens, nutrients, heavy metals, micropollutants and ions.

Additionally a rating matrix was elaborated in chapter 5 which enables a differentiated comparison of advanced chemical and physical treatment processes. For each process a recommendation was given regarding the possible use of the treated wastewater. The rating matrix is based on the DWA Topics „Treatment steps for water reuse (DWA, 2008). As there are only a few large-scale implementations of micropollutant removal, respective processes were not included in the rating matrix.

For the disinfection of treated wastewater, particularly UV radiation, ozonation, and micro- and ultrafiltration are suitable options. These processes are well approved in large-scale plants. However, due to the different disinfection mechanisms, the specific performance of each disinfection process must be taken into account. Due to the formation of toxic disinfection byproducts, disinfection with chlorine cannot be recommended, despite its common use as disinfection agent worldwide. Regarding the monitoring of disinfection processes, a critical evaluation of indicator organism seems necessary.

In contrast to disinfection and advanced physical and chemical treatment the removal of micropollutants represents an issue of special concern. First applications in large scale are in progress. Currently, ozonation and adsorption on activated carbon seem to be the most promising technologies for large-scale applications. Both processes differ fundamentally from each other regarding their removal mechanism and performance. A drawback of ozonation is the generation of - to some extent - unknown transformation products. Currently, detailed information on the generated products and their behavior in the environment is not available. A need for further research exists in this area, especially to improve the efficiency and economics of these processes. Furthermore, the combination of both processes might be a promising option. Finally, the removal of - to the greatest possible extent - all dissolved matter can only be realized with membrane processes (e.g. reverse osmosis).

The presented treatment steps were used to develope examples for possible process chains to meet different quality requirements for irrgation water with regard to microbiogical, chemical and physical parameters. There is a particular need for research on the design of process chains regarding the identification and use of synergetic effects. For instance, ozonation enables both, the removal of micropollutants and pathogens. Thus, the technical challenge is to design customized process chains for the respective application.

Table B: Overview of treatment options for advanced treatment of secondary treated wastewater: X: ability for removal, (x): restricted removal has to be expected

		UV radiation	Ozonation	Chlorine	Membrane processes				Rapid sand filtration	Precipitation/Flocculation	Micro screening	Polishing pond	Biological activated filter	Adsorption on activated carbon
					MF	UF	NF	RO[7]						
Pathogens	viruses	x	x	x	(x)[1]	(x)[1]	x	x	(x)[3]	(x)[5]		(x)[5]		
	bacteria	x	x	x	x	x	x	x	(x)[3]			(x)[5]		
	protozoa	x	x		x	x	x	x	(x)[3]	(x)[5]		(x)[5]		
	Helminth eggs				x	x	x	x	(x)[3]		(x)[3]	(x)[5]		
Nutrients (N, P)					(x)[2]	(x)[2]	x	x	(x)[4]	x	(x)[4]	x	x	x[6]
Heavy metals								x		x				
Micropollutants			x				x	x					x	X
Ions							x	x						

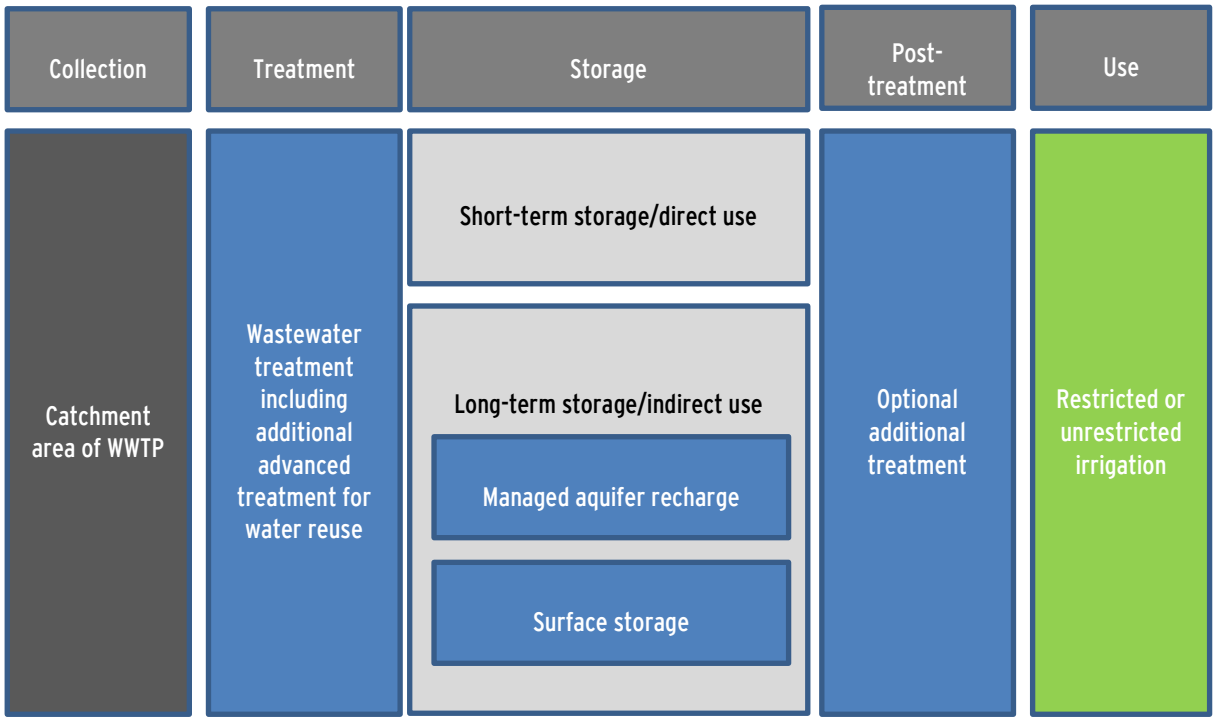
[1] Removal depends on membrane characteristics (pore size and pore size distribution), and operating parameters
[2] In combination with bioreactor
[3] Removal depends on filter media, and operating parameters
[4] Particular fixed nutrients
[5] Removal depends on operating parameters
[6] Organic compounds
[7] Reverse osmosis

Infrastructure, management and acceptance

Within the present study different aspects of how to implement water reuse systems were investigated. It was analysed what kind of additional infrastructure would be necessary for using treated wastewater in agriculture. For this, the two large-scale water reuse sites in Germany served as references to illustrate the required system components.

Systems for the reuse of treated wastewater for irrigation are water supply systems for agricultural areas. In comparison to irrigation systems, which use groundwater or surface waters resources the location of the water supply is given by the location of the WWTP. As a consequence longer transportation might be necessary to use the potential given by the available amount of wastewater. Moreover, storage capacities as well as additional wastewater treatment (e.g. disinfection) might be required depending on the intended use. Figure A gives an overview of the main components of a system for agricultural irrigation with reclaimed water.

Figure A: Overview of the main components of a system for agricultural wastewater reuse



Especially water storage capacities play a crucial role for water reuse. They are not only important for smoothing out discrepancies between water supply and fluctuating water demands but are also essential for the dimensioning of potentially necessary additional treatment steps as well as transportation pipelines. Differences can be made between long-term and short-term water storage. Adaptations have to consider the local boundary conditions, water demands and (waste-) water availability, and the already existing infrastructure.

Due to the transferability of widely used methods for the dimensioning of water supply systems and the management and allocation of water resources in the agricultural and the water sector, those methods can readily be used for the implementation of wastewater reuse systems. This accounts for both direct and indirect use of treated wastewater after managed aquifer recharge. Similarly, there is vast experience of associations in the water and wastewater as well as farming sector of diverse internal structures and compositions. These may provide knowledge and good examples of functional organisational structures for the implementation

and the design of new systems for water reuse. The systems of Braunschweig and Wolfsburg, which are the two large-scale reuse systems in Germany, may serve as an additional source of information providing the experience of over five decades on the topic.

Regarding the cost and benefits of wastewater reuse systems in comparison to conventional irrigation systems the main differences can be allocated to the capex and opex of the wastewater transport to the agricultural areas, the necessary storage capacities and the potentially required additional wastewater treatment. Research conducted within the project KLIMZUG NORD came to the conclusion that wastewater reuse might be under certain circumstances an economical and promising option for agricultural irrigation. How costs are split between the relevant stakeholders has to be decided elsewhere. Also here, Braunschweig and Wolfsburg might serve as an example.

By implementing a systematic and comprehensive risk management system existing risks can be managed appropriately by taking efficient measures at different points of the system. Risk based management can be considered as good practice in the 21st century and its implementation is highly recommended.

Besides the technical economic and organisational feasibility the acceptance of the relevant stakeholders might be the most important prerequisite for the use of treated wastewater for agricultural irrigation. The most important ones are the farmers as well as the responsible authorities. One of the barriers currently hindering the use of treated wastewater for irrigation is the lack of assessment criteria for currently unregulated substances, which might be present in wastewater in low concentrations. This accounts equally for quality standards for the agricultural products as well as for guiding values in different environmental compartments.

1 Hintergrund und Ausgangslage

Deutschland ist ein wasserreiches Land, in dem Landwirtschaft bislang in den meisten Regionen ohne Zusatzbewässerung möglich ist. Nur etwas mehr als 2 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden derzeit bewässert (Statistisches Bundesamt, 2014). Auch in ihrer „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ aus dem Jahr 2008 sieht die Bundesregierung die Wasserversorgung in Deutschland als gesichert an. Gleichwohl weist sie darauf hin, dass „vor allem bei längeren und häufiger auftretenden regionalen Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden regional Nutzungskonflikte bei oberirdischen Gewässern und insbesondere bei oberflächennahen Grundwasserentnahmen (z. B. für Beregnung) möglich werden“ (Bundesregierung, 2008, S. 23).

In diesem Zusammenhang wird die „Nutzung von behandeltem und mikrobiologisch einwandfreiem Abwasser zur Bewässerung“ als eine Möglichkeit zum effizienteren Einsatz von Wasser gesehen.

Auch auf europäischer Ebene wurde das Thema in den letzten 2 Jahren intensiver diskutiert, seit im „Blueprint für den Schutz der europäischen Wasserressourcen“ die Europäische Kommission, die Versorgungsoption „Wiederverwendung von Wasser für Bewässerungs- und industrielle Zwecke“ (COM 2012, S.16, Abs. 5) als Thema identifizierte, dem auf europäischer Ebene mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden muss, um zu einer breiteren Anwendung zu kommen. Dies schließe auch EU-weite regulatorische Maßnahmen ein. So erwägt die Europäische Kommission, einheitliche Regelungen für die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zu etablieren.

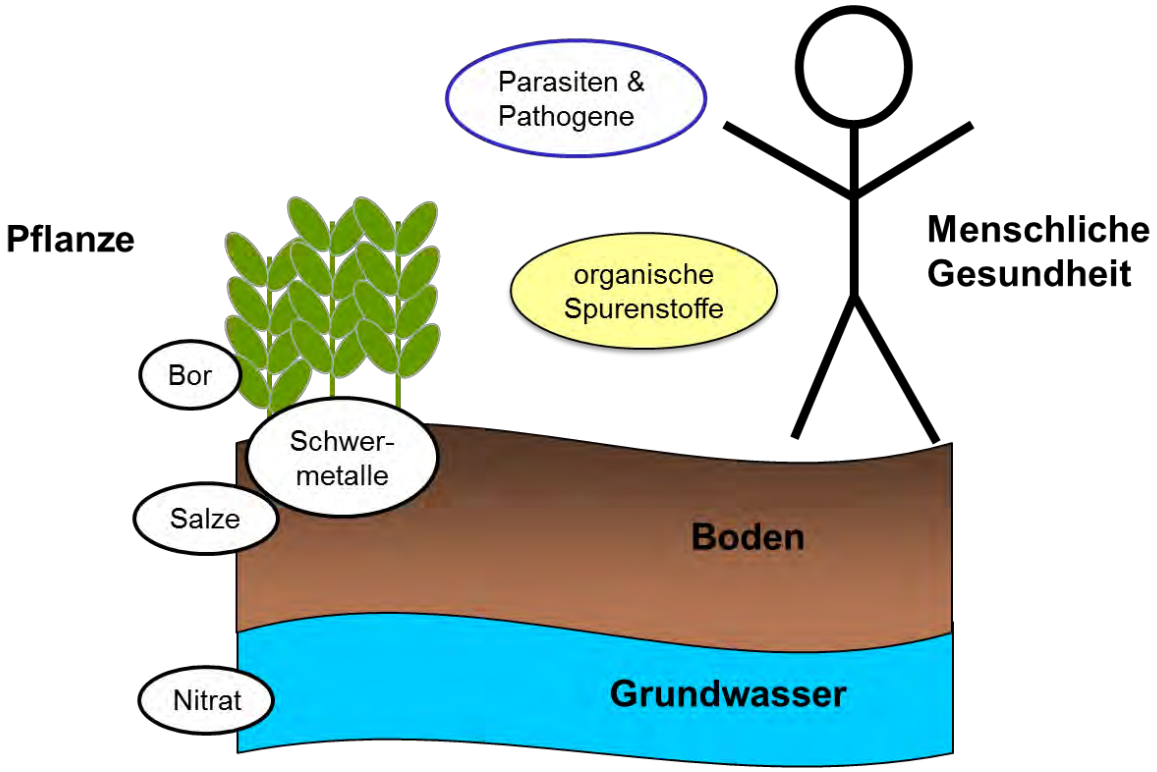
Die vorliegende Studie befasst sich daher mit verschiedenen Aspekten der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser aus kommunalen Kläranlagen zur landwirtschaftlichen Bewässerung, entweder direkt nach der Aufbereitung oder indirekt über die Infiltration des behandelten Abwassers in einen geeigneten Grundwasserleiter (Grundwasseranreicherung) zur späteren Wiederentnahme.

Ziel war es, anhand vorhandener Literatur sowie Erkenntnissen aus Forschungsprojekten, der Auswertung und Zusammenfassung von Richtliniendokumente und der administrativen Rahmenbedingungen im Bereich der landwirtschaftlichen Bewässerung, der Abwasserbehandlung und des Gewässerschutzes, abzuleiten, ob und unter welchen Umständen behandeltes Abwasser in Deutschland zu Bewässerungszwecken genutzt werden kann.

Die Untersuchungen sollten sich dabei eng am Bedarf der Bundesländer ausrichten. Zu Beginn des Projektes wurde daher anhand einer Fragebogenaktion der Ist-Zustand der landwirtschaftlichen Bewässerung sowie der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung ermittelt. Die Beteiligten haben auf einem Bund-Länder-Workshop die Ergebnisse und das weitere Vorgehen diskutiert. Ein zentraler Punkt waren die Anforderungen an die Qualität des Bewässerungswassers. Besonders diskutiert wurden Fragestellungen des Nährstoffeintrages, insbesondere das Risiko weiterer Nitratbelastungen für das Grundwasser, hygienische Aspekte sowie stoffliche Belastungen durch organische Mikroverunreinigungen. Diesen Parametern bzw. Stoffgruppen wurden dementsprechend besondere Aufmerksamkeit gewidmet (Kapitel 4). Bereits durch die beantworteten Fragebögen wurde deutlich, dass keines der Schutzgüter Boden, Grundwasser und menschliche Gesundheit durch die landwirtschaftliche Wasserwiedernutzung beeinträchtigt werden darf, d.h., dass die schutzgutbezogenen Anforderungen nicht verletzt werden dürfen. Dieses Einverständnis wurde während einer weiteren Fachdiskussion nochmals bekräftigt.

Abbildung 1 stellt in einer vereinfachten Darstellung die relevanten Schutzgüter sowie chemische und hygienische Gefährdungen dar, die bei der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen mit behandeltem Abwasser zu berücksichtigen sind.

Abbildung 1: Relevante Schutzgüter sowie chemische und hygienische Abwasserbestandteile mit Gefährdungspotenzialen, die bei der landwirtschaftlichen Bewässerung mit behandeltem Abwasser zu berücksichtigen sind



Grundlage für die Rahmenbedingungen und den Umfang einer umweltgerechten Nutzung von aufbereitetem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung bildet der derzeitige Stand der Bewässerungs- und Abwasserbehandlungspraxis, welcher in den nachfolgenden Abschnitten zunächst kurz umrissen wird. Diese Aspekte werden vertiefend in den Kapiteln 2, 4, 8 und 9 behandelt.

1.1 Stand der Bewässerungslandwirtschaft in Deutschland

In Deutschland ist die Bewässerungslandwirtschaft von vergleichsweise geringer Bedeutung, da bei Jahresniederschlagsmenge zwischen 450 – 1 000 mm in den meisten Regionen auch während der Vegetationsperiode ausreichend Niederschlag vorhanden ist. Tabelle 1 gibt einen Überblick über Größe der Beregnungsfläche und ihren Anteil an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in den einzelnen Bundesländern. Für die meisten Bundesländer liegt dieser Anteil unter 2 %. In Rheinland-Pfalz sind es 2,4 %, während Niedersachsen fast 8 % seiner landwirtschaftlichen Flächen beregnet. Da in Deutschland der größte Teil der Bewässerung durch Beregnungsmaschinen stattfindet (von Haaren & von Haaren, 2014), werden, auch wenn nicht ganz präzise, die Begriffe Bewässerung und Beregnung im Folgenden synonym verwendet.

Tabelle 1: Beregnungsflächen in Deutschland 2013 (Statistisches Bundesamt, 2014)

Bundesland	Landwirtschaftlich genutzte Fläche	Beregnungsfläche	Anteil der Beregnungsfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche
Baden-Württemberg	1 422 000 ha	15 200 ha	1,1 %
Bayern	3 160 200 ha	16 800 ha	0,5 %
Brandenburg	1 308 200 ha	20 900 ha	1,6 %
Hessen	765 800 ha	14 300 ha	1,9 %
Mecklenburg-Vorpommern	1 341 000 ha	19 000 ha	1,4 %
Niedersachsen	2 631 700 ha	206 900 ha	7,9 %
Nordrhein-Westfalen	1 466 500 ha	26 600 ha	1,8 %
Rheinland-Pfalz	713 100 ha	17 400 ha	2,4 %
Saarland	77 100 ha	100 ha	0,1 %
Sachsen	903 400 ha	4 700 ha	0,5 %
Sachsen-Anhalt	1 167 000 ha	15 200 ha	1,3 %
Schleswig-Holstein	988 500 ha	5 300 ha	0,5 %
Thüringen	780 700 ha	2 400 ha	0,3 %
Berlin, Bremen, Hamburg	24 768 ha	700 ha	3,3 %
Gesamt	16 739 600 ha	365 500 ha	2,2 %

Bei den Beregnungsgebieten handelt es sich vor allem um intensiv bewirtschaftete und vergleichsweise trockene Regionen (< 600 mm Niederschlag) mit meist leichten Böden. Diese befinden sich im Osten Niedersachsens (z.B. Lüneburger Heide), aber auch im Westen Nordrhein-Westfalens, in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Zu den bewässerten Kulturen zählen neben Getreide, Kartoffel und Zuckerrüben auch Sonderkulturen, wie Zierpflanzen, Obst und Gemüse. Aufgrund der guten Absatzmöglichkeiten werden diese Sonderkulturen oft in Stadtnähe angebaut. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Beregnungsgebiete in Deutschland.

Tabelle 2: Beregnungsgebiete in Deutschland (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2011)

Bewirtschaftung	Kulturen	Regionen
Ackerbau	Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben	Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hessen (Hessisches Ried), Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen -Anhalt, Sachsen, Brandenburg
Sonderkulturen	Obst, Gemüse, Blumen und Zierpflanzen	stadtnah (Hamburg, Berlin, München)
Sonderkulturen	Obst und Gemüse	Mittelfranken (Knoblauchsland), Hessisches Ried, Vorderpfalz, Stadtumgebung Potsdam, Köln

In Deutschland muss aufgrund der Sommerniederschläge vergleichsweise wenig bewässert werden. Die durchschnittlichen Beregnungshöhen liegen je nach Bundesland zwischen 50 und

110 mm/a (siehe Kapitel 2). Auf über 75 % der Bewässerungsstandorte beträgt die durchschnittliche Wassergabe weniger als 140 mm/a. Die Zusatzwassergaben sollten sich stets am aktuellen Pflanzenbedarf, der vorherrschenden Bodenfeuchte sowie der nutzbaren Feldkapazität orientieren (bedarfsgerechte Bewässerung), um eine Sickerwasserbildung und verbundene Stoffausträge in das Grundwasser zu vermeiden. Die nutzbare Feldkapazität beschreibt den Wasseranteil im Boden, der gegen die Schwerkraft gehalten werden kann und damit pflanzenverfügbar ist.

1.2 Stand der Abwasserbehandlung in Deutschland

In Deutschland sind derzeit etwa 96 % der Bevölkerung an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen (Statistisches Bundesamt, 2013). Entsprechend ihrer Ausbaugröße bzw. Behandlungskapazität werden Kläranlagen in 5 Größenklassen (GK) eingeteilt (Tabelle 3). 91 % der installierten Behandlungskapazitäten fallen auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 (DWA, 2012). Die Kläranlagen der Größenklassen 1, 2 und 3 machen zusammen nur 8,1 % der Gesamtausbaugröße aus. Anlagen der Größenklassen 3, 4 und 5 behandeln das Abwasser in der Regel im Belebungsverfahren (> 95 %), seltener in Tropfkörpern oder in Belebungsanlagen im Aufstaubetrieb (SBR - sequencing batch reactor). Naturnahe Verfahren, wie Pflanzenkläranlagen sowie belüftete und unbelüftete Abwasserteiche, kommen fast ausschließlich in den Größenklassen 1 und 2 zum Einsatz (DWA, 2012).

93 % der in Deutschland anfallenden Jahresabwassermenge wird in biologischen Kläranlagen mit Ausbaustufen zur gezielten Nitrifikation und Denitrifikation sowie zur Phosphorentfernung behandelt (Statistisches Bundesamt, 2013).

Tabelle 3: Anzahl und Ausbaugröße der Kläranlagen in Deutschland entsprechend der Größenklassen (DWA, 2012)

Größenklasse	Einwohnergleichwerte[1] EW	Anzahl der Kläranlagen	Ausbaugröße	Anteil an der Gesamtausbaugröße in Deutschland
1	0 - 999	1 428	0,7 Mio EW	0,5 %
2	1 000 - 5 000	1 761	4,8 Mio EW	3,4 %
3	5.001 - 10.000	769	6,0 Mio EW	4,2 %
4	10 001 - 100 000	1 733	56,9 Mio EW	39,9 %
5	100 000	226	74,2 Mio EW	52,0 %

[1]unter Annahme einer einwohnerspezifischen Schmutzfracht von 60 g BSB_5/(EW·d)

1.3 Wiederverwendung von behandeltem Abwasser in Deutschland

Deutschland verfügt über nur wenig Erfahrung bei der Nutzung von Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Mit Braunschweig und Wolfsburg existieren lediglich zwei große Standorte, an denen diese Form der Mehrfachnutzung praktiziert wird.

Sowohl in Braunschweig als auch in Wolfsburg ist die Verwendung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung historisch gewachsen. Ausgehend von einem Rieselfeldbetrieb wurden die Flächen des Abwasserverbands Braunschweig und der

Wolfsburger Entwässerungsbetriebe kontinuierlich erweitert. Wurde früher nur vorgeklärtes Abwasser verregnet, entsprechen beide Kläranlagen dem heutigen Stand der Technik aus Vorklärung, biologischer Kohlenstoff- und Nährstoffentfernung sowie Nachklärung. Eine genauere Beschreibung der Anlagen an beiden Standorten befindet sich in Kapitel 6.

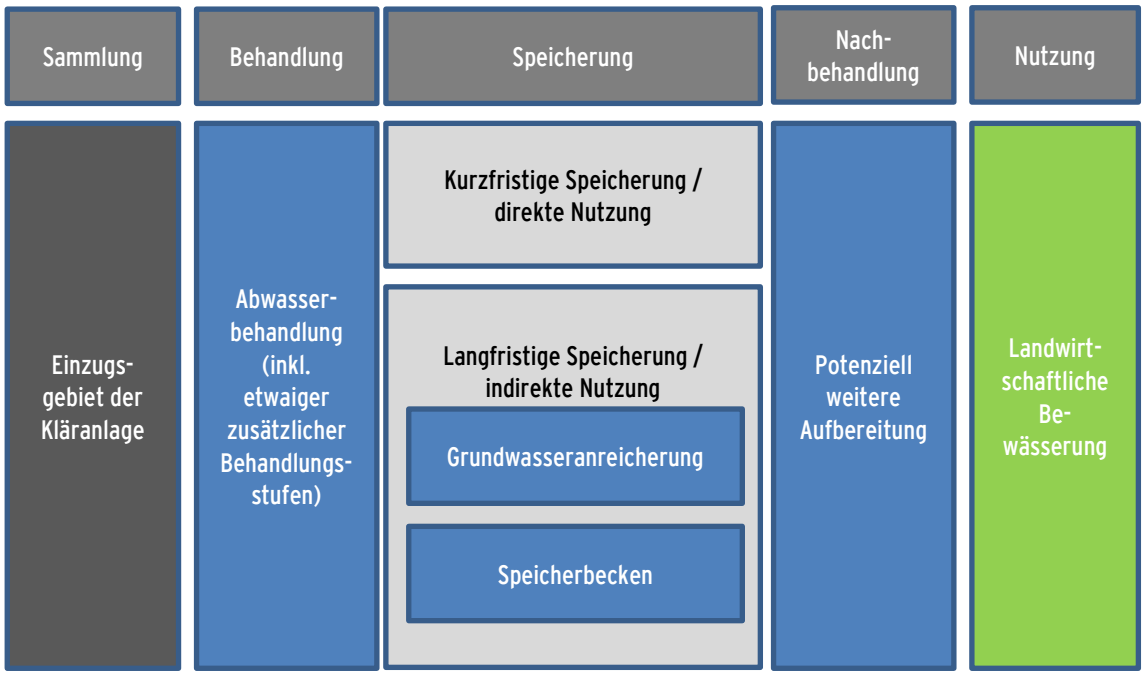
In Wolfsburg findet neben einer direkten Nutzung von behandeltem Abwasser auch eine Grundwasseranreicherung statt, sodass das infiltrierte Wasser zu einem späteren Zeitpunkt wieder entnommen werden kann. Auch in diesem Bericht wird zwischen direkter und indirekter Nutzung von behandeltem Abwasser unterschieden.

Abbildung 2: Luftbild der Kläranlage in Wolfsburg (mit freundlicher Genehmigung der Wolfsburger Entwässerungsbetriebe)



Unter einer direkten Nutzung wird die Wasserentnahme für Bewässerung direkt nach der Abwasserbehandlung verstanden. Im Gegensatz dazu wird eine indirekte Nutzung nachfolgend als die Infiltration des behandelten Abwassers in einen geeigneten Grundwasserleiter definiert, aus dem die infiltrierte Menge an Abwasser zu einem späteren Zeitpunkt für die Bewässerung entnommen werden kann. Da das behandelte Abwasser längere Zeit im Untergrund verbleiben kann, wird dies auch als längerfristige Speicheroption verstanden. Abbildung 3 zeigt die unterschiedlichen Bereiche und Umsetzungsvarianten eines Systems zur landwirtschaftlichen Verwendung von behandeltem Abwasser. Zur längerfristigen Speicherung können auch große oberirdische Speicherbecken genutzt werden.

Abbildung 3: Überblick über die verschiedenen Komponenten/Bereiche eines Systems zur Wasserwiederverwendung



1.4 Berichtstruktur

Da die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser meist nur bei eingeschränkter Wasserverfügbarkeit in Betracht gezogen wird, wurden zunächst die Regionen ermittelt, in denen gegenwärtig und in naher Zukunft mit einer Abwasserwiederverwendung zu rechnen ist (Kapitel 2). Die Analyse orientiert sich dabei an den derzeitigen klimatischen Bedingungen, den regionalen Randbedingungen für die Nutzung vorhandener Wasserressourcen sowie den anfallenden Abwassermengen. Sie fußt auf einer Literaturrecherche und der Analyse existierender Daten. Durch Annahmen zukünftig erhöhter landwirtschaftlicher Wasserentnahmen werden Steigerungen des Bewässerungsbedarfs infolge klimatischer Veränderungen bzw. einer Erhöhung der Beregnungswürdigkeit landwirtschaftlicher Kulturen durch weltmarktpolitische Rahmenbedingungen abgeschätzt, die in die Analyse einfließen.

Bei der Nutzung von behandeltem Abwasser sind andere Bereiche des Umwelt- und Gesundheitsschutzes betroffen als bei der Ableitung in ein Gewässer. Es wird deshalb untersucht, unter welchen Umständen die Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung im Rahmen der geltenden umwelt- und gesundheitsschutzrechtlichen Bestimmungen möglich ist. Hierfür werden in Kapitel 3 relevante Rechtvorschriften aus dem medialen Umweltrecht und spezifische Empfehlungen zur landwirtschaftlichen Bewässerung erläutert.

Kapitel 4 charakterisiert die stoffliche und hygienische Beschaffenheit von kommunalem Abwasser, welches nach dem derzeitigen Stand der Technik behandelt wurde und stellt diese den ermittelten schutzgutbezogenen Anforderungen gegenüber. Zu den betroffenen Schutzgütern zählen insbesondere die menschliche Gesundheit, der Boden, das Grundwasser sowie die Qualität der angebauten landwirtschaftlichen Kulturen (Abbildung 1). Durch dieses Vorgehen werden kritische Wasserqualitätsparameter und etwaige Regelungslücken bzw. Bewertungsunsicherheiten bei der Bewässerung mit behandeltem Abwasser herausgearbeitet.

Aufbauend auf der Analyse und Bewertung der derzeitigen Qualität von behandeltem Abwasser zeigt Kapitel 5 verfahrenstechnische Möglichkeiten auf, bestimmte

Qualitätsparameter den Erfordernissen einer sicheren Wasserwiederverwendung anzupassen. Hierzu zählen in erster Linie Verfahren zur Abwasserdesinfektion, zur Entfernung von Mikroverunreinigungen und zur Nährstoffelimination, die hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und der aufzuwendenden Investitions- und Betriebskosten beurteilt werden.

Da für die Nutzung von behandeltem Abwasser die Bereiche der Abwasserbehandlung mit denen der Bewässerungslandwirtschaft verknüpft werden müssen, werden verschiedene infrastrukturelle und organisatorische Aspekte dargestellt, die bei der Vorbereitung von Projekten zur landwirtschaftlichen Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zu berücksichtigen sind. Hierfür werden die infrastrukturellen Voraussetzungen dargestellt und diese anhand der Beispielstandorte Braunschweig und Wolfsburg näher erläutert. Aspekte der Wirtschaftlichkeit werden durch einen Vergleich der Bewässerung mit behandeltem Abwasser zur konventionellen Bewässerung aus Grund- oder Oberflächenwasser abgeleitet.

Während die vorangegangenen Kapitel sich ausführlich mit der Situation in Deutschland befassen, weitet Kapitel 7 den Blick auf internationale Erfahrungen. Dazu werden verschiedene Regulierungsansätze in europäischen Ländern und auf supranationaler Ebene vorgestellt sowie drei Umsetzungsbeispiele erläutert.

2 Quantifizierung des Bedarfs an landwirtschaftlicher Wasserwiederverwendung

Im Folgenden wird analysiert, ob in Deutschland vor dem Hintergrund aktueller und zukünftiger klimatischer Verhältnisse, dem landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf und den vorherrschenden Grundwasserneubildungsraten ein Bedarf an der Erschließung alternativer oder zusätzlicher Wasserquellen besteht. Darüber hinaus wird untersucht, ob die Nutzung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung zur Stabilisierung bereits beanspruchter Grundwasserleiter und somit zu einem nachhaltigerem Wasserressourcenmanagement beitragen kann. Abschließend wird analysiert, ob es durch Nutzung von Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung zu Konkurrenzsituationen zwischen Grund- und Oberflächengewässern kommen kann, wenn Abwasserströme nicht mehr dem Oberflächengewässer zugeführt werden.

Hierfür wurden auf Bundesland- und Landkreisebene zunächst verschiedene Parameter näher untersucht, die in die Bilanzierung des Wasserdargebots eingehen. Ausgehend von dieser Untersuchung wurden Regionen aufgezeigt, die potenziell einem hohen Trockenstress ausgesetzt sind und in denen saisonal Bedarf an Zusatzbewässerung besteht. Die Analyse bezieht sich hierbei auf im Moment vorherrschende klimatische Bedingungen sowie auf zukünftige klimatische Entwicklungen bis zum Jahre 2050.

Für die Bundesländer und Landkreise wurde die Bewässerungsmenge in Abhängigkeit von der Wasserherkunft ermittelt. Es wurde abgeschätzt, ob das regionale Wasserdargebot zur Deckung des landwirtschaftlichen Wasserbedarfs ausreichend ist oder ob eine Zusatzbewässerung mit gereinigtem Abwasser als alternative oder ergänzende Wasserquelle notwendig erscheint. Die kommunalen Abwassermengen wurden auf Bundesland- und Kreisebene ermittelt. Weiterhin wurde analysiert, ob und in welchen Regionen die anfallenden Abwassermengen zur Überbrückung von Trockenphasen benötigt werden. Außerdem wurde betrachtet, ob die Verwendung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung eine Stabilisierung des guten mengenmäßigen Grundwasserzustands bewirken würde, da dadurch die Grundwasserentnahmen stark reduziert werden würden.

Nur etwa 13 % des Bewässerungswassers wird aus dem Oberflächenwasser gespeist, wobei die Anteile in einigen Regionen höher oder auch niedriger ausfallen können (Statistisches Bundesamt, 2011). Aufgrund der überwiegenden Bewässerung mit Grundwasser wird in dieser Studie vorrangig auf die Auswirkung der landwirtschaftlichen Bewässerung auf den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers eingegangen.

Bewertung des mengenmäßigen Grundwasserzustands

Die allgemeinen Bewirtschaftungsziele des Grundwassers sind in § 47 des Wasserhaushaltsgesetzes geregelt. In Bezug auf die Wasserquantität ist Grundwasser so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung seines mengenmäßigen [...] Zustands vermieden wird. Wann ein Grundwasserkörper mengenmäßig als „gut“ eingestuft wird, wird in § 4 der Grundwasserverordnung geregelt.

Ein guter mengenmäßiger Zustand bedeutet, dass mindestens ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung herrscht. Außerdem darf eine Veränderung des Grundwasserspiegels durch Wasserentnahmen nicht dazu führen, dass Landökosysteme oder Oberflächengewässer, die mit dem Grundwasser in Verbindung stehen, signifikant geschädigt werden bzw. dass der Zustand der angrenzenden Oberflächengewässer signifikant verschlechtert wird. Darüber hinaus dürfen Wasserentnahmen nicht das Einströmen von Salzwasser oder anderen Schadstoffen ins Grundwasser zur Folge haben.

Hinsichtlich des Gleichgewichts zwischen Grundwasserneubildung und Grundwasserentnahme existieren in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe. Beispielsweise dürfen für einen guten mengenmäßigen Zustand die genehmigten Wasserentnahmen in Bayern, Brandenburg und Niedersachsen nicht höher als 10 % der Grundwasserneubildung sein. In anderen Bundesländern liegt die Grenze bei 50 % (Saarland, Sachsen und Sachsen-Anhalt). In Berlin und Nordrhein-Westfalen hingegen wird für die Einstufung des guten mengenmäßigen Zustands die Trendentwicklung der Grundwasserstände verwendet (LAWA, 2004). Im Sachstandsbericht der LAWA zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (Teil 5: Bundesweit einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustands), der sich derzeit noch im Entwurf befindet, wird als Zielstellung für einen guten mengenmäßigen Zustand eine maximale Entnahme nicht größer als 30 % der Grundwasserneubildung definiert. In Mecklenburg-Vorpommern orientiert sich der Zwischenbericht 2012 zur Umsetzung der WRRL bereits daran (LUNG Mecklenburg-Vorpommern, 2012).

Für die weiteren Bilanzierungen und die daraus resultierende Beurteilung des mengenmäßigen Grundwasserzustands wird im Weiteren die diskutierte Grenze von 30 % der Grundwasserneubildung als Bewertungskriterium verwendet. Da die Bilanzierungen aufgrund der Datenlage auf Landkreisebene durchgeführt wurden, können sich hier einige Unterschiede zu den für die einzelnen Grundwasserkörper durchgeführten Bilanzierungen der EG-WRRL ergeben.

Im Jahre 2010 wurde der mengenmäßige Grundwasserzustand für 96 % der ca. 1 000 Grundwasserkörper in Deutschland als gut bewertet (Abbildung 4). Jedoch insbesondere in den Regionen mit verstärktem Braunkohletagebau wird das Grundwasser durch die jahrzehntelange Grundwasserabsenkung mengenmäßig stark beansprucht. In Salzbergbaugebieten sowie in einigen Küstenregionen wird der mengenmäßige Grundwasserzustand durch die Einströmung von Salzwasser belastet[1].

[1] Es ist darauf hinzuweisen, dass die Absenkung des Grundwasserspiegels Voraussetzung für den Kohle- bzw. Salzbergbau ist.

Abbildung 4: Mengenmäßiger Grundwasserzustand



Für eine bessere Vergleichbarkeit ist die Darstellung mit den Konturen der Landkreise hinterlegt. Datenquelle: Berichtsportal WasserBLIcK/BfG/UBA (2014).

2.1 Bilanzierung des Wasserdargebots

2.1.1 Methodik

Unter dem Begriff „nutzbares Wasserdargebot“ wird die Menge an (nutzbarem) Grund- und Oberflächenwasser in einem abgegrenzten Gebiet verstanden. Es stellt somit die Gesamtheit der für die Bewirtschaftung potenziell zur Verfügung stehenden Wasserressourcen dar. Das Wasserdargebot setzt sich als Bilanzgröße aus dem langjährigen Mittel von Niederschlag und Verdunstung sowie Zu- und Abfluss zusammen. Ein Maß zur Abschätzung des verfügbaren Wasserdargebots ist die **klimatische Wasserbilanz**. Sie errechnet sich aus der Differenz des Niederschlags und der potenziellen Evapotranspiration. Die klimatische Wasserbilanz kann zur hydroklimatischen Charakterisierung und zur Abgrenzung von Regionen mit Trockenstress herangezogen werden. Die klimatische Wasserbilanz wurde als Mittelwert für die Vegetationsperiode für ganz Deutschland dargestellt. Als Datengrundlage wurden die aktuellsten, beim Deutschen Wetterdienst verfügbaren langjährigen Jahresmittel (1981-2010) verwendet (www.dwd.de).

Grundlage für die Bilanzierung des **Grundwasserdargebots** ist die mittlere jährliche **Grundwasserneubildung**. Sie ist eine Wasserhaushaltsgröße zur Darstellung der

Regenerationsfähigkeit der Grundwasserressourcen. Gemäß DIN 4049[2] ist die Grundwasserneubildung der Wasserüberschuss, der sich aus der Differenz zwischen dem korrigierten Niederschlag und der realen Evapotranspiration sowie schnell abfließender Anteile (Direktabfluss) ergibt. Im langjährigen Mittel entspricht diese Differenz dem aus dem Grundwasserspeicher gespeisten Basisabfluss in Fließgewässer (Neumann & Wycisk, 2003). Die mittleren Grundwasserneubildungsraten wurden dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD) (Neumann & Wycisk, 2003) entnommen und für weitere Bilanzierungen auf Landkreis- bzw. Bundeslandebene gemittelt.

Zur Berechnung des Grundwasserdargebots wurden die gemittelten Grundwasserneubildungsraten der Landkreise bzw. Bundesländer mit der dazu gehörigen Gebietsfläche multipliziert. Die so berechnete Größe entspricht dem potenziellen Grundwasserdargebot, also der Menge an verfügbarem Grundwasser pro Jahr je Landkreis bzw. Bundesland. Dieses potenzielle Grundwasserdargebot wird in den weiteren Bilanzierungen zur Bewertung des mengenmäßigen Zustands des Grundwassers sowie zur Abschätzung der für die Bewässerung verfügbaren Grundwasserressourcen verwendet. Um das für die landwirtschaftliche Bewässerung nutzbare Grundwasserdargebot zu berechnen, wurden die öffentlichen und nichtöffentlichen Grund- und Quellwasserentnahmen (ohne landwirtschaftliche Bewässerung) vom potenziellen Grundwasserdargebot abgezogen. Die öffentlichen und nichtöffentlichen Wasserentnahmen wurden der Regionaldatenbank Deutschland entnommen (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014). Gemäß WRRL erfolgt die Bewertung des mengenmäßigen Grundwasserzustandes auf der räumlichen Ebene der einzelnen Grundwasserkörper. Da die Angaben zu den Wasserentnahmen der Regionaldatenbank jedoch nur auf Landkreis- bzw. Bundeslandebene vorliegen, wurde auch das potenzielle Grundwasserdargebot in dieser räumlichen Auflösung ermittelt. Aufgrund dieser relativ großräumigen Betrachtungsweise können geringfügige lokale Artefakte entstehen. Tabelle 4 fasst die Berechnungsgrößen, Methoden und Datenquellen zusammen.

Es muss darauf verwiesen werden, dass die im Hydrologischen Atlas ausgewiesenen Grundwasserneubildungsraten für viele Gebiete im Nordosten Deutschlands deutlich geringer sind als ermittelte Raten aus kleinräumigeren, lokalen Studien. So beträgt beispielsweise die mittlere Grundwasserneubildung für Brandenburg aus dem Hydrologischen Atlas Deutschlands (HAD) 66 mm/a, wohingegen die vom MUGV Brandenburg (Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz) veröffentlichten Werte bei 111 mm/a liegen (MUGV Brandenburg, 2009). Für Sachsen-Anhalt liegen die HAD-Werte bei 56 mm/a, die vom LHW Sachsen-Anhalt (Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft) angegebenen bei 90 mm/a (LHW Sachsen-Anhalt, 2004). Diese Diskrepanz ergibt sich offenbar daraus, dass die Kalibrierung des im Hydrologischen Atlas verwendeten Modells zur Bestimmung der mittleren Grundwasserneubildung zwar anhand von Gebietsmittelwerten aus 106 Einzugsgebieten in Deutschland erfolgte, von denen jedoch nur ein geringer Anteil (< 5 %) im abflussarmen Nordosten Deutschlands lag. In diesem Bericht wurden dennoch die Grundwasserneubildungsraten aus dem Hydrologischen Atlas verwendet, um auf eine einheitliche Datenbasis zugreifen zu können.

[2] DIN4049, 1994. Hydrogeologie Teil 3. Begriffe zur quantitativen Hydrogeologie. Deutsches Institut Datengrundlagen für Normung e. V., Berlin (Beuth).

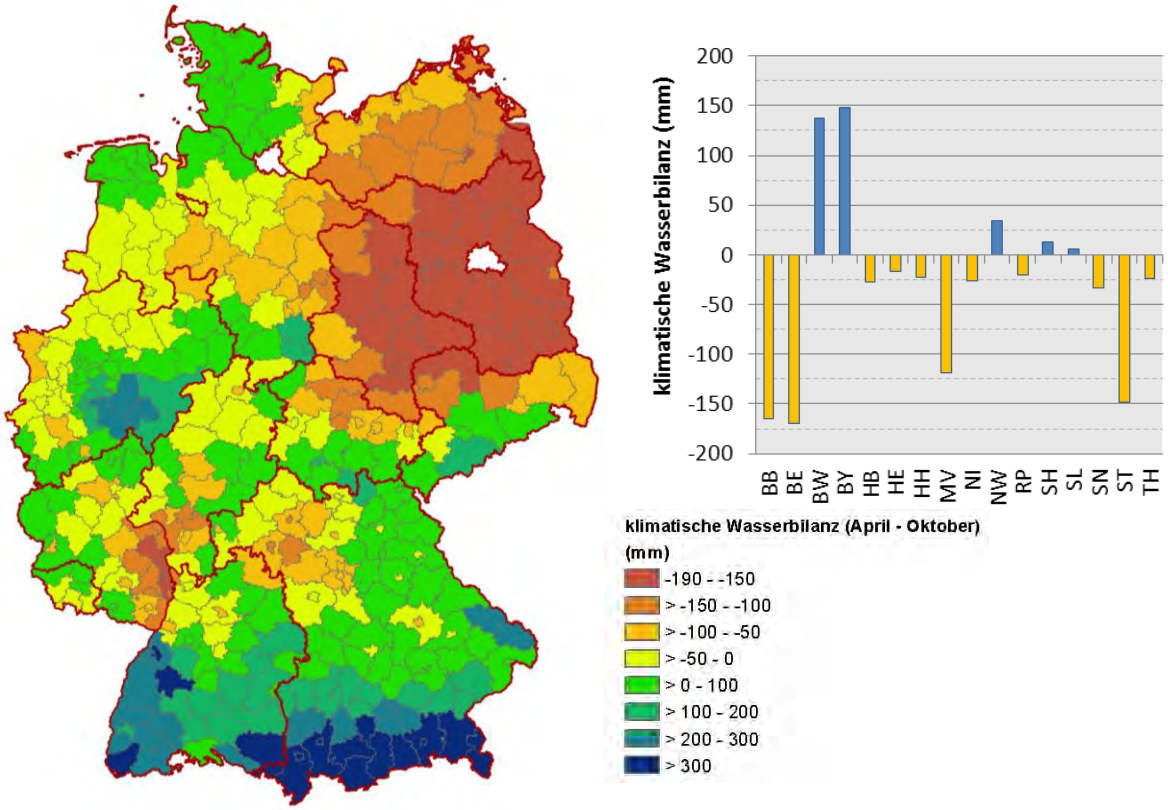
Tabelle 4: Datenquellen und Methoden zur Bilanzierung des Wasserdargebots

	Parameter	Methoden und Anmerkungen	Datenquelle
1a	Klimatische Wasserbilanz	Berechnung der Mittelwerte für die Vegetationsperiode (April - Oktober) der Jahre 1981 – 2010	Internetangebot des Deutschen Wetterdienstes (www.dwd.de)
1b	Grundwasserneubildung	Berechnung der Mittelwerte für Landkreise und Bundesländer	Hydrologischer Atlas Deutschland (Neumann & Wycisk, 2003)
1c	Potenzielles Grundwasserdargebot	= Grundwasserneubildung [1b] × Gebietsfläche (Bundesland bzw. Landkreis)	
1d	Grund- und Quellwasserentnahmen (öffentlich)		Regionaldatenbank Deutschland (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014)
1e	Grund- und Quellwasserentnahmen (nichtöffentlich), ohne landwirtschaftliche Bewässerung		Regionaldatenbank Deutschland (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014)
1f	Nutzbares Grundwasserdargebot	= Potenzielles Grundwasserdargebot [1c] – öffentliche und nichtöffentliche Grund- und Quellwasserentnahmen [1d + 1e]	

2.1.2 Ergebnisse

Die mittlere **klimatische Wasserbilanz** ist für die Vegetationsperiode April – Oktober für den gesamten Bereich des Nordöstlichen Tieflandes von Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg sowie für Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen negativ (Abbildung 5), d.h. die potenzielle Evapotranspiration übersteigt die Niederschlagsmenge. Dies trifft auch für die Lüneburger Heide sowie Teile des Oberrheinischen Tieflandes zu. In allen genannten Regionen ist potenziell Trockenstress und somit ein hoher Bewässerungsbedarf zu erwarten. Auf Bundeslandebene weisen die Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt sowie Mecklenburg-Vorpommern die höchsten Wasserdefizite auf, wohingegen in Bayern und Baden-Württemberg ein Wasserüberschuss vorhanden ist.

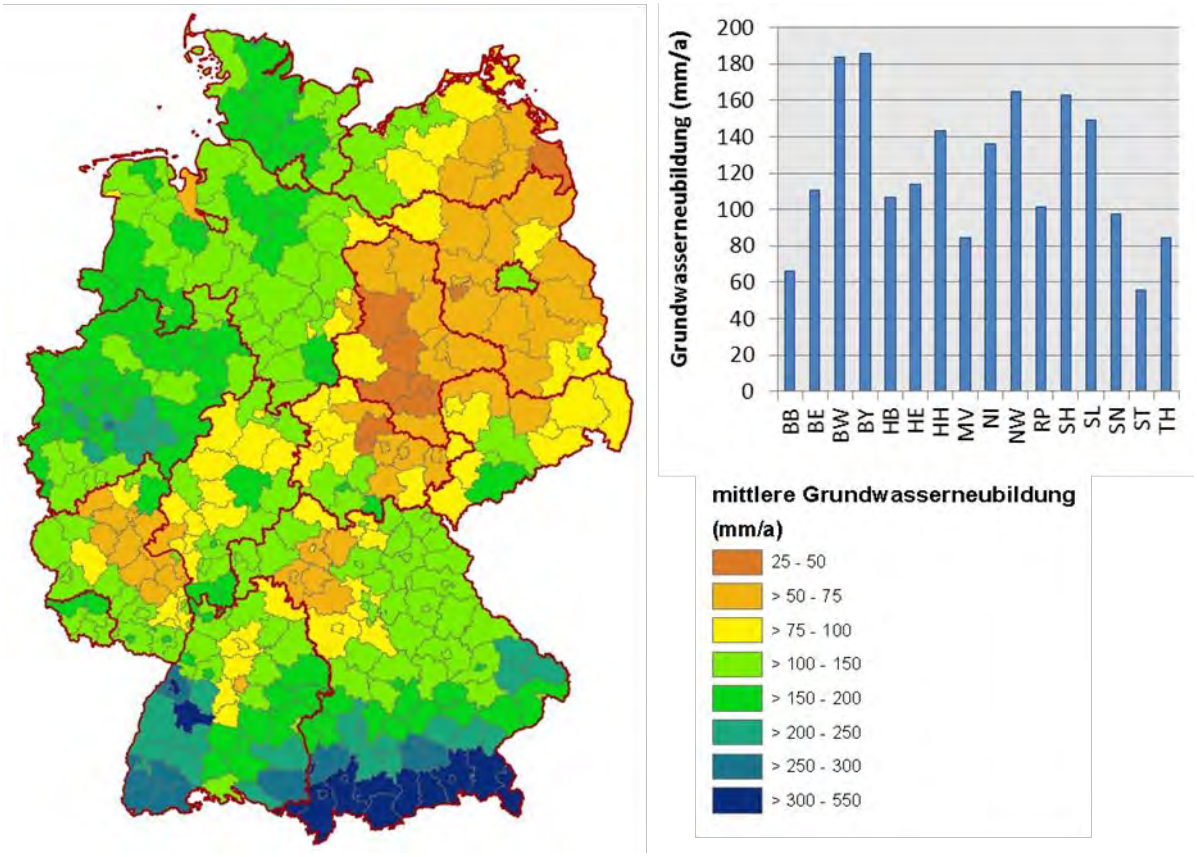
Abbildung 5: Mittlere klimatische Wasserbilanz für die Vegetationsperiode April – Oktober (1981-2010)



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst.

Das Gesamtbild der **Grundwasserneubildung** (Abbildung 6) ähnelt stark dem der klimatischen Wasserbilanz. Die geringsten Grundwasserneubildungsraten sind wiederum im Nordosten Deutschlands, insbesondere in Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen zu verzeichnen. Im Südwesten Deutschlands ist die Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz am geringsten, die höchsten Grundwasserneubildungsraten zeigen Bayern und Baden-Württemberg.

Abbildung 6: Mittlere Grundwasserneubildung in den verschiedenen Landkreisen und Bundesländern

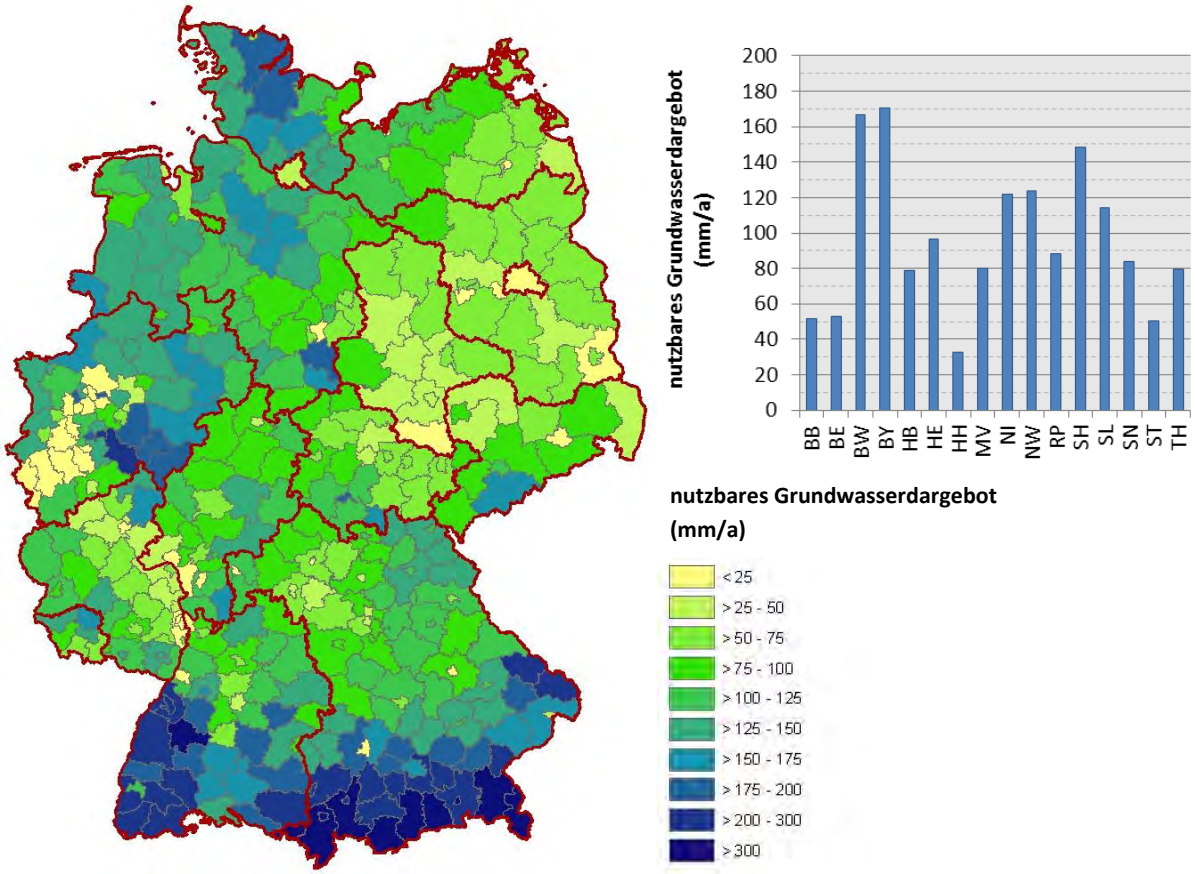


Datenquelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Neumann & Wycisk, 2003.

In einigen Regionen Deutschlands ist das für die landwirtschaftliche Bewässerung **nutzbare Grundwasserdargebot** aufgrund der hohen Wasserentnahmen stark vermindert, insbesondere in den Städten und Ballungszentren (z.B. Ruhrgebiet) sowie in Bergbauregionen (Rheinisches und Lausitzer Braunkohlerevier) (Abbildung 7).

Da neben den Wasserentnahmen die Grundwasserneubildung einen großen Einfluss auf das nutzbare Grundwasserdargebot hat, weisen darüber hinaus die Regionen mit geringer Grundwasserneubildung auch ein geringes nutzbares Grundwasserdargebot auf (z.B. Oberrheinisches Tiefland). Auf Bundeslandebene zeigen Bayern, Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen das höchste nutzbare Grundwasserdargebot, wogegen die niedrigsten Werte vor allem in Hamburg, Berlin, Brandenburg und Sachsen-Anhalt zu finden sind.

Abbildung 7: Mittleres für die landwirtschaftliche Bewässerung nutzbares Grundwasserdargebot



Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2014).

2.2 Gegenwärtiger und potenzieller Bewässerungsbedarf in Deutschland

2.2.1 Methodik

Grundlage zur Beurteilung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfes waren die Daten der Landwirtschaftszählung 2010 auf Landkreis- und Bundeslandebene (Statistisches Bundesamt 2011 - „Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente - Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM)“, Fachserie 3, Heft 5 – 2010, Statistische Landesämter 2011-2012). In die Landwirtschaftszählung waren alle Betriebe mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von mehr als 5 ha bzw. weniger als 5 ha bei Überschreitung festgelegter Mindestgrößen an Tierbeständen oder Spezialkulturen einbezogen.

Im Rahmen der Landwirtschaftszählung 2010 wurden die landwirtschaftlichen Betriebe befragt, ob im Jahre 2009 die Bewässerungsmöglichkeit von Flächen im Freiland bestand, was im Rahmen einer Nacherhebung noch spezifiziert wurde. Von den Erhebungen der Landwirtschaftszählung 2010 wurden folgende Daten verwendet: bewässerte Fläche und verbrauchte Wassermenge sowie die Fläche der Betriebe mit Möglichkeit zur Bewässerung. Die mittleren Niederschläge in der Vegetationsperiode April – Oktober 2009 entsprachen mit 66 mm annähernd denen des langjährigen Mittels der Vegetationsperiode 1981 - 2010 mit 70 mm (DWD, 2012). Somit kann das Jahr 2009 klimatisch als repräsentativ betrachtet werden.

In den weiteren Analysen wurde der **landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf** für insgesamt vier Szenarien dargestellt.

Drei der Szenarien stellen den Bewässerungsbedarf bei den derzeitigen klimatischen Bedingungen dar. Das Szenario „Bewässerung mit Grundwasser“ entspricht der realen Bewässerungsmenge, die aus dem Grundwasser entnommen wurde. Im Szenario „reale Gesamtbewässerung“ wurde angenommen, dass die reale Gesamtmenge an Bewässerungswasser (v.a. Grundwasser, Oberflächenwasser und Wasser aus Versorgungsnetzten) ausschließlich aus dem Grundwasser entnommen werden würde. Im Szenario „potenzielle Gesamtbewässerung (aktuell)“ wurde die Bewässerungsmenge noch gesteigert, indem angenommen wurde, dass alle potenziell bewässerbaren Flächen mit Grundwasser bewässert werden würden.

Die Daten für die ersten beiden Szenarien wurden direkt aus den Erhebungsdaten der Landwirtschaftszählung 2010 ermittelt. Für die potenzielle Gesamtbewässerung wurde die Beregnungshöhe der real bewässerten Flächen auf die potenziell bewässerbaren Flächen hochgerechnet. Unter potenziell bewässerbaren Flächen werden diejenigen Flächen verstanden, die bereits über Bewässerungstechnik verfügen (Tabelle 5).

Um den **Bewässerungsbedarf für zukünftige klimatische Verhältnisse** (bis zum Jahr 2050) darzustellen, wurde in einem weiteren Szenario „potenzielle Gesamtbewässerung (zukünftig)“ die aktuelle Beregnungshöhe um 50 % erhöht (Tabelle 5). Diese Annahme für den zukünftigen Bewässerungsbedarf basiert auf verschiedenen Studien aus Deutschland, in denen mögliche Klimaauswirkungen wie erhöhte Temperatur und geringere Niederschläge in der Vegetationsperiode auf den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs analysiert wurden. Die in diesen Studien ermittelte Erhöhung des Bewässerungsbedarfs weist aufgrund verschiedener Berechnungsansätze, der Betrachtung verschiedener Fruchtarten sowie regionalspezifischer Analysen eine relativ große Spannbreite auf. So wurde für Nordost-Niedersachsen eine Erhöhung des Bewässerungsbedarfs um 7 % bis 2050 bzw. 30 % bis 2100 prognostiziert (Heidt, 2009). Für den niedersächsischen Landkreis Uelzen wurde für den Zeitraum 2041 - 2070 eine Erhöhung des Bewässerungsbedarfs um ca. 30 % prognostiziert (Müller *et al.*, 2012). In einer Studie zum potenziellen Bewässerungsbedarf für Thüringen wurde eine Erhöhung um 54 % für eine feuchte Klimarealisierung bzw. um 72 % für eine trockene Klimarealisierung für die Jahre 2020-2050 ermittelt (Mirschel *et al.*, 2012). Für die Bewässerung der Kartoffel in Nordostdeutschland wurde ein zusätzlicher Bewässerungsbedarf von 24 % (Schwerin), 49 % (Neuruppin) bzw. 50 % (Lindenberg) für das Jahr 2055 bestimmt (Müller *et al.*, 2009).

Die Berechnung des **fruchtartengewichteten Zusatzwasserbedarfs (fgZB)**, der bei den derzeit vorherrschenden Anbauverhältnissen entsteht, wurde anhand der „Richtwerte für den Zusatzwasserbedarf landwirtschaftlicher Fruchtarten in Abhängigkeit vom Bodenwasserbereitstellungsvermögen“ unter Verwendung der realen Anbauverhältnisse für Getreide, Mais, Kartoffeln und Zuckerrüben sowie der mittleren Niederschlagsmengen durchgeführt (Günther, 2014, nach Roth, 1993). Es erfolgte eine Beschränkung auf die erwähnten vier Fruchtarten, da diese am stärksten bewässerungswürdig sind und da hier auch der Anteil der bewässerten Flächen am höchsten ist. In Deutschland beträgt der Flächenanteil an der Gesamtbewässerungsfläche für Getreide 30 %, für Kartoffeln 22 %, für Mais (Summe Körnermais und Silomais) 13 % und für Zuckerrüben 9 % (Statistisches Bundesamt, 2011). Der Flächenanteil von Gemüse und Erdbeeren an der Gesamtbewässerungsfläche ist in Deutschland mit 16 % auch relativ hoch, wurde jedoch für die weitere Untersuchung nicht mit betrachtet, da hier aufgrund des Direktkontaktes eine potenzielle Bewässerung mit gereinigtem Abwasser mit einem sehr hohen Aufwand hinsichtlich der Abwasseraufbereitung verbunden wäre (Trinkwasserqualität) und von daher als nicht plausibel bzw. ökonomisch nicht sinnvoll angesehen wird.

Für die **mengenmäßige Bewertung der landwirtschaftlichen Bewässerung** wurden die Bewässerungsmengen der vier Szenarien der Grundwasserneubildung gegenübergestellt. Es wurde bilanziert, wie sich der mengenmäßige Grundwasserzustand verändern würde, wenn die für die landwirtschaftliche Bewässerung verwendeten realen Grundwasserentnahmen (Szenario „Bewässerung mit Grundwasser“) auf die erhöhten Entnahmemengen der anderen Szenarien ansteigen würden.

Tabelle 5: Methoden und Datenquellen zur Bilanzierung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs

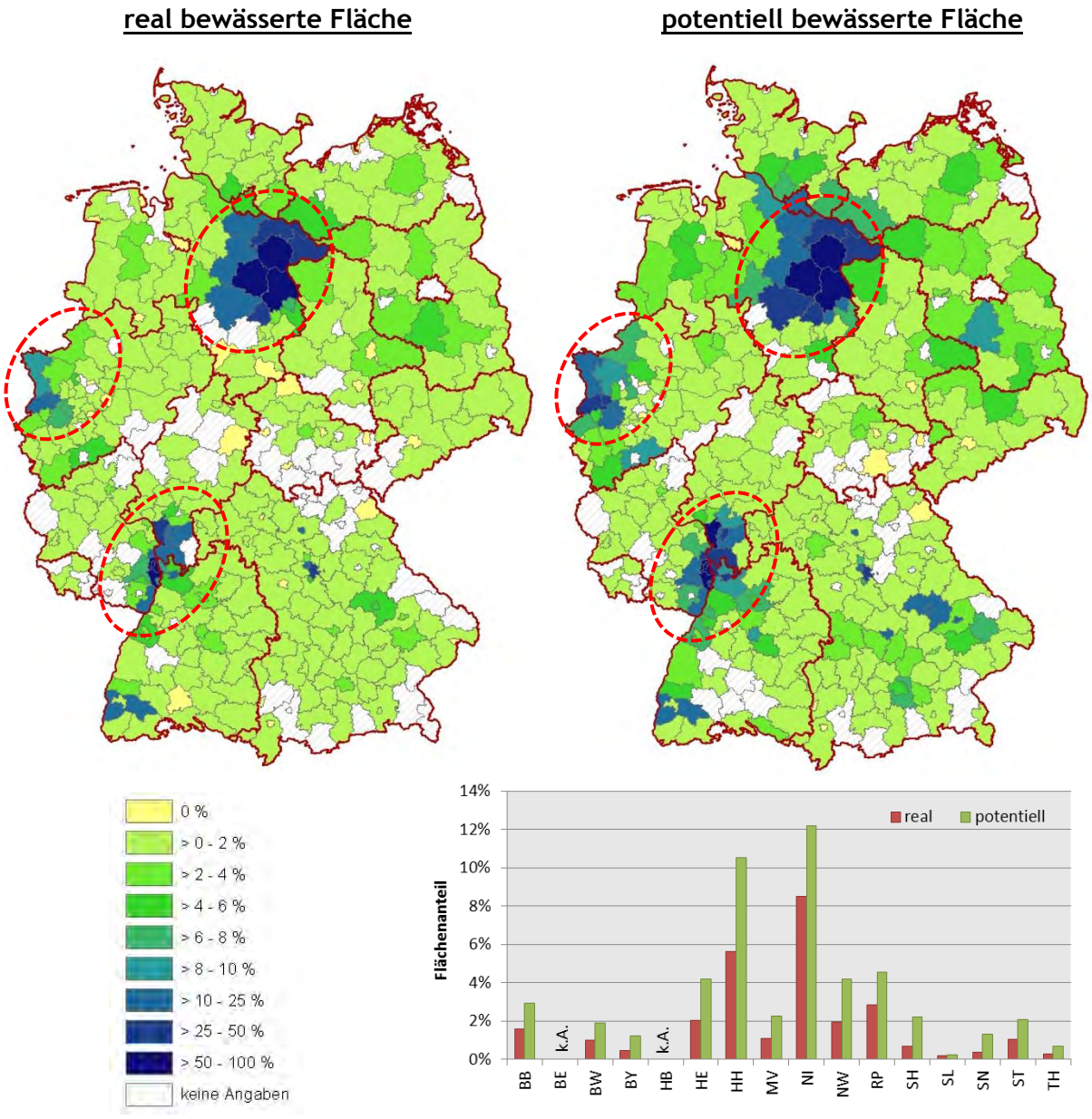
Szenario		Methoden und Anmerkungen	Datengrundlage
2a	Landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf: Bewässerung mit Grundwasser	Reale Bewässerung mit Grundwasser	Landwirtschaftszählung 2010 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011-2012)
2b	Landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf: reale Gesamtbewässerung	Annahme: reale Gesamtmenge an Bewässerungswasser wird ausschließlich aus dem Grundwasser entnommen	Landwirtschaftszählung 2010 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011-2012)
2c	Landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf: potenzielle Gesamt-bewässerung (aktuell)	Annahme: alle potenziell bewässerbaren Flächen werden mit der Beregnungshöhe der realen Gesamtbewässerung bewässert	Landwirtschaftszählung 2010 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011-2012)
2d	Landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf: potenzielle Gesamt-bewässerung (zukünftig)	Annahme: alle potenziell bewässerbaren Flächen werden mit 150 % der realen Beregnungshöhe bewässert	Landwirtschaftszählung 2010 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011-2012)
2e	Fruchtartengewichteter Zusatzwasserbedarf (fgZB)	= fruchtartenspezifischer Zusatzwasserbedarf x Anbauanteil der einzelnen Fruchtart x Niederschlagskorrekturfaktor [Summe für Getreide, Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben] - Niederschlagskorrekturfaktor = 30-jähriges Niederschlagsmittel im mittel- und ostdeutschen Binnentiefland / 30-jähriges Niederschlagsmittel im zu betrachtenden Bundesland	- Methodik und fruchtarten-spezifischer Zusatzwasserbedarf: Roth (1993), Günther (2014) - Anbauanteil der Fruchtarten: Landwirtschaftszählung 2010 (Statistisches Bundesamt,,2011) - Niederschlagsmittel im mittel- und ostdeutschen Binnentiefland: Günther (2014) - Niederschlagsmittel der Bundesländer: Internetangebot des Deutschen Wetterdienstes (www.dwd.de)
2e	Verhältnis aus Gesamt-grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung (Bewertung mengenmäßiger Grundwasserzustand)	= (Bewässerungsbedarf [2a, 2b, 2c bzw. 2d] + öffentliche und nichtöffentliche Grund- und Quellwasserentnahmen [1d + 1e]) / Grundwasserneubildung [1b]	

2.2.2 Ergebnisse

Im Jahr 2009 betrug der Anteil der real bewässerten Fläche an der landwirtschaftlichen Gesamtfläche ca. 2,2 %. Bei Bewässerung aller derzeit mit Bewässerungstechnik ausgestatteten Flächen (potenziell bewässerbare Flächen) steigt der Flächenanteil auf 3,8 %. Im Jahre 2013 steigerte sich der Flächenanteil der potenziell bewässerbaren Flächen weiter auf 4,1 %, wohingegen der Anteil der real bewässerten Flächen dem von 2009 entsprach (Statistisches Bundesamt, 2014).

Die real und potenziell **bewässerten landwirtschaftlichen Flächenanteile** sind in Niedersachsen am höchsten, v.a. in den Landkreisen Uelzen, Celle und Gifhorn mit Flächenanteil > 50% (Abbildung 8), sowie im Oberrheinischen Tiefland (Rheinland-Pfalz, Hessen, Baden-Württemberg) und in der Region Niederrhein (Nordrhein-Westfalen).

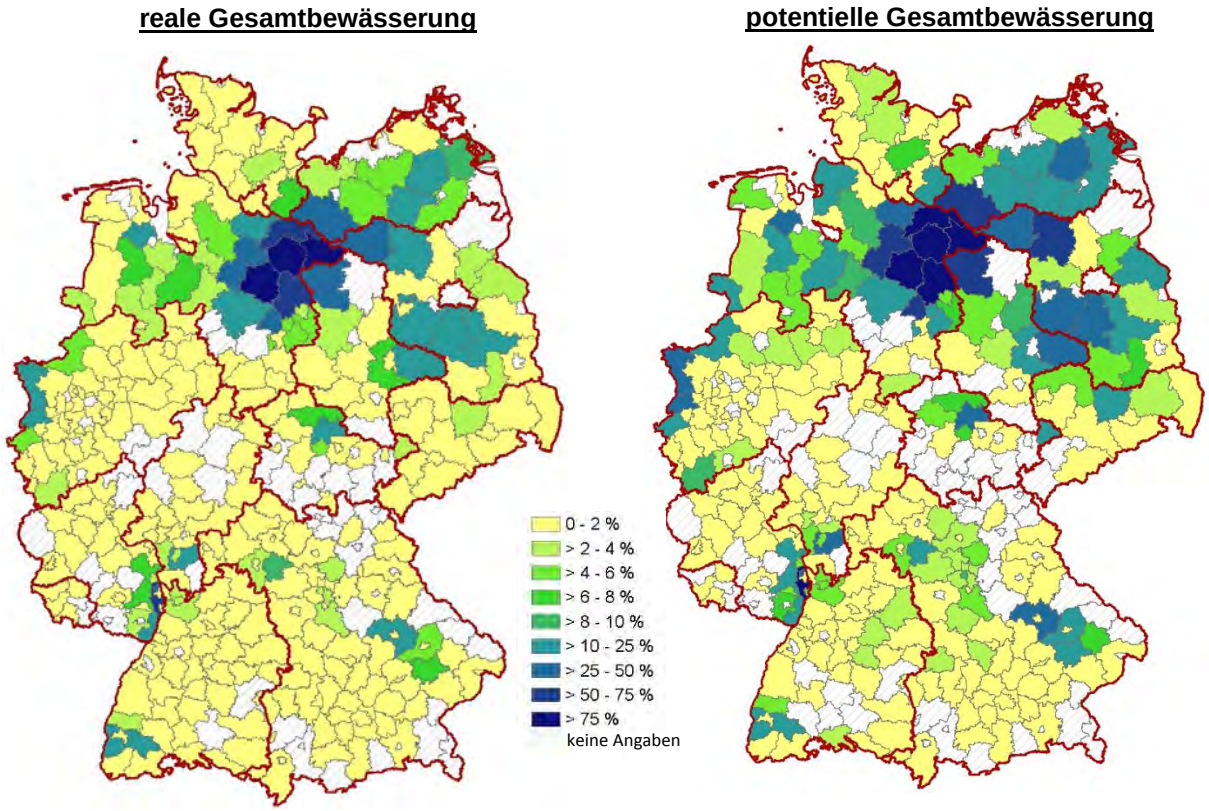
Abbildung 8: Anteile der real und potenziell bewässerten Flächen an der landwirtschaftlichen Gesamtfläche



Die Regionen mit erhöhten Anteilen sind markiert. Datenquelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011-2012.

Die **Anteile der Bewässerungsmengen** der realen und potenziellen Gesamtbewässerung an den öffentlichen und nichtöffentlichen Wasserentnahmen sind im Mittel in Deutschland mit 1,6 % für die reale Gesamtbewässerung bzw. 3,1 % für die potenzielle Gesamtbewässerung sehr gering. In großen Teilen Deutschlands liegen die Anteile unter 2 % (Abbildung 9). Es zeigt sich jedoch ein deutlicher Anstieg der Anteile der Bewässerung an den Wasserentnahmen im Nordosten Deutschlands. Die höchsten Anteil sind in Niedersachen, insbesondere in der Lüneburger Heide mit > 75 % zu finden. Auch die östlich und nordöstlich angrenzenden Landkreise in Bandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern weisen relativ hohe Anteile zwischen 10 und 50 % auf. Die Bewässerungsanteile südwestlich von Berlin, in den Brandenburger Landkreisen Potsdam-Mittelmark, Teltow-Fläming und Dahme-Spreewald sowie dem Landkreis Wittenberg in Sachsen-Anhalt liegen zwischen 10 und 25 %. Es lässt sich festhalten, dass im Mittel die Anteile der Bewässerungsmengen an den Wasserentnahmen sehr gering sind, es jedoch durchaus Regionen mit teilweise sehr stark erhöhten Anteilen gibt. Es zeigt sich, dass in allen Landkreisen, in denen ein Großteil der Flächen über die Möglichkeit der Bewässerung verfügt, die Wasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung auch den Großteil der Gesamtwasserentnahmen ausmachen. Die Reduktion von Grundwasserentnahmen durch die Nutzung von behandeltem Abwasser birgt folglich ein hohes Potenzial, um im Falle länger andauernder Trockenperioden Nutzungskonflikten vorzubeugen.

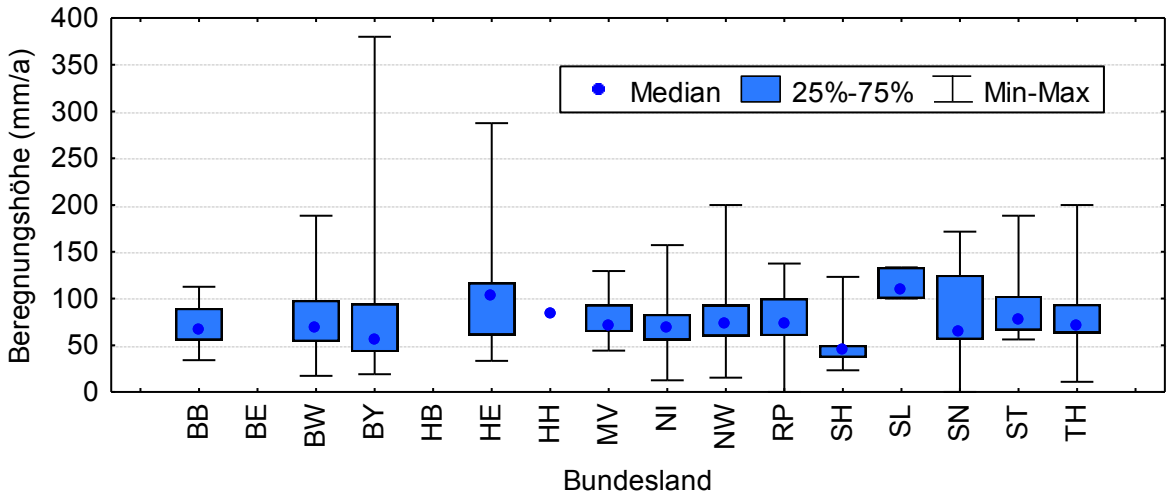
Abbildung 9: Anteile der realen und potenziellen Bewässerungsmengen an den öffentlichen und nicht öffentlichen Wasserentnahmen



Datenquelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011-2012.

Ein anderes Bild zeigt sich bei den **mittleren Beregnungshöhen**. Die mittleren realen Beregnungshöhen für die einzelnen Bundesländer liegen zwischen 50 und 115 mm/a (Abbildung 10), wobei die mittleren Beregnungshöhen für die Bundesländer Hessen, Saarland, Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt am höchsten sind. Die niedrigsten mittleren Beregnungshöhen sind in Bayern, Schleswig-Holstein, Sachsen und Thüringen zu finden. Zwischen den Landkreisen variieren die Beregnungshöhen innerhalb eines Bundeslandes teilweise sehr stark. Die höchsten Schwankungsbreiten in Bezug auf die Beregnungshöhen zeigen sich in Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Thüringen, Sachsen und Baden-Württemberg (Abbildung 10).

Abbildung 10: Reale Beregnungshöhen auf Bundeslandebene



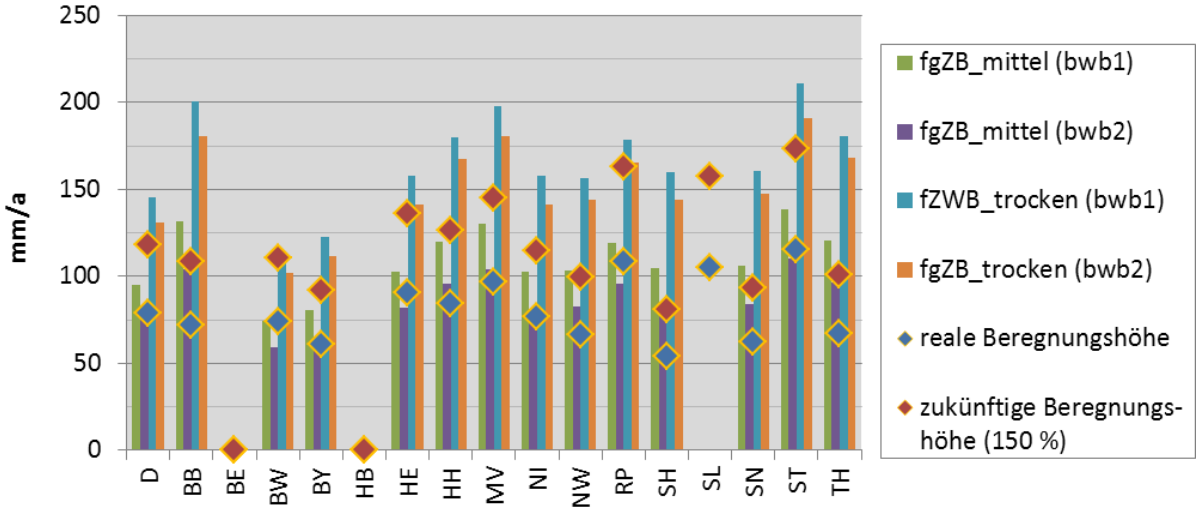
Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Der **fruchtartengewichtete Zusatzwasserbedarf (fgZB)** gibt an, wie hoch die Beregnungsmenge bei einer gegebener Fruchtartenzusammensetzung sowie bei definierten Klimabedingungen und Bodenwasserverhältnissen am jeweiligen Standort für ein optimales Wachstum sein sollte. Hierbei handelt es sich um einen Richtwert, der eher auf lokaler kleinskaliger Ebene anwendbar ist, da die Bedingungen für regionale, großskalige Studien stark variieren können. Dennoch gibt der fgZB erste Anhaltspunkte über die Beregnungshöhen für eine optimale Bewässerung. Bei Betrachtung des fgZB (Abbildung 11) wird deutlich, dass im Mittel für Deutschland die reale Beregnungshöhe im Bereich des mittleren fgZB liegt, wogegen die zukünftige Beregnungshöhe für trockenere Klimaverhältnisse etwas geringer ist als der fgZB für Trockenjahre. Auf Bundeslandebene zeigt sich, dass insbesondere in Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein, Sachsen und Thüringen sowohl die realen als auch die zukünftigen Beregnungshöhen deutlich geringer sind als der fgZB für Mittel- und Trockenjahre. Dies bedeutet, dass es in den genannten Bundesländern eine relativ starke Diskrepanz zwischen pflanzlichen Zusatzwasserbedarf und der tatsächlichen Beregnungsmenge gibt. Ursachen hierfür könnten beispielsweise in eingeschränkten wasserrechtlichen Entnahmegenehmigungen liegen, die nur so hoch angesetzt werden sollten, dass der gute mengenmäßige Grundwasserzustand nicht gefährdet wird. Außerdem wird die Entscheidung des Landwirts über die Beregnungshöhe von diversen weiteren Parametern wie z.B. dem aktuellen Marktpreis für die jeweilige Fruchtart oder den Energiekosten für die Pumpen beeinflusst.

Es ist zu berücksichtigen, dass die ermittelten Werte für den fgZB nur auf Bundeslandebene vorliegen und dieser nur für die Anbauverhältnisse der vier bewässerungswürdigsten

Fruchtarten Getreide, Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben berechnet wurde. Bei dem fruchtartspezifischen Zusatzwasserbedarf, welcher dem hier berechneten fgZB zugrunde liegt, handelt es sich um Richtwerte für Mitteldeutschland, die zwar für die Klimabedingungen der jeweiligen Bundesländer angepasst wurden, jedoch immer noch eine grobe Annäherung darstellen. Aus diesen genannten Gründen wurden für weitere Bilanzierungen nur die realen und zukünftigen Beregnungshöhen verwendet, welche aus den Daten der Landwirtschaftszählung 2010 extrahiert wurden.

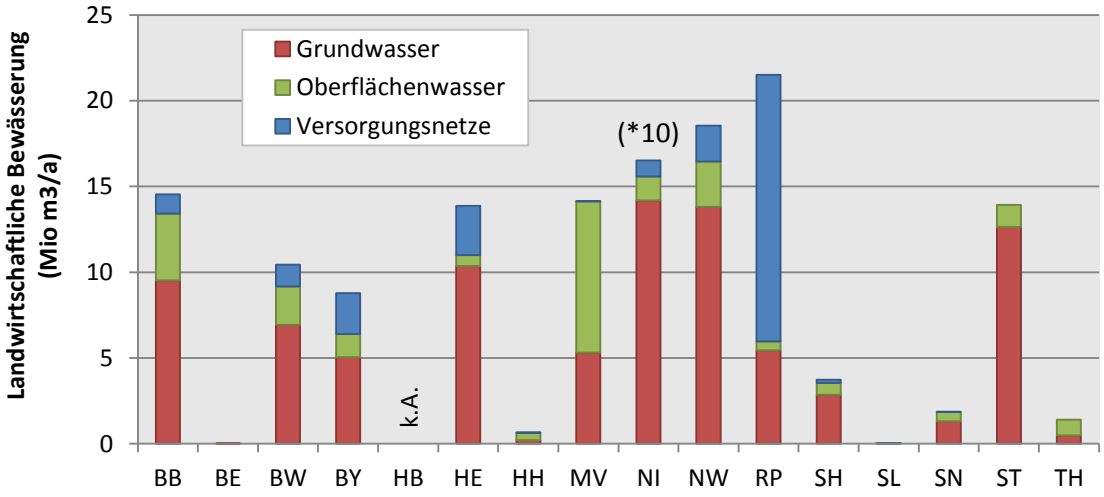
Abbildung 11: Reale und zukünftige Beregnungshöhen (150 %) sowie fruchtartengewichteter Zusatzwasserbedarf (fgZB), bezogen auf die realen Anbauverhältnisse der Bundesländer (Summe für Getreide, Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben) im Mittel und für Trockenjahre



bwb1 = niedrige Bodenwasserbereitstellung, bwb2 = mittlere Bodenwasserbereitstellung (Günther, 2014, nach Roth, 1993). Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten des Statistischen Bundesamtes 2011 (Anbauverhältnisse).

Bei Betrachtung der **Wasserquellen für die landwirtschaftliche Bewässerung** zeigt sich, dass für die meisten Bundesländer die Bewässerung mit Grundwasser überwiegt (Abbildung 12). Nur in Mecklenburg-Vorpommern (insbesondere in den Landkreisen Müritz und Demmin) hat das Oberflächenwasser einen höheren Anteil am Bewässerungswasser (ca. 62 %). Hier erfolgt die Bewässerung größtenteils durch Staubewässerung. In Rheinland-Pfalz wird ein großer Teil des Bewässerungswassers (ca. 72 %) als Wasser aus Versorgungsnetzen deklariert. Es handelt sich hierbei zum größten Teil um Uferfiltrat aus dem Rhein, das von den regionalen Beregnungsverbänden gefördert und in Versorgungsnetzen verteilt wird (Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, 2009). Da in den Statistiken der Landwirtschaftszählung Uferfiltrat und Grundwasser zusammengefasst werden, wird zwecks einer bundesweit einheitlichen Betrachtung in den weiteren Bilanzierungen auch das „Wasser aus Versorgungsnetzen“ in Rheinland-Pfalz als Grundwasser betrachtet (Statistisches Bundesamt, 2011). Hierdurch können in einigen Landkreisen in Rheinland-Pfalz bilanztechnische Artefakte entstehen, die den mengenmäßigen Grundwasserzustand möglicherweise schlechter einstufen, als er in Wirklichkeit ist. Es ist beispielsweise bekannt, dass die Bereitstellung von Beregnungswasser aus dem Otterstädter Altrheinarm durch den Beregnungsverband Vorderpfalz zu einer Stützung und Stabilisierung der Grundwassermenge geführt hat (z.B. Kreisverwaltung Ludwigshafen a. Rh., 1999).

Abbildung 12: Wassermengen für die landwirtschaftliche Bewässerung nach Wasserquellen



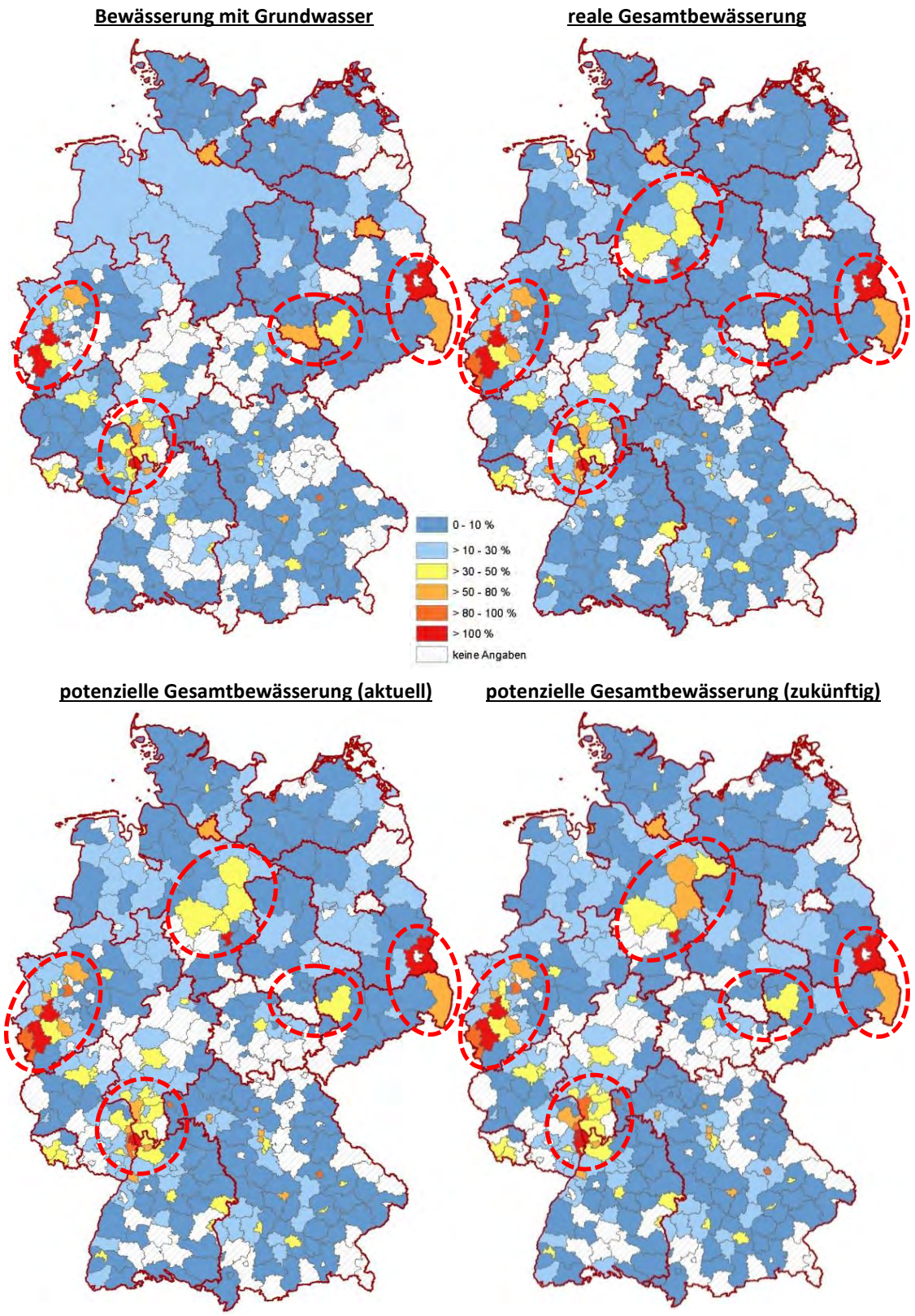
Für eine bessere grafische Auflösung wurden die Wassermengen für Niedersachsen durch 10 dividiert.
Datenquelle: Statistisches Bundesamt 2011.

Das Verhältnis aus **Gesamtgrundwasserentnahmen und Grundwasserneubildung** zeigt keine wesentlichen Unterschiede zwischen den vier Bewässerungsszenarien (Abbildung 13). Aus Abbildung 14 wird jedoch deutlich, dass auf Bundeslandebene die Anteile insbesondere in den Stadtstaaten (Hamburg, Berlin) sowie in anderen größeren Städten aufgrund der großen öffentlichen und nicht öffentlichen Wasserentnahmen und des daraus folgenden reduzierten nutzbaren Grundwasserdargebots stark erhöht sind. Alle anderen Bundesländer weisen Gesamtgrundwasserentnahmen unter 30 % der Grundwasserneubildung auf, wobei die Anteile für Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Saarland mit ca. 23-26 % am größten sind. Auf Bundeslandebene sind die Anteile der Gesamtentnahmen für Bayern, Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Thüringen kleiner als 10 % der Grundwasserneubildung, was für einen guten mengenmäßigen Grundwasserzustand spricht.

Auf Landkreisebene sind deutlich erhöhte Anteile der Gesamtgrundwasserentnahmen an der Grundwasserneubildung im Rheinischen und Lausitzer Braunkohlerevier (Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Brandenburg) vorhanden (Abbildung 13).

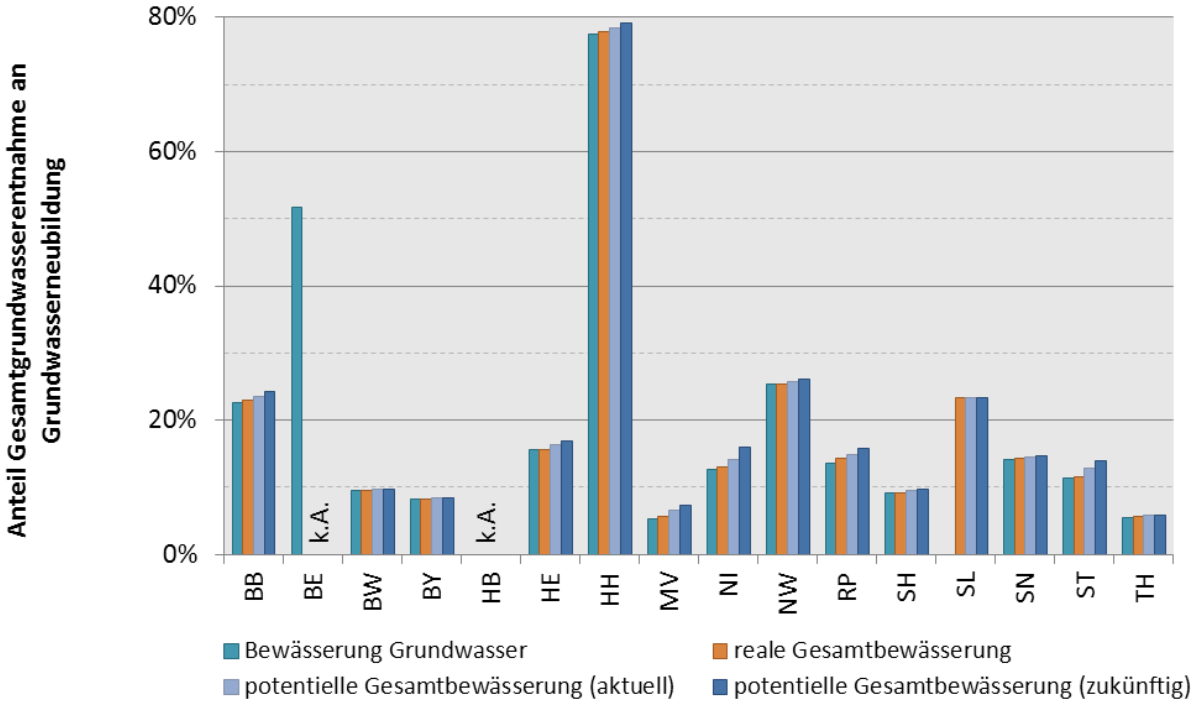
Auch im Oberrheinischen Tiefland (Rheinland-Pfalz, Hessen und Baden-Württemberg), in den niedersächsischen Landkreisen Uelzen, Gifhorn, Hannover und Peine sowie in den Landkreisen Leipzig (Sachsen) und Burgenlandkreis (Sachsen-Anhalt) wird das Grundwasser mengenmäßig stark beansprucht. Nahezu alle Regionen (außer dem Oberrheinische Tiefland), bei denen die Analyse eine hohe mengenmäßige Belastung ergab, stimmten im Wesentlichen mit den Regionen überein, bei denen im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie ein schlechter mengenmäßiger Grundwasserzustand ermittelt wurde.

Abbildung 13: Verhältnis aus szenarienabhängiger Gesamtgrundwasserentnahme und Grundwasserneubildung auf Landkreisebene



Die Gesamtgrundwasserentnahme entspricht der Summe aus dem szenarienabhängigen Bewässerungsbedarf und den sonstigen öffentlichen sowie nicht öffentlichen Grundwasserentnahmen. Die Regionen mit erhöhten Anteilen sind markiert.
Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Abbildung 14: Verhältnis aus szenarienabhängiger Gesamtgrundwasserentnahme und Grundwasserneubildung auf Bundeslandebene



Die Gesamtgrundwasserentnahme entspricht der Summe aus dem szenarienabhängigen Bewässerungsbedarf und den sonstigen öffentlichen sowie nicht öffentlichen Grundwasserentnahmen. Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

2.3 Potenzial der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

2.3.1 Methodik

Um das Potenzial der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser abzuschätzen, wurde in einem ersten Schritt auf Landkreisebene analysiert, inwieweit die anfallenden Abwassermengen ausreichen würden, den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf zu decken. Hierfür wurde die Abwassermenge vom landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf aus den vier Szenarien subtrahiert und anschließend mit der Grundwasserneubildung ins Verhältnis gesetzt. Dadurch konnte ermittelt werden, wie sich die Verwendung von Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung, und die damit einhergehende verringerte Grundwasserentnahme, auf den mengenmäßigen Grundwasserzustand auswirken würde.

Die Mengen an kommunalem Abwasser entstammen der „Regionaldatenbank Deutschland“ (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014). Da die Bilanzierung von anfallender Abwassermenge und landwirtschaftlichem Bewässerungsbedarf auf Landkreis- und Bundeslandebene erfolgte, können auch hier statistische Artefakte entstehen. Einerseits könnte das Abwasser, welches in einem bestimmten Landkreis anfällt, nicht nur zur landwirtschaftlichen Bewässerung in demselben Landkreis, sondern auch in den umliegenden Landkreisen verwendet werden. Dies trifft insbesondere auf sehr große Klärwerke zu. Da dies mit den vorhandenen Daten jedoch nicht abzuschätzen ist, wurde nur die landwirtschaftliche Bewässerung im jeweiligen Landkreis des Abwasseranfalls betrachtet.

Für die Kläranlagen der Größenklassen 4 - 5 sowie der Größenklassen 2 - 3 wurde der Radius der potenziell mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Kreisfläche um die Kläranlage berechnet. Hierfür wurden aus den realen und potenziellen (150 %) Beregnungshöhen (Landwirtschaftszählung, 2010) sowie den Abwassermengen der Kläranlagen (persönliche Mitteilung Umweltbundesamt 27.02.2014), die maximal bewässerbaren Kreisflächen berechnet. Diese Kreisflächen wurden anschließend mit der den Ackerflächen der Bodenübersichtskarte BUEK1000 (BGR, 2007) verschnitten und somit noch einmal hinsichtlich der Radien angepasst.

Es ist denkbar, dass der Ablauf von Kläranlagen einen großen Anteil des Abflusses des Einleitgewässers (Vorfluter) ausmacht. Für eine erste grobe Abschätzung wurde für die Kläranlagen der Größenklasse 5 (> 100 000 EW) dargestellt, wie sich eine vollständige Verwendung des anfallenden Abwassers zur landwirtschaftlichen Bewässerung auf den **Mindestwasserabfluss der Einleitgewässer** auswirken würde. Hierfür wurden die auf den Webseiten der Landesumweltbehörden bzw. in den „Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern“ ausgewiesenen mittleren Niedrigwasserabflüsse (MNQ) der jeweiligen Einleitgewässer verwendet. Da es zur Bewertung des Mindestwasserabflusses keine bundesweit einheitlichen Kriterien gibt, wurden hierfür die im Wasserkrafterlass Baden-Württemberg festgelegten Mindestabflüsse als Kriterium herangezogen. In dieser Verwaltungsvorschrift wird unabhängig von der Einzugsgebietsgröße festgelegt, dass der Orientierungswert 1/3 MNQ beträgt und dass der den örtlichen Standortbedingungen angepasste Mindestabfluss ganzjährig 1/6 MNQ nicht unterschreiten darf (LfU Baden-Württemberg, 2005).

Da es in Deutschland mehr als 4 000 Kläranlagen gibt und für die Untersuchung des Mindestwasserabflusses der Einleitgewässer jede Kläranlage separat hinsichtlich Abwassermenge, Einleitgewässer sowie mittlerem Niedrigwasserabfluss des Einleitgewässers betrachtet werden muss, wurden in diese Studie nur die 230 Kläranlagen der Größenklasse 5 einbezogen. Eine Fokussierung auf die Kläranlagen GK 5 ergibt sich auch aus der Annahme, dass sich insbesondere die fehlende Einleitung der großen Abwassermengen, die in den Kläranlagen dieser Größenklasse anfallen (ca. 0,25 – 1,2 Mio. m^3/d), möglicherweise negativ auf den Mindestwasserabfluss der Einleitgewässer auswirkt. Da die Einleitgewässer der kleineren Kläranlagen (GK 2 - 4) teilweise auch einen hohen Abwasseranteil aufweisen können, muss bei Entscheidungen, ob Abwasser zur Bewässerung genutzt werden soll, im Einzelfall geprüft werden.

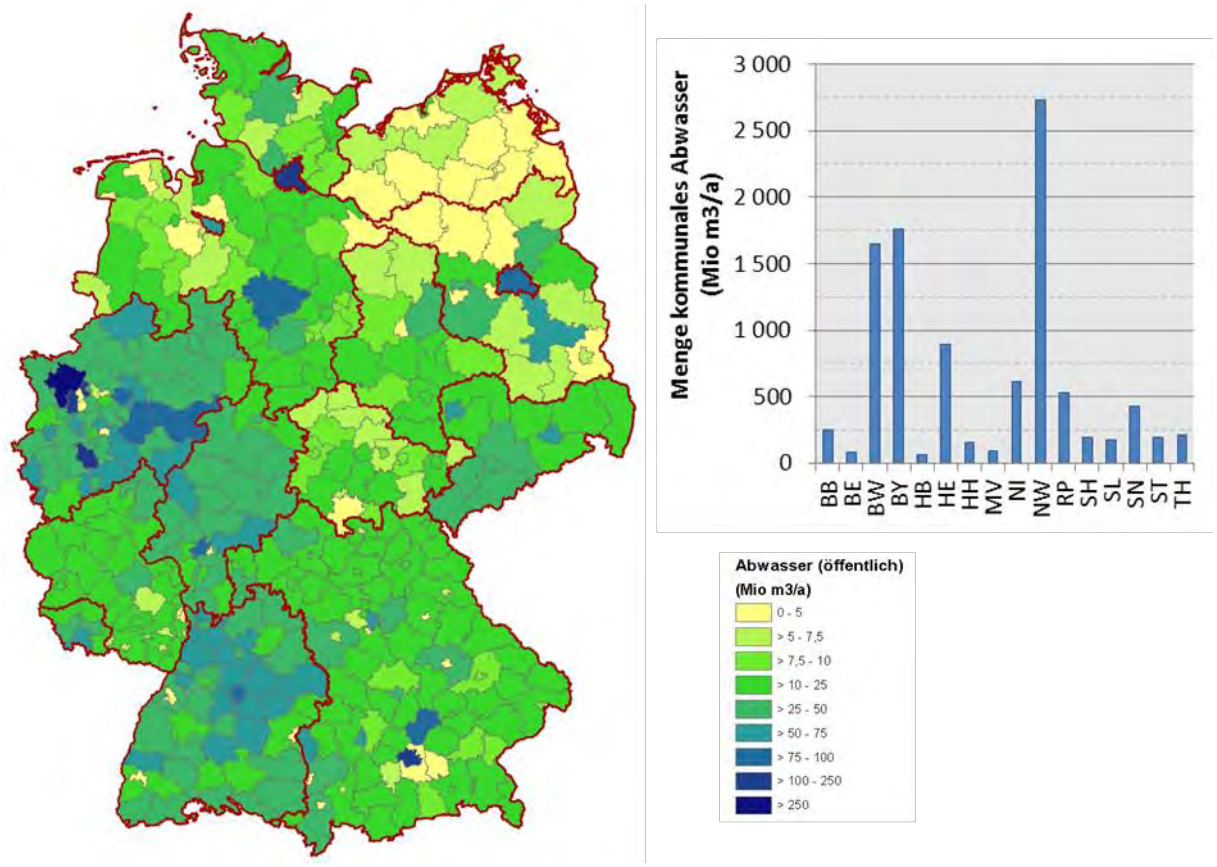
Tabelle 6: Methoden und Datenquellen für die Bilanzierung des Bedarfs an gereinigtem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung

	Parameter	Methoden und Anmerkungen	Datenquelle
3a	Kommunale Abwassermenge		Regionaldatenbank Deutschland (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014)
3b	Verhältnis aus Gesamtgrundwasserentnahme und Grundwasserneubildung bei zusätzlicher Verwendung des kommunalen Abwassers (Bewertung mengenmäßiger Grundwasserzustand nach Substitution des grundwasserbürtigen Bewässerungswassers durch Abwasser)	= (Bewässerungsbedarf [2a, 2b bzw. 2c] + öffentliche und nichtöffentliche Grund- und Quellwasserentnahmen [1d + 1e] – 7/12 x kommunale Abwassermenge [3a]*) / Grundwasserneubildung [1b] * kommunale Abwassermenge für die 7 Monate der Vegetationsperiode	
3c	Mittlerer Niedrigwasserabfluss		Internetangebot der Landesumweltbehörden, Deutsche Gewässerkundliche Jahrbücher

2.3.2 Ergebnisse

Die höchsten **Mengen an kommunalem Abwasser** fallen in Nordrhein-Westfalen an, hier insbesondere im Ruhrgebiet und im Sauerland. Danach folgt Baden-Württemberg und Bayern (Abbildung 15). Die geringsten kommunalen Abwassermengen sind in den Flächenländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein, Saarland, Sachsen-Anhalt und Thüringen zu verzeichnen. Erwartungsgemäß sind die kommunalen Abwassermengen in den größeren Städten und Ballungsgebieten (z.B. Hamburg, Berlin, Region Hannover) höher als in ländlichen Regionen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei einem potenziellen Bedarf an gereinigtem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung in den ländlichen und bevölkerungsärmeren Regionen lange Transportwege entstehen würden, deren Bau, Betrieb und Unterhaltung mit hohen Kosten für den Wassertransport verbunden wären. Eine Analyse der konkreten mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerflächen um die Kläranlagen zeigte jedoch, dass sowohl für die kleinen Kläranlagen (GK 2 und 3) als auch für die großen Kläranlagen (GK 4 und 5) durchaus potenzielle Bewässerungsflächen in unmittelbarer Nähe der Kläranlagen vorhanden sind, wodurch die Transportwege auf ein annehmbares Maß reduziert werden könnten (siehe unten).

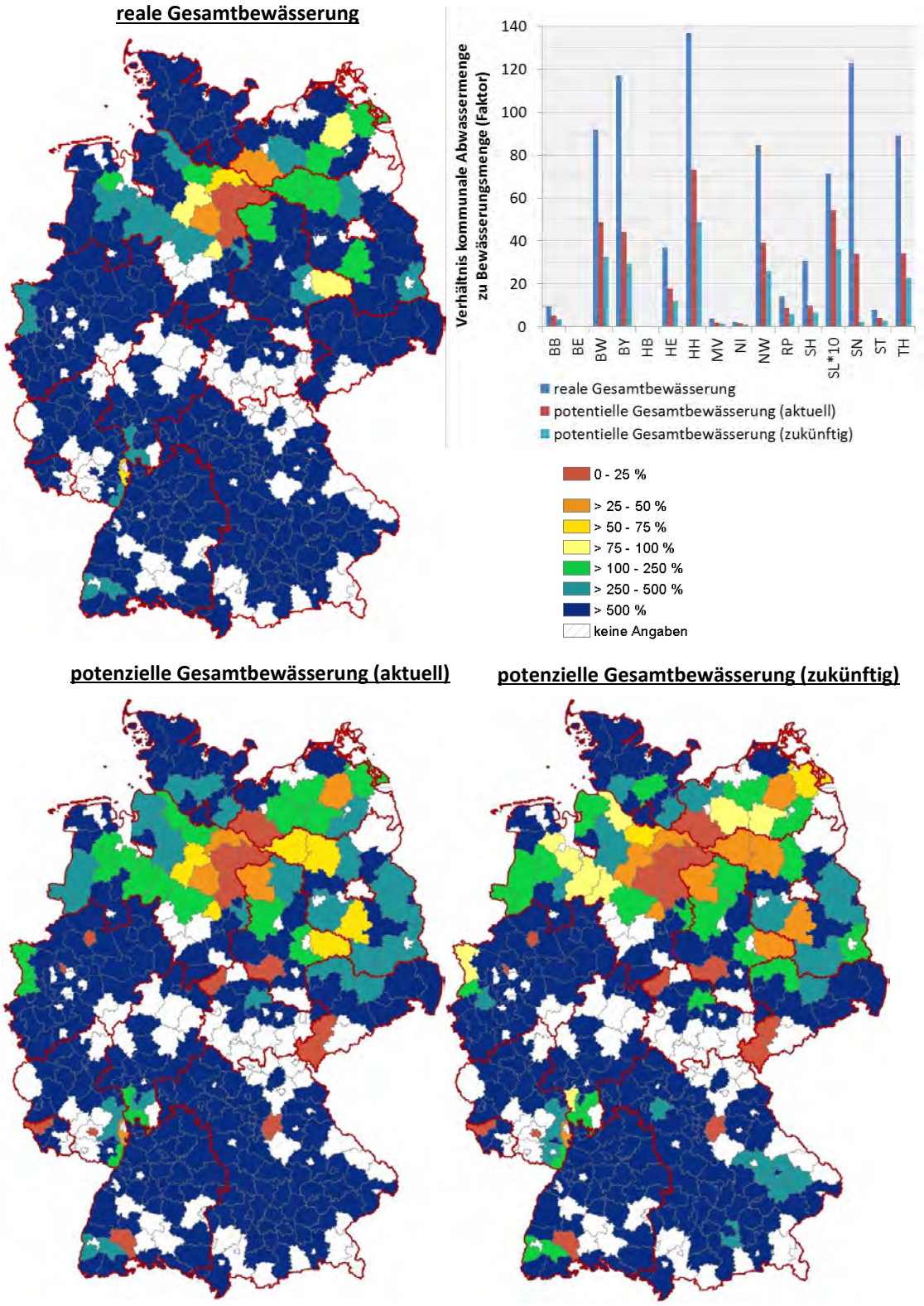
Abbildung 15: Mengen an kommunalem Abwasser (Jahressumme 2010)



Datenquelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Das Verhältnis aus der kommunalen Abwassermenge und den Bewässerungsmengen der Szenarien gibt an, ob das Abwasser für eine landwirtschaftliche Bewässerung ausreichen würde. Es zeigt sich, dass das die Menge an kommunalem Abwasser in großen Teilen Deutschlands bei Weitem die Bewässerungsmenge übersteigt (Abbildung 16). Auf Bundeslandebene ist das Verhältnis Abwassermenge zu Bewässerungsmenge für alle Bundesländer und alle Szenarien größer als 100 %. Die höchsten Verhältnisse zeigen sich in Baden-Württemberg, Bayern, Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Sachsen und Thüringen mit mehr als der 70fachen kommunalen Abwassermenge verglichen mit der Bewässerungsmenge für das Szenario „reale Gesamtbewässerung“. Betrachtet man die Verhältnisse auf Landkreisebene ergibt sich ein etwas anderes Bild. Insbesondere in einigen Landkreisen im Nordosten Deutschlands ist ein Rückgang des Verhältnisses Abwasser zu Bewässerungsmenge zu erkennen, hervorgerufen durch die intensive Bewässerung in diesen Regionen. So sind in den Landkreisen der Lüneburger Heide (Niedersachsen) für das Szenario „reale Gesamtbewässerung“ Verhältnisse < 100 % erkennbar. Dies bedeutet, dass die Abwassermenge allein für die intensive Bewässerung in diesen Regionen nicht ausreichen würde. In den Szenarien der aktuellen und zukünftigen potenziellen Gesamtbewässerung reduzieren sich die Verhältnisse in diesen Regionen noch weiter bzw. weiten sich die Landkreise mit Verhältnissen < 100 % auf die umliegenden Landkreise aus, sodass hier teilweise Verhältnisse von 25 – 50 % und sogar < 25 % vorliegen. In dem Szenario der aktuellen und zukünftigen potenziellen Gesamtbewässerung würde das Abwasser in großen Teilen Niedersachsens sowie einigen Landkreisen in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt nicht für die landwirtschaftliche Bewässerung ausreichen.

Abbildung 16: Verhältnis aus kommunaler Abwassermenge und Bewässerungsmenge auf Landkreisebene

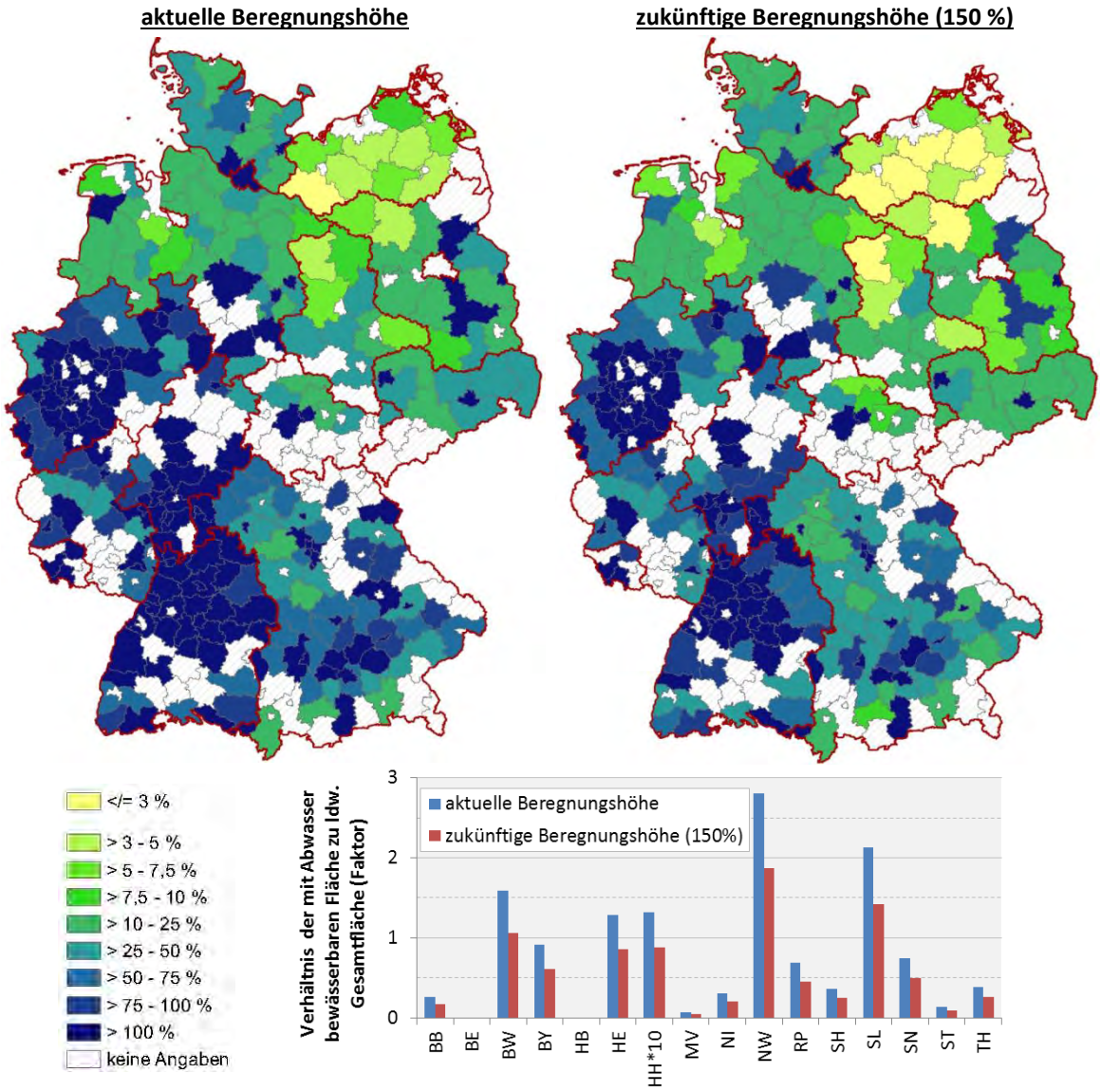


Szenarien: reale Gesamtbewässerung, aktuelle potenzielle Gesamtbewässerung, zukünftige potenzielle Gesamtbewässerung (150 %). Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Das Verhältnis aus der mit der verfügbaren Abwassermenge bewässerbaren Fläche zur landwirtschaftlichen Gesamtfläche zeigt eine deutliche Steigerung von Nordosten nach

Südwesten (Abbildung 17). Insbesondere in vielen Landkreisen von Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg sind für derzeitige und zukünftige Beregnungshöhen Verhältnisse > 100 % zu verzeichnen. Dies bedeutet, dass in diesen Regionen genügend gereinigtes Abwasser für die Bewässerung der landwirtschaftlichen Gesamtfläche vorhanden wäre. Auch auf Bundeslandebene zeigen Baden-Württemberg, Hessen, Nordrhein-Westfalen und das Saarland die größten Verhältnisse zwischen 86 % und 280 % der landwirtschaftlichen Gesamtfläche. Die geringsten Verhältnisse sind im Nordosten Deutschlands erkennbar, insbesondere in vielen Landkreisen von Mecklenburg-Vorpommern sowie Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Niedersachsen. In einem Großteil von Mecklenburg-Vorpommern betragen die Flächenverhältnisse bei zukünftiger Beregnungshöhe weniger als 3 % der landwirtschaftlichen Gesamtfläche. Dies bedeutet, dass in diesen Regionen nur ein Bruchteil der landwirtschaftlichen Flächen mit den vorhandenen Abwassermengen bewässert werden könnte.

Abbildung 17: Verhältnis aus der mit der verfügbaren Abwassermenge bewässerbaren Fläche zur landwirtschaftlichen Gesamtfläche für die aktuelle und zukünftige (150 %) Beregnungshöhe



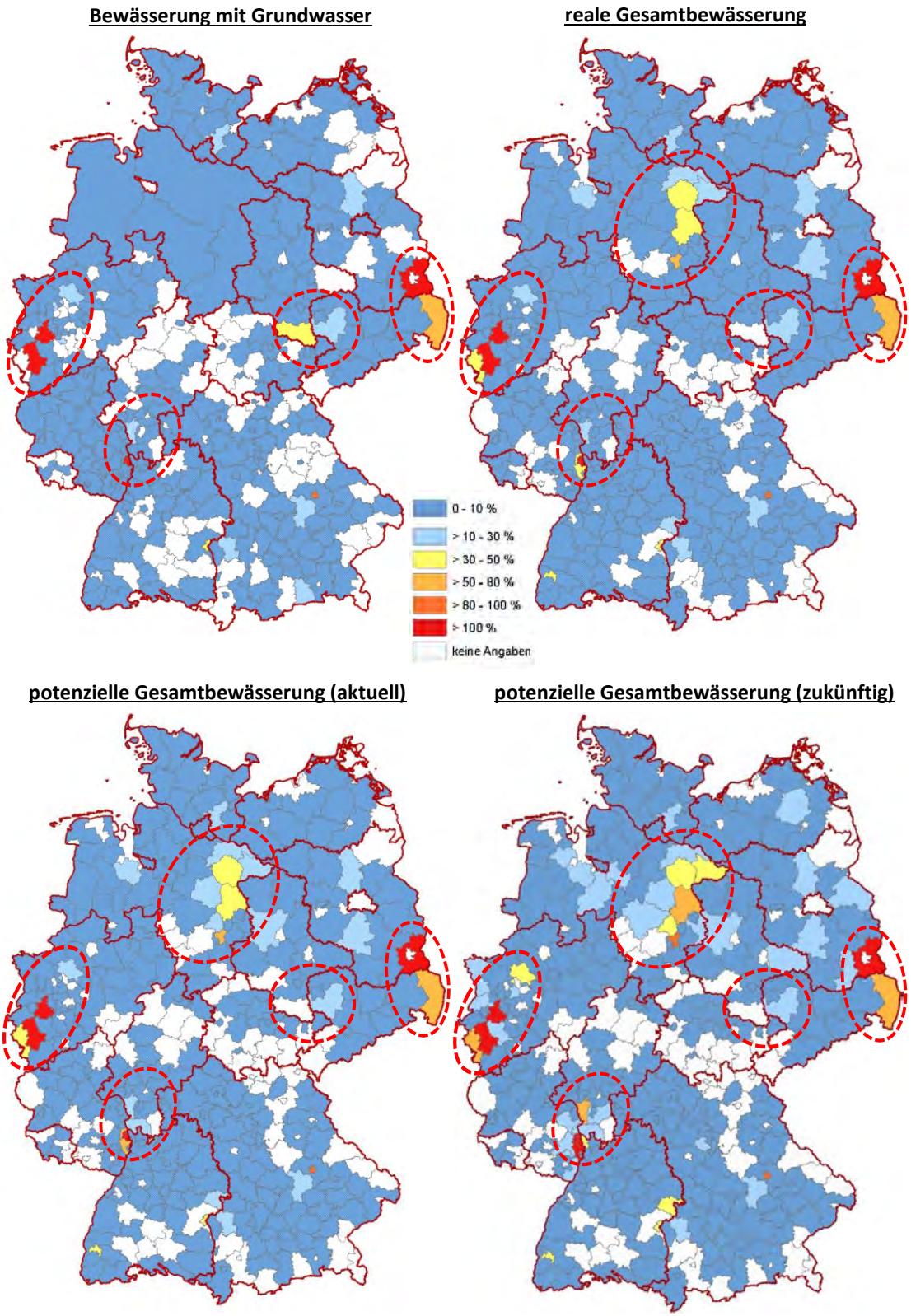
Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Das **Verhältnis aus Gesamtgrundwasserentnahme** (Summe aus dem szenarienabhängigen Bewässerungsbedarf und den sonstigen öffentlichen sowie nicht öffentlichen Grundwasserentnahmen) **und Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung der anfallenden Mengen an kommunalem Abwasser** wurde berechnet, um zu untersuchen, in wieweit der Grundwasserkörper durch Substitution des grundwasserbürtigen Bewässerungswassers mit Abwasser mengenmäßig entlastet werden könnte.

Abbildung 18 zeigt, dass bei zusätzlicher Verwendung des gesamten kommunalen Abwassers die mengenmäßige Belastung des Grundwassers in einigen Landkreisen stark reduziert werden kann. So könnten die Anteile für die meisten Landkreise im Rheinischen Braunkohlerevier und im Oberrheinischen Tiefland, ebenso die Landkreise Hannover (Niedersachsen), Leipzig (Sachsen), Saarbrücken und Saarlouis (Saarland) sowie die Großstädte Hamburg und Berlin auf < 30 % gesenkt werden. Somit würde für die vier Bewässerungsszenarien ein guter mengenmäßiger Zustand erreicht werden. Für das Lausitzer Braunkohlerevier (Brandenburg, Sachsen), für die Landkreise Düren und Rhein-Kreis Neuss im Rheinischen Braunkohlerevier mit dem angrenzenden Landkreis Aachen (Nordrhein-Westfalen) sowie für die Landkreise Burgenlandkreis (Sachsen-Anhalt), Uelzen und Gifhorn (Niedersachsen) könnten die Anteile nicht auf < 30 % reduziert werden. Somit würden die Grundwasserkörper durch Zusatzbewässerung mit gereinigtem Abwasser zwar mengenmäßig entlastet werden, jedoch nicht in dem Maße, dass ein guter mengenmäßiger Zustand erreicht werden könnte.

Es ist jedoch zu bedenken, dass in den Regionen mit einem schlechten mengenmäßigen Grundwasserzustand dieser zumeist nicht durch Grundwasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung hervorgerufen wird, sondern v.a. durch den Kohle- und Salzbergbau. Bei Betrachtung zukünftiger Klimaentwicklungen und damit verbundener erhöhter potenzieller Bewässerungsmengen in Regionen, in denen derzeit sehr große Grundwassermengen für die landwirtschaftliche Bewässerung entnommen werden (z.B. Lüneburger Heide, Landkreise Uelzen und Gifhorn), kann die Substitution des Bewässerungswassers mit kommunalem Abwasser einen wichtigen Beitrag zur mengenmäßigen Entlastung des Grundwasserkörpers leisten.

Abbildung 18: Verhältnis aus szenarienabhängiger Gesamtgrundwasserentnahme und Grundwasserneubildung bei zusätzlicher Verwendung des gesamten kommunalen Abwassers



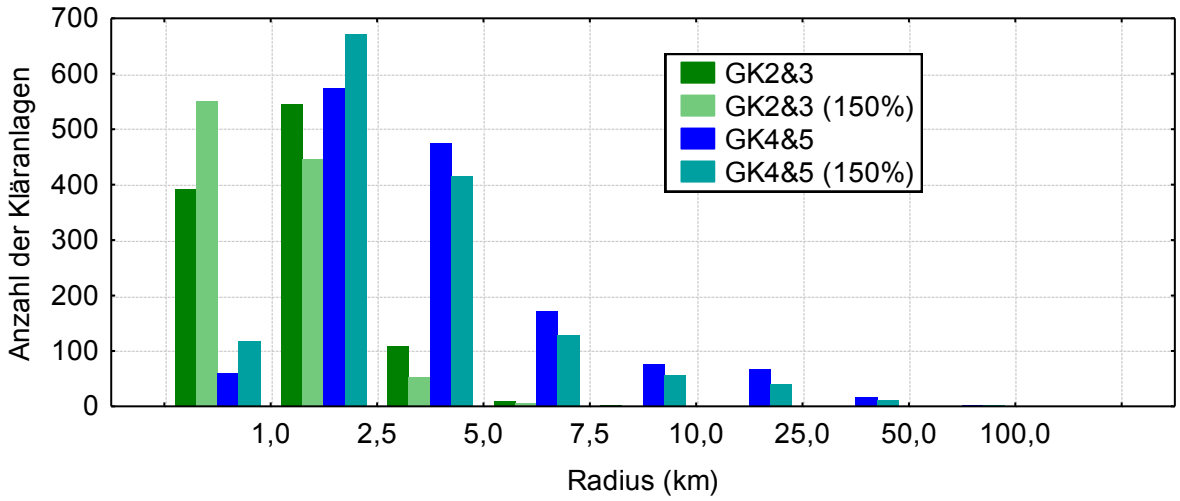
Die Regionen mit erhöhten Anteilen aus Abbildung 13 sind markiert. Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen

In Deutschland entstammt ca. 91 % der kommunalen Abwassermenge aus den Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5; die restlichen 11 % aus den Kläranlagen der Größenklassen 2 und 3. Die großen Kläranlagen (GK 4 und 5) sind eher in urbanen Regionen und die kleinen Anlagen (GK 2 und 3) in ländlichen Regionen zu finden. Hieraus ergibt sich die Diskrepanz, dass in den ländlichen Regionen mit höherem Bewässerungsbedarf weniger Abwasser für eine potenzielle landwirtschaftliche Bewässerung zur Verfügung steht als in den städtischen Regionen, in denen viel Abwasser anfällt. Demzufolge muss das Abwasser über weite Strecken transportiert werden, um die Bewässerungsflächen zu erreichen.

Zur Abschätzung möglicher Unterschiede zwischen ländlichen und urbanen Regionen wurden eine Analyse der Ackerfläche um die Kläranlagen, die unter aktuellen bzw. zukünftigen Bewässerungsbedingungen mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbar sind, für die großen Kläranlagen (GK 4 und 5) und die kleinen Kläranlagen (GK 2 und 3) separat durchgeführt. Die Häufigkeitsverteilung in Bezug auf den Radius der bewässerbaren Ackerfläche ergab für die Kläranlagen GK 4 und 5 Maxima bei einem Radius 1,0 – 2,5 km und 2,5 – 5,0 km (Abbildung 19). Für die Kläranlagen GK 2 und 3 zeigten sich die Maxima bei einem Radius von < 1,0 km und 1,0 – 2,5 km. Der maximale bewässerbare Radius der Kläranlagen GK 4 und 5 reicht bis zu 100 km, wogegen der Maximalradius für die Kläranlagen GK 2 und 3 nur bis 7,5 – 10 km reicht. Es zeigt sich also eindeutig eine geringe Verschiebung der Häufigkeitsverteilung hinsichtlich größerer Radien bei den Kläranlagen GK 4 und 5. Allerdings sind sowohl für die kleinen als auch für die großen Kläranlagen bewässerbare Ackerflächen in der unmittelbaren Umgebung der Kläranlage vorhanden, sodass die Transportkosten des Abwassers bis zur Bewässerungsfläche relativ gering ausfallen könnten, sofern Flächen mit Bewässerungsbedarf unmittelbar in der Nähe der Kläranlagen liegen.

Abbildung 19: Anzahl der Kläranlagen, gruppiert nach Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen (Größenklassen 2 und 3, Größenklassen 4 und 5) für die aktuelle und zukünftige (150 %) Beregnungshöhe



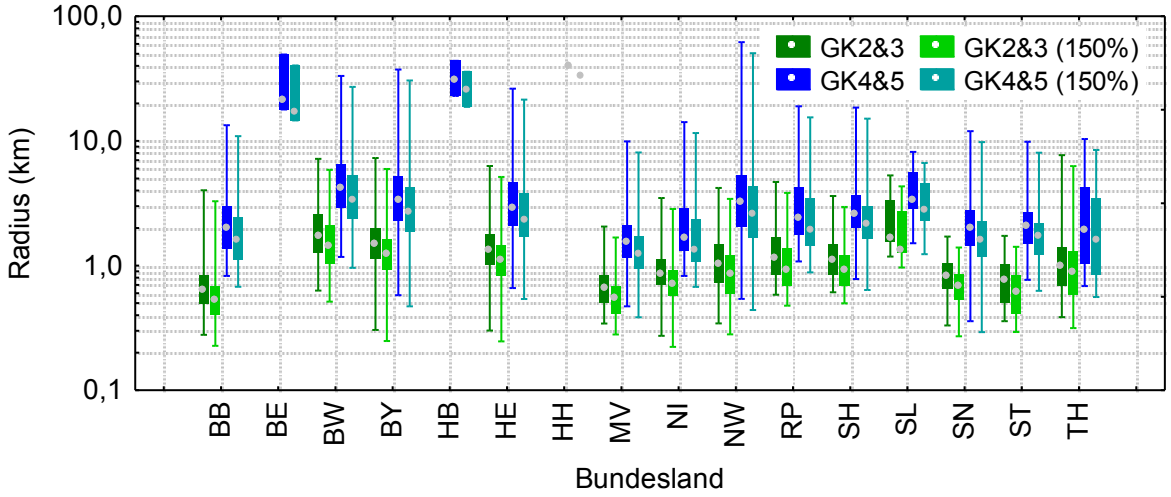
Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten des Umweltbundesamtes, der Landesumweltbehörden und der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die Radien um eine Kläranlage, innerhalb der Ackerflächen mit den vorhandenen Abwassermengen bewässert werden könnten. Abbildung

20 zeigt die Radien für die einzelnen Bundesländer, wogegen in Abbildung 21 und Abbildung 22 die Radien konkret für jede einzelne Kläranlage dargestellt sind.

Aus Abbildung 20 wird deutlich, dass insbesondere in den Ballungszentren Berlin, Hamburg, Bremen und im Ruhrgebiet bei Verwendung des gesamten Abwassers zur Bewässerung dieses über sehr weite Strecken transportiert werden muss, einerseits aufgrund der hohen aufkommenden Abwassermengen der Kläranlagen GK 4 und 5 und andererseits aufgrund eines geringeren Anteils an Ackerflächen in den urbanen Ballungsgebieten. Die größten Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerflächen wurden für die großen Kläranlagen im Ruhrgebiet (Bottrop und Emscherkläranlage) mit 62 km bzw. 56 km ermittelt, gefolgt von der Berliner Kläranlage Ruhleben (49 km). Ebenso wie in Abbildung 19 zeigt sich auch in Abbildung 20, dass die mittleren Bewässerungsradien für die Kläranlagen GK 2 und 3 mit 0,5 – 2 km erwartungsgemäß geringer sind als die für die Kläranlagen GK 4 und 5. Für die Kläranlagen GK 2 und 3 zeigen sich die höchsten mittleren Bewässerungsradien in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und im Saarland. Die größten Schwankungsbreiten hinsichtlich der mittleren Bewässerungsradien waren für die Kläranlagen GK 2 und 3 in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Thüringen zu finden, wogegen die Schwankungsbreiten für die Kläranlagen GK 4 und 5 in Baden-Württemberg, Bayern und insbesondere in Nordrhein-Westfalen am größten waren. Dies wird auch bei Betrachtung der Bewässerungsradien für die einzelnen konkreten Kläranlagen bestätigt (Abbildung 21 und Abbildung 22).

Abbildung 20: Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen (Größenklassen 2 und 3, Größenklassen 4 und 5) für die aktuelle und zukünftige (150 %) Beregnungshöhe in Abhängigkeit vom Bundesland



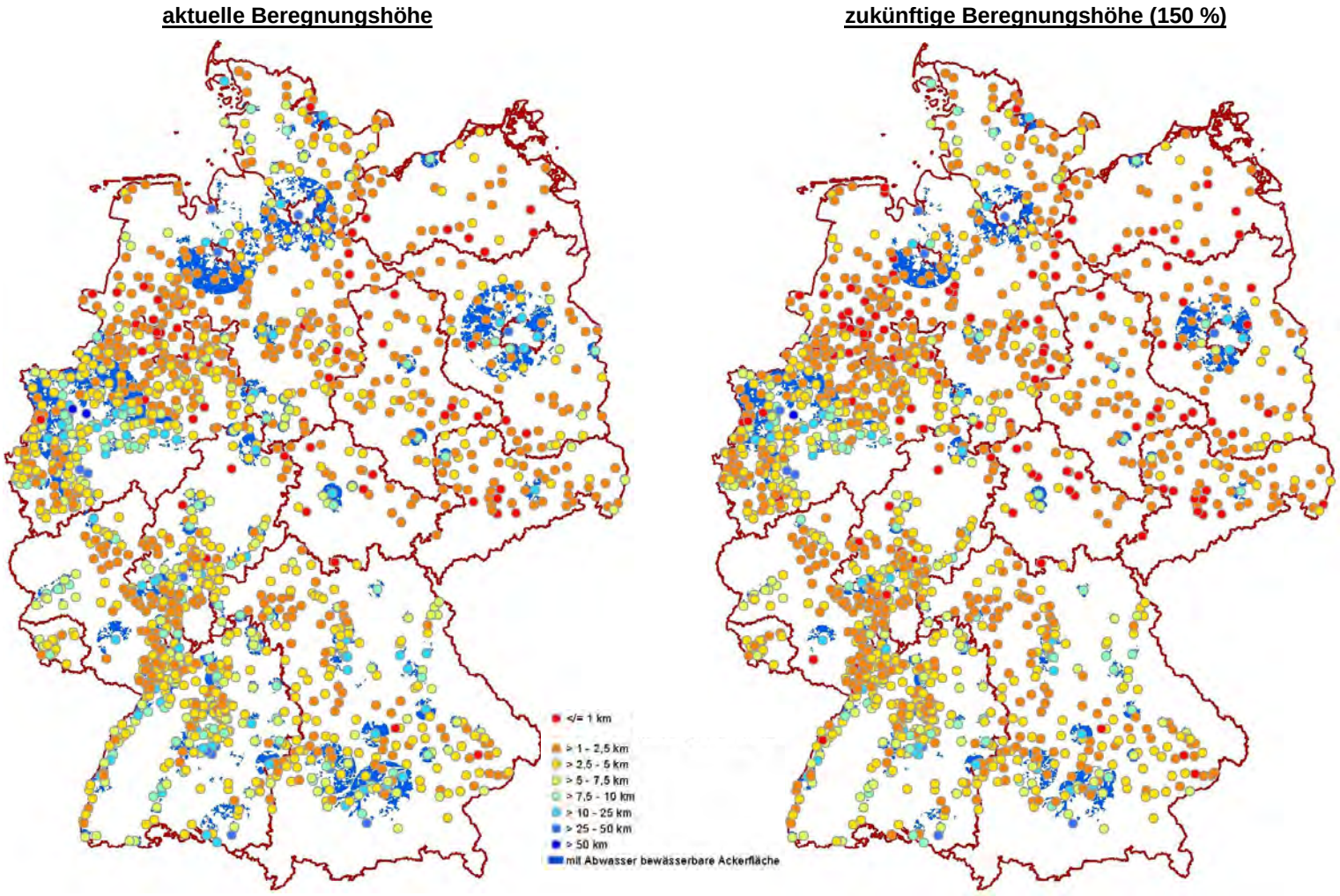
Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten des Umweltbundesamtes, der Landesumweltbehörden und der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Die Bewässerungsradien um die Kläranlagen GK 4 und 5 in Abbildung 21 zeigen eine deutliche Verringerung von Süden nach Norden/Nordosten mit geringen Werten in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Sachsen sowie im Westen Niedersachsens, insbesondere für das zukünftige Bewässerungsszenario. Größtenteils liegen die Bewässerungsradien hier im Bereich 1 - 2,5 km bzw. sogar teilweise < 1 km. Dies wird durch erhöhte Bewässerungsmengen bzw. geringere Abwassermengen in diesen Regionen hervorgerufen. Aus Abbildung 20 ist ersichtlich, dass durch die große Anzahl an Kläranlagen GK 4 und 5 in den Ballungszentren Nordrhein-Westfalens eine große Schwankungsbreite an Bewässerungsradien vorhanden ist. Es zeigt sich jedoch, dass hier viele Kläranlagen einen

relativ großen Bewässerungsradius von 10 - 25 km erreichen. Auch viele größere Kläranlagen in der Nähe von Großstädten erreichen einen Bewässerungsradius von 10 – 25 km. Durch die Erhöhung der Beregnungshöhe im zukünftigen Bewässerungsszenario verringern sich die Radien geringfügig.

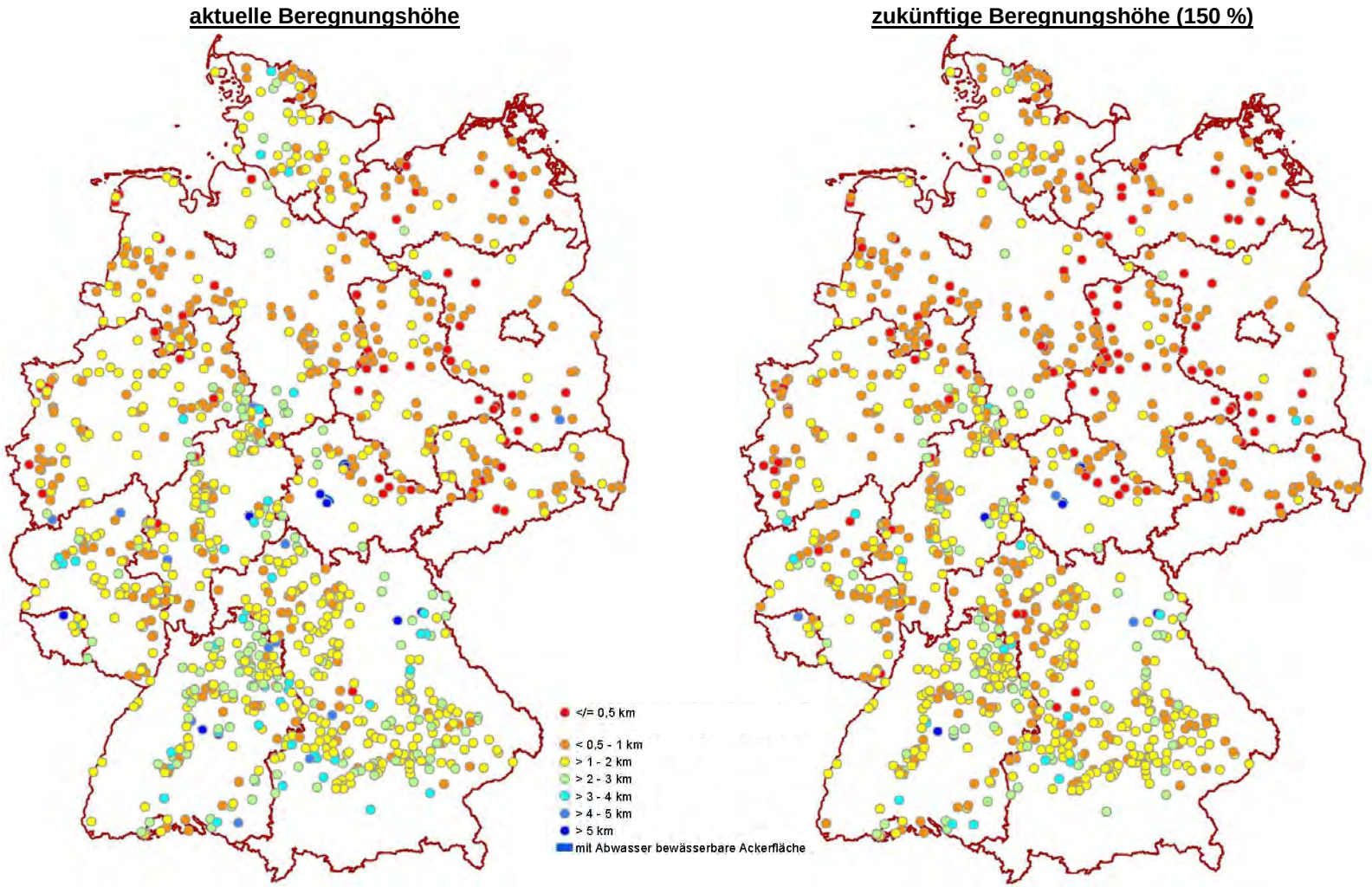
Ebenso wie für die Kläranlagen GK 4 und 5 weisen die Bewässerungsradien um die Kläranlagen GK 2 und 3 ein Gefälle von Süden nach Norden/Nordosten auf (Abbildung 22). Die geringsten Radien mit mehrheitlich < 1km und häufig sogar < 0,5 km in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Niedersachsen zu finden. In Thüringen, Bayern und Baden-Württemberg gibt es vereinzelte Kläranlagen GK 2 und 3 mit Bewässerungsradien > 5 km. Am häufigsten sind in den südwestlichen Bundesländern jedoch Bewässerungsradien 1 – 2 km, häufig auch 2 -3 km erkennbar. Insbesondere in Baden-Württemberg und Bayern gibt es relativ viele Kläranlagen GK 2 und 3. Durch die relativ große Anzahl und die kleinen Bewässerungsradien können die Bedeutung von Kläranlagen GK 2 und 3 in den ländlichen Regionen für die lokale Bewässerung kleiner Landwirtschaftsflächen zunehmen.

Abbildung 21: Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen Größenklasse 4 und 5 bei aktueller und zukünftiger Beregnungshöhe



Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten des Umweltbundesamtes, der Landesumweltbehörden und der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Abbildung 22: Radien der mit der vorhandenen Abwassermenge bewässerbaren Ackerfläche um die Kläranlagen Größenklasse 2 und 3 bei aktueller und zukünftiger Beregnungshöhe

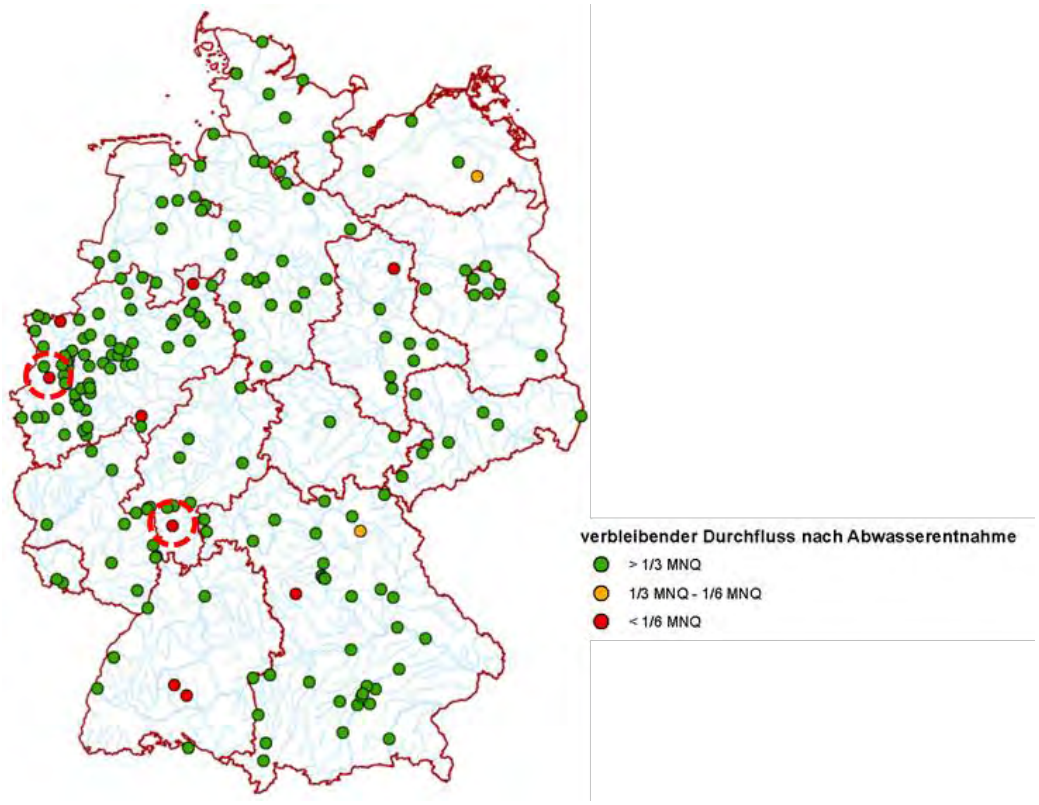


Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten des Umweltbundesamtes, der Landesumweltbehörden und der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2014.

Auswirkungen auf den Mindestwasserabfluss der Einleitgewässer

Mögliche Auswirkungen einer vollständigen Abwasserentnahme für die landwirtschaftliche Bewässerung auf den Mindestwasserabfluss der Einleitgewässer zeigten sich darin, dass von allen 230 Kläranlagen der Größenklasse 5 (> 100 000 EW) insgesamt 10 Einleitgewässer den Orientierungswert von 1/3 MNQ unterschreiten würden (Abbildung 23). Allerdings liegen 8 der 10 Kläranlagen in Regionen, in denen ausgehend von den hier beschriebenen Bilanzierungen keine Zusatzbewässerung mit kommunalem Abwasser benötigt werden würde. Zwei Kläranlagen, eine in Nordrhein-Westfalen sowie eine in Hessen, liegen in Regionen, in denen eine landwirtschaftliche Zusatzbewässerung mit Abwasser hinsichtlich der mengenmäßigen Grundwasserbeanspruchung in Betracht gezogen werden könnte. Generell wäre hier eine genauere Analyse der jeweils gegebenen lokalen Situation nötig, um sowohl den Anforderungen des guten mengenmäßigen Grundwasserzustands als auch des Mindestwasserabflusses der Oberflächengewässer gerecht zu werden. Da sowohl die Kriterien für den mengenmäßigen Grundwasserzustand als auch für den Mindestwasserabfluss noch einer einheitlichen bundesweiten Regelung bedürfen, kann diese Analyse nur als ein erstes Screening für die Kläranlagen der Größenklasse 5 betrachtet werden und somit nur erste Tendenzen aufzeigen.

Abbildung 23: Kläranlagen der Größenklasse 5 (> 100 000 EW) mit Bewertung des verbleibenden Durchflusses der Einleitgewässer bei fehlender Abwassereinleitung durch Verwendung des Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung



MNQ – mittlerer Niedrigwasserabfluss. Die Kläranlagen in Regionen mit Zusatzwasserbedarf sind markiert.
Datenquelle: Eigene Berechnungen nach Daten des Umweltbundesamtes, der Landesumweltbehörden und der Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbücher.

2.4 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

Aus den Analysen lässt sich schlussfolgern, dass in einigen Regionen Deutschlands ein gewisser landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf besteht, welcher jedoch in den meisten Fällen aus den vorhandenen Wasserressourcen (v.a. Grund- und Oberflächenwasser) gedeckt werden kann. Einige Landkreise in der Lüneburger Heide und im Oberrheinischen Tiefland würden von einer Zusatzbewässerung aus gereinigtem Abwasser profitieren, sodass der mengenmäßige Grundwasserzustand in diesen Regionen trotz potenziell hoher Entnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung gestützt bzw. verbessert werden könnte.

Hinsichtlich der mengenmäßigen Beeinflussung von Oberflächengewässern, in die Abwasser eingeleitet wird, zeigt ein erstes Screening für die Kläranlagen GK 5, dass bei vollständiger Entnahme des einzuleitenden Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung nur in vereinzelten großen Kläranlagen die Gefahr einer dramatischen Verringerung der Mindestwasserabflüsse besteht. Für die kleineren Kläranlagen (GK 2 - 4), welche meist auch in kleinere Fließgewässer einleiten, könnte die fehlende Abwassereinleitung jedoch einen negativen Einfluss auf den Mindestwasserabfluss der Einleitgewässer haben. Dieses muss im Einzelfall geprüft werden.

Entscheidend für die ökonomische Effizienz bei der Anwendung des behandelten Abwassers sind die Transportkosten zwischen dem Klärwerk und den zu bewässernden Flächen. Beim Vergleich zwischen kleinen Kläranlagen (ländliche Region) und großen Kläranlagen (urbane Region) zeigte sich, dass für die Kläranlagen aller Größenklassen Ackerflächen in der unmittelbaren Umgebung der Kläranlage vorhanden sind. Somit könnten die Transportkosten des Abwassers bis zur Bewässerungsfläche relativ gering ausfallen. Die Analyse der potenziellen Bewässerungsradien um die Kläranlagen zeigte, dass die meisten Kläranlagen GK 2 und 3 Ackerflächen mit Radien < 1 - 2,5 km mit der vorhandenen Abwassermenge bewässern könnten, wogegen das Verteilungsmaximum für GK 4 und 5 bei Radien von 1 - 5 km lag. Um das Abwasser der großen Kläranlagen GK 4 und 5 in Ballungsgebieten zu großen Teilen für die Bewässerung verwenden zu können, müsste es allerdings aufgrund der hohen Abwassermengen und des geringen Ackerflächenanteils teilweise über sehr weite Strecken transportiert werden (z.B. Kläranlage Bottrop bis zu einem Radius von 62 km).

Es ist zu beachten, dass die hier dargestellten Bilanzierungen aufgrund der geringen Datenlage nur Jahresmittelwerte ohne saisonale Schwankungen darstellen. Außerdem existieren keine bundesweit einheitlichen Kriterien für die Beurteilung des mengenmäßigen Grundwasserzustandes und des Mindestwassersabflusses von Oberflächengewässern. Dadurch lassen sich die Auswirkungen von verringerten Grundwasserentnahmen bzw. verringerten Abwassereinleitungen in die Gewässer, hervorgerufen durch die Verwendung von behandeltem Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung, nicht einheitlich beurteilen. Weiterhin zeigen die den Bilanzen zugrunde liegenden Grundwasserneubildungsraten aus dem Hydrologischen Atlas Deutschlands relativ große Unterschiede mit zumeist niedrigeren Werten im Vergleich zu kleinräumigen, lokalen Studien, insbesondere im Nordosten Deutschlands. Um dieser Diskrepanz entgegenzuwirken, wäre es sinnvoll, das im Hydrologischen Atlas verwendete Modell zur Bestimmung der mittleren Grundwasserneubildung erneut zu kalibrieren und zu optimieren. Hierfür müssten zusätzlich zu den Gebietsmittelwerten der 106 Einzugsgebiete, die für den Hydrologischen Atlas verwendet wurden, weitere Einzugsgebiete, insbesondere im abflussarmen Nordosten Deutschlands, mit in die Betrachtung einfließen. Außerdem sollten bundesweit einheitliche mengenmäßige Bewertungskriterien für Grund- und Oberflächenwasser geschaffen werden.

Klimatische und saisonale Einflüsse können zu temporären lokalen Wassermangelsituationen führen, die durch Zusatzbewässerung mit behandeltem Abwasser ausgeglichen werden könnten. In diversen regionalen und überregionalen Studien wurden neben der Bewässerung mit behandeltem Abwasser andere Maßnahmen aufgezeigt, die Effizienz der Wassernutzung zu erhöhen (z.B. AQUARIUS – Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2012, NoRegret - Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2008, KLIMZUG-NORD – Urban *et al.*, 2014). Hier werden sowohl technische Maßnahmen (z.B. Optimierung der Beregnungstechnik und –steuerung) als auch pflanzenbauliche Maßnahmen (z.B. Arten- und Sortenwahl, Vermeidung von Verdichtungen durch Optimierung der Bodenbearbeitung) beschrieben. Weitere Maßnahmen sind die Erhöhung der Grundwasserneubildung durch Waldumbau sowie die Substitution von Grundwasser durch Oberflächenwasser (z.B. Elbe-Seiten-Kanal für die Region Uelzen) und die Nutzung von Produktionsabwasser sowie die Speicherung von Hochwasser oder Niederschlagswasser für Beregnungszwecke. Um die richtige Maßnahme zur Effizienzsteigerung der Wassernutzung zu wählen bzw. zu entscheiden, ob eine Bewässerung mit gereinigtem Abwasser in Frage kommt, sollte zuvor eine fallbezogene detaillierte Auswertung der Grundwasserneubildung im jeweiligen Einzugsgebiet erfolgen. Außerdem sollte eine Bestandsaufnahme der Wasserrechte mit den tatsächlichen Entnahmen und Infiltrationen unter Einbeziehung weiterer standortspezifischer Randbedingungen durchgeführt werden.

3 Rechtlicher und regulatorischer Rahmen in Deutschland

Die Genehmigung der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung erfordert die Berücksichtigung einer Reihe von Schutzgütern, Wirk- und Expositionspfaden. Hierzu zählen im Besonderen der Boden, das Grundwasser, die Pflanze und der Mensch sowie die verschiedenen Transferpfade zwischen diesen Schutzgütern (siehe Abbildung 1).

Den betroffenen Schutzgütern entsprechend, berührt die Thematik die Rechtsbereiche des Umweltschutzes (hier insbesondere die wasserrechtlichen Vorschriften), des Verbraucher- und Gesundheitsschutzes sowie der Produkthaftung.

Zum Schutz der verschiedenen Umweltkompartimente und landwirtschaftlichen Produkte sind in Deutschland eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen in Kraft, die bei der Bewertung der Beregnung mit behandeltem Abwasser zum Tragen kommen können und zu berücksichtigen sind (Abbildung 24). Diese Gesetze und Verordnungen sowie Empfehlungen arbeiten sowohl mit

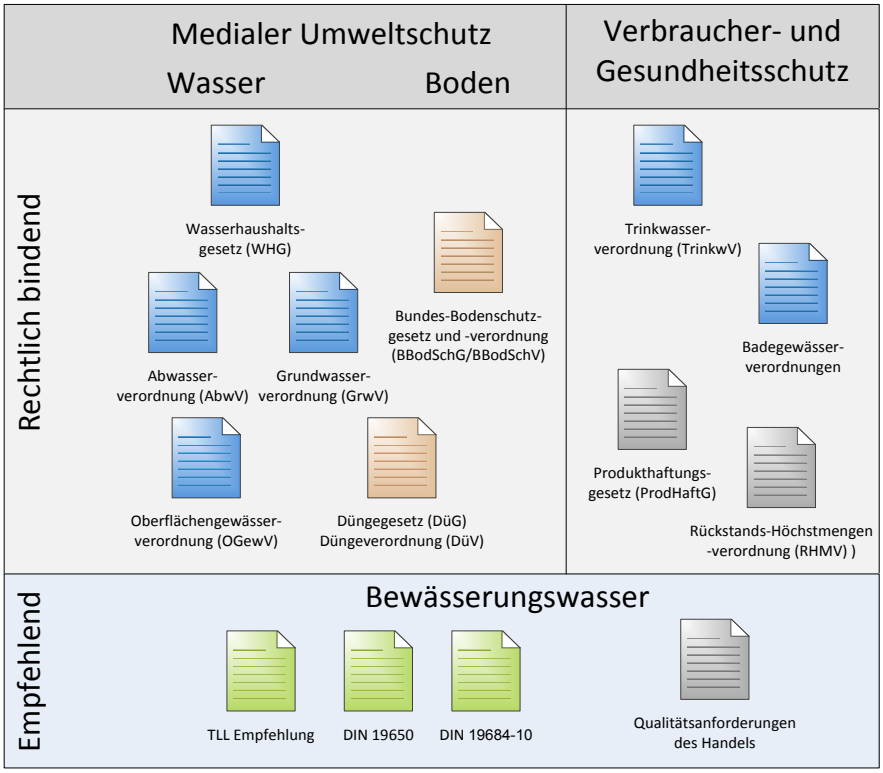
- rechtlich bindenden Mindestanforderung an die Wasserbeschaffenheit,
- der Begrenzung der Höchstmengen für die Aufbringung oder die Einleitung bzw. Einbringung bestimmter Stoffe,
- Empfehlungen für die Bewertung von Einträgen oder Konzentrationen (Geringfügigkeitsschwellenwerte - GFS, gesundheitliche Orientierungswerte - GOW).

Die Grenzwerte bestehender Gesetze und Verordnungen definieren zum einen das jeweilige Schutzniveau für ein Schutzgut und sind einzuhalten und zu berücksichtigen, sofern zu besorgen ist, dass die Beregnung mit behandeltem Abwasser sich negativ auf das Schutzgut auswirkt. Zum anderen bieten sie Anhaltspunkte für die Ableitung von spezifischen Wasserqualitätsanforderungen an das Beregnungswasser oder die erzeugten Produkte.

Darüber hinaus existieren diverse Regelwerke in Form von Leitlinien und Empfehlungen, die speziell auf die Bewässerung zugeschnitten sind. Die darin festgelegten Wasserqualitätsanforderungen sollen eine für Mensch und Umwelt bedenkenlose Beregnung ermöglichen. Sie besitzen jedoch keine rechtlich bindende Wirkung.

Im Nachfolgenden werden die erwähnten Gesetze, Verordnungen und weiteren Regelwerke kurz vorgestellt und in Bezug zur Beregnung mit behandeltem Abwasser gesetzt.

Abbildung 24: Übersicht der relevanten Vorschriften, die in Deutschland im Zusammenhang mit der Nutzung von behandeltem Abwasser potenziell zu berücksichtigen sind



3.1 Mediales Umweltrecht

3.1.1 Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)[3]

Relevante rechtliche Grundlagen für das Ausbringen von behandeltem Abwasser sind zunächst die Vorschriften zum Grundwasserschutz im Wasserhaushaltsgesetz (WHG). § 47 WHG gibt die Bewirtschaftungsziele Verschlechterungsverbot, Trendumkehrgebot bei signifikant und anhaltend ansteigenden Schadstofftrends sowie Zielerreichungsgebot hinsichtlich eines guten mengenmäßigen und chemischen Zustands für das Grundwasser vor. Nach § 48 WHG darf eine wasserrechtliche Erlaubnis für das Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser nur erteilt werden, wenn davon keine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit zu besorgen ist.

Eine Konkretisierung der Anforderungen an den guten chemischen Zustand erfolgt durch die Grundwasserverordnung (GrwV).

3.1.2 Grundwasserverordnung (GrwV)[4]

Die Grundwasserverordnung regelt in Umsetzung der Richtlinie 2000/60/EG[5] (Wasserrahmenrichtlinie) sowie der Richtlinie 2006/118/EG[6] (Grundwasserrichtlinie) die

[3] Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 9 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

[4] Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513).

Prinzipien und Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers und zur Erreichung des guten chemischen Zustands. Dafür legt Anlage 2 GrwV sogenannte Schwellenwerte fest, bei deren Überschreitung der chemische Zustand eines Grundwasserkörpers als schlecht einzustufen ist (vgl. § 7 GrwV). Somit ist sicherzustellen, dass die in Anlage 2 GrwV genannten Schwellenwerte für Nitrat, Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln und Bioziden, Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Ammonium, Chlorid, Sulfat und Tri-/Tetrachlorethen durch das Aufbringen des Abwassers im jeweils betroffenen gesamten Grundwasserkörper nicht überschritten werden.

Darüber hinaus verbietet § 13 Absatz 1 GrwV mittelbar – über die Anforderung, die Umsetzung der im WHG zum Erreichen des guten Gewässerzustands vorgesehenen Maßnahmenprogramme entsprechend auszugestalten – den Eintrag bestimmter besonders gefährlicher Stoffe, die in Anlage 7 GrwV aufgeführt sind. Dabei handelt es sich z.B. um organohalogene Verbindungen, organische Phosphor- und Zinnverbindungen, Stoffe mit karzinogenen oder mutagenen Eigenschaften oder endrokriner Wirkung, persistente Kohlenwasserstoffe, Zyanide und bestimmte Metalle. Ausnahmen davon sind nur zulässig, wenn diese Schadstoffe in so geringer Menge und Konzentration in das Grundwasser eingetragen werden, dass eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit ausgeschlossen ist. Zudem ist der Eintrag einer ganzen Reihe weiterer Stoffe ins Grundwasser im Rahmen der Maßnahmenprogramme zu begrenzen (§ 13 Absatz 2 GrwV in Verbindung mit Anlage 8 GrwV).

Konkrete Zielwerte oder eine Definition der im Sinne von § 13 Absatz 1 Satz 3 tolerablen „geringen Menge und Konzentration“ werden in der Verordnung nicht vorgegeben. Da in Anlage 7 keine Einzelsubstanzen genannt werden, sollte sich die Bewertung vorwiegend auf gebietsspezifische Schadstoffe stützen.

Die in den Anlagen 2 und 7 GrwV genannten Stoffe und Stoffgruppen stammen vorwiegend aus diffusen Quellen (z.B. Pestizide und Nitrat aus der Landwirtschaft) sowie aus Altlasten, die das Grundwasser verunreinigen können. Dennoch ist zu beachten, dass nach dem bereits angeführten Grundsatz des § 48 Absatz 1 WHG „eine Erlaubnis für das Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser [...] nur erteilt werden [darf], wenn eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist“. Somit ist auch der mögliche Eintrag von abwasserspezifischen, nicht in Anlage 2 und 7 der GrwV aufgeführten Substanzen, wie z.B. Arzneistoffen, in der Diskussion um die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser im Hinblick auf damit einhergehende nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit zu berücksichtigen.

In der Praxis werden zur Konkretisierung des WHG-spezifischen Besorgnisgrundsatzes (vgl. § 48 WHG), der ein im Rechtssinne vergleichsweise strenges Gebot der Vermeidung drohender Gefahren für das Schutzgut Wasser beinhaltet, oft die von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) entwickelten sogenannten

---

[5] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1), zuletzt geändert durch die Richtlinie 2009/31/EG (ABl. L 140 vom 5.6.2009, S. 114).

[6] Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (ABl. L 372 vom 27.12.2006, S. 19, L 53 vom 22.2.2007, S. 30, L 139 vom 31.5.2007, S. 39).

Geringfügigkeitsschwellenwerte[7] herangezogen, da es im Moment effektiv kein anderes Bewertungssystem gibt. Eine Verrechtlichung dieser Werte wird derzeit diskutiert und war bereits in einem Arbeitsentwurf des Bundesumweltministeriums vom 31. Oktober 2012 zur sogenannten Mantelverordnung enthalten. „Flächenhafte Einträge“ aus der Landwirtschaft werden bislang formal aus dem Anwendungsbereich des Geringfügigkeitsschwellen-Konzepts der LAWA ausgeschlossen. Da die Ausbringung von behandeltem Abwasser durch den Grundstücksbezug jedoch als „punktueller Eintrag“ gewertet werden kann und in der genehmigungsrechtlichen Praxis von der Anwendung der Geringfügigkeitsschwellenwerte auszugehen ist, ist die Verwendung der Geringfügigkeitsschwellenwerte als Bewertungsgrundlage für die Nutzung von behandeltem Abwasser angemessen und sinnvoll.

3.1.3 Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV)[8]

Die Verordnung dient dem Schutz der Oberflächengewässer und dem Erreichen des guten ökologischen und chemischen Zustands gemäß § 27 WHG. Ein zentraler Punkt ist die Einstufung des ökologischen Zustands und des ökologischen Potenzials sowie des chemischen Zustands eines Oberflächengewässers anhand von Schadstoffen, für die in den Anlagen 5 und 7 entsprechende Umweltqualitätsnormen festgelegt sind.

Das Verschlechterungsverbot für Oberflächenwasserkörper, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, wird in § 7 OGewV besonders hervorgehoben.

Auch wenn die OGewV nicht unmittelbar genehmigungsrelevant für die Beregnung mit behandeltem Abwasser ist, so liefert sie doch eine umfangreiche Liste von Stoffen, die in Oberflächengewässern zu begrenzen sind und zugleich zumindest teilweise Gegenstand von Einträgen durch Abwassereinleitungen sein können. Der mögliche Eintrag solcher Substanzen über den Pfad Bewässerung - Boden - Grundwasser sollte daher abgeschätzt und bei einer etwaigen Begrenzung dieser Stoffe im Beregnungswasser berücksichtigt werden.

3.1.4 Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV)[9]

Die Verordnung legt u.a. „die Mindestanforderungen für das Einleiten von Abwasser in Gewässer aus den in den Anhängen bestimmten Herkunftsbereichen sowie Anforderungen an die Errichtung, den Betrieb und die Benutzung von Abwasseranlagen“ fest (§ 1 Absatz 1 AbwV). In Anhang 1 sind die Mindestanforderungen an die Behandlung und die **Ablaufqualität für häusliches und kommunales Abwasser** definiert. Dabei werden für die Parameter chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB_5), Ammonium-Stickstoff, Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Phosphor zulässige Höchstwerte festgelegt, die sich je nach Ausbaugröße der Kläranlage unterscheiden (AbwV, Anhang 1 Buchstabe C Ziffer 1 (siehe Tabelle 42)). Anforderungen auf Einzelstoffbasis sowie bezüglich der hygienischen Beschaffenheit existieren derzeit nicht.

---

[7] LAWA (2004) Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

[8] Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429).

[9] Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. September 2014 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

Behandeltes Abwasser wird in Deutschland in der Regel in Oberflächengewässer eingeleitet. Entsprechend zielen die Einleitanforderungen auf den Schutz des Gewässers, d.h. seiner Biozönose sowie auf weitere Nutzungen der Unterlieger ab. Die Anforderungen an die Wasserqualität sind so festgeschrieben, dass die Gewässerchemie und –biologie langfristig geschützt sind, indem z.B. sauerstoffzehrende Stoffe, fischtoxische Stoffe (Ammonium) sowie Nährstoffe begrenzt werden.

Darüber hinaus werden in Deutschland durch die Regelungen des Abwasserabgabengesetzes[10](AbwAG) Anreize geschaffen, die Emissionen in Oberflächengewässer weiter zu senken. Weitere Anforderungen an die Wasserqualität können bei der Erteilung der notwendigen wasserrechtlichen Erlaubnis durch die dafür zuständige Behörde erlassen werden.

3.1.5 Düngeverordnung (DüV)[11]

Die Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) dient u.a. der Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Nitratrichtlinie) in deutsches Recht. Sie beschreibt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und zielt darauf ab, die stofflichen Risiken durch diese Anwendung zu vermindern (§ 1 DüV). Sie formuliert in § 3 Anforderungen bei der Anwendung von **wesentlichen** Nährstoffmengen. Als wesentliche Nährstoffmengen werden in § 2 Nummer 9 DüV 50 kg N_{ges}/(ha*a) und 30 kg P_2O_5/(ha*a), was 13 kg P/(ha*a)) entspricht, definiert. Vor der Aufbringung wesentlicher Nährstoffmengen sind Düngerbedarfsermittlungen durchzuführen, die gemäß § 3 Absatz 2 Nummer 4 auch die bewirtschaftungsbedingten Nährstoffmengen einschließlich der Beregnung einbeziehen müssen. Weiterhin gibt die DüV in § 6 Absatz 2 Höchstgrenzen für noch im Rahmen zeit- und bedarfsgerechter Düngung liegende Nährstoffüberschüsse pro Hektar Bewirtschaftungsfläche vor. Als Höchstgrenzen zeit- und bedarfsgerechter Düngung sind seit dem Düngejahr 2009 für Stickstoff 60 kg/ha pro Jahr im Mittel von drei Jahren und für Phosphat 20 kg/ha pro Jahr im Mittel von sechs Jahren festgelegt.

Die DüV verpflichtet den Landwirt, eine Flächenbilanz über Zufuhr und Entnahme von Stickstoff zu erstellen (§ 5 Absatz 1 DüV) und liefert dazu eine Berechnungsgrundlage für den Düngerbedarf verschiedener Kulturen. In Übernahme des Wertes der Nitratrichtlinie ist die zulässige Höchstmenge für Stickstoffgaben mittels Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft gemäß § 4 Absatz 3 Satz 1 DüV auf 170 kg N/(ha*a) begrenzt.

Insgesamt soll mit diesen Maßnahmen die Bodenfruchtbarkeit erhalten und der in der Grundwasserrichtlinie als Grundwasserqualitätsnorm festgelegte und als Schwellenwert in Anlage 2 der Grundwasserverordnung übernommene Wert von 50 mg/l Nitrat im Grundwasser eingehalten werden.

---

[10] Abwasserabgabengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005 (BGBl. I S. 114), das zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 2. September 2014 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

[11] Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

Weder nach Düngegesetz noch nach Düngeverordnung gilt Bewässerungswasser als Düngemittel. Jedoch müssen, wie bereits ausgeführt, mit dem Bewässerungswasser aufgebrachte Nährstoffmengen bei der Ermittlung des Düngebedarfs berücksichtigt werden (§ 3 Absatz 2 Nummer 4 DüV).

Abschätzungen zu den je nach Abwasserbehandlungsverfahren im behandelten Abwasser verbleibenden Nährstoffen und ihrem möglichen Beitrag zur Flächenbilanz finden sich in Kapitel 4.2.2.

3.1.6 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV)[12][13]

Zweck des Bundesbodenschutzgesetzes ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Als Bodenfunktionen werden in § 2 BBodSchG 1) natürliche Funktionen als a) Lebensgrundlage für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen, b) als Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinem Wasser- und Nährstoffkreisläufen, c) als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungen, insbesondere des Grundwassers genannt, weiterhin 2) Funktionen der Natur- und Kulturgeschichte sowie 3) Nutzungsfunktionen.

Der Anwendungsbereich des Bodenschutzgesetzes ist vor allem im nachsorgenden Bodenschutz im Umgang mit Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen anzusiedeln. Des Weiteren findet das Gesetz nur Anwendung, wenn Einwirkungen auf den Boden nicht bereits durch andere Gesetze, wie beispielsweise dem Düngemittelgesetz, dem Pflanzenschutzrecht oder der Klärschlammverordnung, geregelt werden.

Da sich die Fragestellungen, die in Verbindung mit der Bewässerung mit behandeltem Abwasser stehen, klar im Bereich der Vorsorge bewegen, sind die Prüfabfolgen und Entscheidungsmaßstäbe der BBodSchG und der BBodSchV nur bedingt anwendbar.

Eine Ausnahme stellt die modellgestützte Bewertung der Beeinflussung des Grundwassers (Wirkpfad Boden - Grundwasser) mit den Methoden zur Sickerwasserprognose dar. Diese können zur Bewertung möglicher Grundwasserbeeinträchtigungen durch Bewässerung mit behandeltem Abwasser herangezogen werden.

Neben Aspekten der Nachsorge enthalten das BBodSchG und die BBodSchV auch Pflichten im vorsorgenden Bodenschutzes (§ 7 BBodSchG). Nach § 17 BBodSchG gilt bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung die Vorsorgepflicht nach § 7 bei Einhaltung der guten fachlichen Praxis als erfüllt. Zu prüfen ist, ob die Bewässerung mit behandeltem Abwasser in folgende Grundsätze (§ 17 BBodSchG Absatz 2) eingreift: Erhaltung oder Verbesserung der Bodenstruktur, Verhinderung von Bodenabträgen durch standortangepasste Nutzung sowie Erhaltung des Humusgehaltes des Bodens.

Sollten bislang nicht bewertete Stoffe im behandelten Abwasser, wie organische Spurenstoffe, mikrobielle Verunreinigungen, Antibiotikaresistenzgene als Schadstoffe i.S.d. § 2 Absatz 3

---

[12] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist".

[13] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die durch Artikel 102 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

BBodenSchG eingestuft werden, wäre eine gesonderte Bewertung der möglichen Beeinträchtigung von Bodenfunktionen vorzunehmen.

3.2 Verbraucher- und Gesundheitsschutz

3.2.1 Badegewässerrichtlinie[14] (und entsprechende Verordnungen der Länder)

Die EU-Badegewässerrichtlinie trat am 24. März 2006 in Kraft; die Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht erfolgte 2008 auf Länderebene durch landesrechtliche Badegewässerverordnungen. Die Verordnungen berücksichtigen besonders die durch mikrobielle Belastung verursachten gesundheitlichen Risiken beim Baden. Die Klassifizierung der Badegewässer in ausreichende, gute und ausgezeichnete Qualität erfolgt anhand der Indikatororganismen Escherichia coli und Enterokokken (siehe Tabelle 43 in Anhang I). Dabei sind der direkte Kontakt zwischen Mensch und Wasser und die mögliche Übertragung von Krankheitserregern durch Aerosole (Einatmen) oder Verschlucken (unbeabsichtigte oder beabsichtigte orale Aufnahme) die relevanten Expositionspfade. In dieser Hinsicht bestehen Parallelen zur möglichen Exposition bei der Beregnung in der Landwirtschaft.

3.2.2 Trinkwasserverordnung (TrinkwV)[15]

Die Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001) fordert, dass bei Verwendung von Trinkwasser keine nachteilige Beeinflussung der menschlichen Gesundheit zu besorgen ist. Sie bestimmt, dass Trinkwasser frei von Krankheitserregern sein muss und stellt Grenzwerte der Konzentration für die menschliche Gesundheit potenziell schädlicher chemische Stoffe sowie Grenzwerte für Indikatorparameter auf (§§ 6, 7 TrinkwV 2001 i.V.m. Anlage 1 bis Anlage 3 TrinkwV 2001). Ein wesentliches Element der Trinkwasserverordnung, das der Abwehr nachteiliger Einflüsse auf die Trinkwasserhygiene dient, ist die Forderung, Anlagen für die Gewinnung, Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser mindestens nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu planen, zu bauen und zu betreiben (§ 17 Absatz 1 TrinkwV 2001) und bei Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung des Trinkwassers nur bestimmte, umfassend geprüfte Aufbereitungs- und Desinfektionsverfahren zu verwenden (§ 11 TrinkwV 2001).

Wasser, welches den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht, ist somit als hygienisch unbedenklich einzustufen.

Stoffe ohne vollständige toxikologische Bewertung werden auf Basis der vorhandenen Daten unter dem Gesichtspunkt der gesundheitlichen Vorsorge bewertet. Aufgrund der Analyse verschiedener Mikroverunreinigungen im Trinkwasser wurde für den Trinkwasserbereich das Konzept der gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW[16]) entwickelt. Dieses stellt einen

---

[14] RICHTLINIE 2006/7/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.

[15] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001)- Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. August 2013 (BGBl. I S. 2977).

[16] Empfehlung des Umweltbundesamtes: Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Bundesgesundheitsbl. – Gesundheitsforsch. -Gesundheitsschutz 2003 · 46:249–251 DOI 10.1007/s00103-002-0576-7.

pragmatischen und vorsorgenden Umgang mit kleinen und kleinsten Konzentrationen verschiedener Substanzen dar. Wird ein neuer Stoff entdeckt, der bislang nicht bewertet wurde, wird zunächst ein vorsorgender Orientierungswert von 0,1 µg/l angesetzt. Nach Untersuchung auf verschiedene Charakteristika wird dieser Wert angepasst. Wird ein sehr hohes Gefährdungspotenzial festgestellt (z. B. NDMA), wird der GOW auf einen Wert von 0,01 µg/l abgesenkt. Können dagegen solche Eigenschaften ausgeschlossen werden, kann sich der Wert bis auf 10 µg/l erhöhen (z.B. bei EDTA).

3.2.3 Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)[17]

Gemäß § 1 Absatz 1 Produkthaftungsgesetz ist der Hersteller eines Produkts für etwaige Schäden an Leib, Leben oder Eigentum haftbar und schadenersatzpflichtig, die durch ein fehlerhaftes Produkt, welches er in Verkehr gebracht hat, verursacht wurden. Da landwirtschaftliche Erzeugnisse unter den Produktbegriff des § 2 ProdHaftG fallen, ist nicht auszuschließen, dass z.B. Landwirte haftbar gemacht werden, wenn ihre mit behandeltem Abwasser beregneten Feldfrüchte zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei den Verbrauchern führen. Denkbare Fälle wären in erster Linie Infektionen durch Krankheitserreger, die möglicherweise im Bewässerungswasser enthalten sind (vgl. Kapitel 4.1).

3.2.4 Rückstandshöchstmengenverordnung (RHmV) [18]

In Hinblick auf mit dem Bewässerungswasser aufgebrachte Stoffe und ihre Aufnahme und Anreicherung in Pflanzen sei auf die Rückstandshöchstmengenverordnung (RHmV) verwiesen, die im Wesentlichen der Lebensmittelsicherheit dient. Die Verordnung bezieht sich auf beim Anbau eingesetzte Hilfsstoffe (Pflanzenschutz-, Dünge- und sonstige Mittel) und begrenzt deren erlaubte Konzentrationen in Erzeugnissen, die im Sinne der Verordnung in Verkehr gebracht werden. Die aufgebrachten Stoffmengen und – konzentrationen, die bei der ordnungsgemäßen Verwendung der von der RHmV erfassten Stoffe anfallen, liegen sicherlich um viele Größenordnungen über den mit Beregnungswasser ausgebrachten Frachten abwasserspezifischer Inhaltstoffe (Stichwort Mikroverunreinigungen). Jedoch ist prinzipiell eine analoge Begrenzung für diese Substanzen denkbar.

Tabelle 7 fasst die relevanten Gesetze und Verordnungen sowie die darin adressierten Wasserqualitätsparameter zusammen. Die Zahlenwerte für die verschiedenen Grenz- oder Schwellenwerte sind den Originaltexten der Vorschriften zu entnehmen.

---

[17] Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz - ProdHaftG). "Produkthaftungsgesetz vom 15. Dezember 1989 (BGBl. I S. 2198), das zuletzt durch Artikel 9 Absatz 3 des Gesetzes vom 19. Juli 2002 (BGBl. I S. 2674) geändert worden ist.

[18] Verordnung über Höchstmengen an Rückständen von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Düngemitteln und sonstigen Mitteln in oder auf Lebensmitteln (Rückstands-Höchstmengenverordnung - RHmV) Vom 1. September 1994 (BGBl. I S. 2299).

Tabelle 7: Gesetze und Verordnungen und die darin berücksichtigten Wasserqualitätsparameter sowie umgesetzte EU-Richtlinien

Deutsches Regelwerk	Grundwasser-verordnung	Oberflächengewässer-verordnung	Anhang I der Abwasserverordnung	Düngegesetz und Dünge-verordnung	Badegewässer-verordnungen	Trinkwasser-verordnung	RHmV
Chemische Parameter							
Nährstoffe							
(Abbaubare) Organik (CSB, BSB_5, TOC)	o	x	x	x	o	x	o
Ammonium	0,5 mg/l	x	x	x	o	0,5 mg/l	o
Nitrat	50 mg/l	x	o	o	o	x	o
Gesamt-Stickstoff	o	x		x	o		o
Phosphor/Phosphate	x	x	x	x	o		o
Ionen / Salze							
Chlorid	x	x	o	o	o	x	o
Sulfat	x	x/o	o	o	o	x	o
Natrium	o	o	o	o	o	x	o
Schadstoffe							
Mikroverunreinigungen/ (z.B. Arzneimittelrückstände)	Nicht explizit	x	o	o	o	Nicht explizit	o
Organohalogene Verbindungen (TRI und PER)	x	x	o	o	o	x	o
(Rückstände von) Pflanzenschutzmittel	x	x	o	o	o	x	x
Biozide	x	x	o	o	o	x	x
(Schwer)Metalle							
Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Kupfer,	x	x	o	o	o	x	x
Mikrobielle Parameter							
E. coli	o	o	o	o	x	x	o

Nutzung von behandeltem Abwasser zu landwirtschaftlichen Bewässerung

Deutsches Regelwerk	Grundwasser-verordnung	Oberflächengewässer-verordnung	Anhang I der Abwasserverordnung	Düngegesetz und Dünge-verordnung	Badegewässer-verordnungen	Trinkwasser-verordnung	RHmV
Intestinale Enterokokken	o	o	o	o	x	x	o
Clostridium perfringens	o	o	o	o	o	x	o
Umgesetzte EU Richtlinie	Grundwasser-richtlinie (2006/118/EG)[19]	WRRL (2000/60/EG)[20] Prioritäre Stoffe 2013/39/EU[21],	Abwasserrichtlinie (91/271/EWG)[22]	Nitratrichtlinie (91/676/EWG)[23]	Badegewäs-serrichtlinie (76/160/EWG)[24]	Trinkwasser-richtlinie (98/83/EG)[25]	

Grau / o: Parameter nicht adressiert
Blau / x: Parameter adressiert und begrenzt

[19] Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (ABl. L 372 vom 27.12.2006, S. 19, L 53 vom 22.2.2007, S. 30, L 139 vom 31.5.2007, S. 39).

[20] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1), die zuletzt durch die Richtlinie 2008/105/EG (ABl. L 348 vom 24.12.2008, S. 84) geändert worden ist.

[21] Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG.

[22] Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (ABl. L 135 vom 30.5.1991, S. 40), die zuletzt durch die Verordnung (EG) Nr. 1137/2008 (ABl. L 311 vom 21.11.2008, S. 1) geändert worden ist.

[23] Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (ABl. EG Nr. L 375 S. 1).

[24] Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.

[25] Richtlinie 98/83/EG des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 3. November 1998 (ABl. EG Nr. L 330 S. 32.

3.3 Empfehlungen ohne rechtliche Bindung

Auf die Bewässerung zugeschnittene Leitlinien und Empfehlungen fokussieren naturgemäß auf die Verträglichkeit der Wasserinhaltstoffe für Boden und Feldfrucht. Sie definieren Toleranzwerte in Abhängigkeit von der Bodenart und für unterschiedliche Nutzpflanzen.

3.3.1 DIN 19684-10[26] «Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen»

Unter den vom Deutschen Institut für Normung erarbeiteten DIN-Normen befasst sich die Norm DIN 19684-10 mit der chemischen Beschaffenheit von Wasser und seiner Eignung für die Bewässerung. Darüber hinaus werden Empfehlungen zur Bewässerungspraxis gegeben, wie beispielsweise, dass bei der Beregnung mit Wasser, dessen Beschaffenheit wesentlich vom natürlichen Oberflächen- oder Grundwasser abweicht, Wassergaben nur bis zur Feldkapazität erfolgen sollten. Diese Empfehlung soll die Entstehung von Sickerwasser verhindern. In einem solchen Fall bedarf auch der übrige Stoffeintrag, vor allem sonstige Düngungsmaßnahmen, einer besonderen Berücksichtigung (DIN 10684-10, Nummer 3, Absatz 2). Anhand verschiedener Parameter werden die Eignung des Wassers oder zu erwartende Schadwirkungen bestimmter Inhaltstoffe in drei Stufen bewertet (geeignet, mäßig geeignet, nicht geeignet bzw. gering, mittel, hoch). So wird beispielsweise die Eignung anhand der Massekonzentrationen an Salz, Chlorid und Bor unter Berücksichtigung der Boden- und Pflanzenverträglichkeit definiert (siehe Tabellen 46 – 48, Anhang I). Stoffe, die sich in höheren als im Lebensmittelgesetz[27] (LFGB) festgelegten Konzentrationen im Erntegut anreichern, sind ebenso unzulässig wie Stoffe, die zu einer Gefahr für das Grundwasser führen können (DIN 19684-10, Nummer 4.1).

3.3.2 DIN 19650 Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser[28]

Die Norm aus dem Jahr 1999 befasst sich mit den hygienischen Belangen von Bewässerungswasser in Landwirtschaft, Gartenbau, Landschaftsbau sowie von Park- und Sportanlagen und erfasst jegliches Bewässerungswasser, unabhängig von dessen Herkunft. Die mögliche Verwendung von behandeltem Abwasser wird ausdrücklich erwähnt. Die Festlegung von Bewässerungswasserqualitäten dient dem Ausschluss einer Gefährdung von Mensch oder Tier durch das Bewässerungswasser direkt oder durch mit diesem in Kontakt gekommene Ernteprodukte. Vom Schutzzweck der DIN 19650 wird insofern der Ausschluss einer Gefährdung des Grundwassers, besonders in Trinkwasserschutzgebieten, erfasst. Zudem empfiehlt die DIN-Norm gegebenenfalls ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität (Zwischenspeicherung in einem Teich oder Kleinspeicher, bewachsener Bodenfilter, Sandfilter) sowie nicht näher beschriebene Schutzmaßnahmen, die sicherstellen, dass bei der Beregnung Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden nehmen. Eine Desinfektion von belastetem Wasser „mittels chemischer Verbindungen", wie z.B. Chlorung zur Erreichung der

---

[26] DIN 19684-10. (2009) Bodenbeschaffenheit-Chemische Laboruntersuchungen- Teil 10: Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen.

[27] Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. Juni 2013 (BGBl. I S.1426), das zuletzt durch Artikel 67 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

[28] DIN 19650 (1999) Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser.

Richtwerte, wird als nicht zulässig bewertet. Die Einordnung der Wasserqualität unter mikrobiologischen Gesichtspunkten erfolgt in vier Eignungsklassen für die Parameter Fäkalstreptokokken, *E. coli*, Salmonellen und den infektiösen Stadien von Mensch- und Haustierparasiten. Für diese Parameter sind je nach Bewässerungsart, -praxis und zu bewässernder Kultur unterschiedliche Grenzwerte definiert (Tabelle 8).

Tabelle 8: Hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und Anwendung von Bewässerungswasser nach DIN 19650

Eignungs-klasse (EK)	Anwendung	Fäkalstrepto-kokken-Koloniezahl pro 100 ml (nach TrinkwV oder [1])	*E. Coli*-Koloniezahl pro 100 ml (nach TrinkwV oder [1]	Salmonellen pro 1000 ml [1]	Potenziell infektiöse Stadien von Mensch- und Haustierparasiten [2] pro 1000 ml
1 (Trink-wasser)	alle Gewächshaus und Freilandkulturen	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar
2[3]	Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr, Schulsportplätze, öffentliche Parkanlagen	< 100[4]	< 200[4]	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar
3[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, alle anderen Freilandkulturen ohne Einschränkung, sonstige Sportplätze	< 400	< 2000	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar

Eignungs-klasse (EK)	Anwendung	Fäkalstrepto-kokken-Koloniezahl pro 100 ml (nach TrinkwV oder [1])	*E. Coli*-Koloniezahl pro 100 ml (nach TrinkwV oder [1]	Salmonellen pro 1000 ml [1]	Potenziell infektiöse Stadien von Mensch- und Haustierparasiten [2] pro 1000 ml
4[3),5)]	Wein und Obstkulturen zum Frostschutz, Frostkulturen, Polterplätze und Feuchtbiotope, Zuckerrüben, Stärkekartoffeln, Ölfrüchte und Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut bis 2 Wochen vor der Ernte, Getreide bis zur Milchreife (nicht für Rohverzehr), Futter zur Konservierung bis 2 Wochen vor der Ernte	Abwasser, das mindestens eine biologische Reinigungsstufe erfahren hat.			für Darm-Nematoden keine Standard-empfehlung möglich, für Stadien von Taenia: nicht nachweisbar

[1] Mikrobiologische Untersuchungen nach den für Badegewässer üblichen Verfahren.
[2] Soweit dies für die Sicherung der Gesundheit von Mensch und Tier erforderlich ist, kann eine Untersuchung des vorgesehenen Bewässerungswassers auf Darm-Nematoden (Ascaris- und Trichuris-Arten sowie Hakenwürmer) und/oder Bandwurm-Lebensstadien (insbesondere Taenia) nach WHO-Empfehlung angeordnet werden.
[3] Wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist, entfällt eine Einschränkung nach hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen.
[4] Richtwert, der analog der TrinkwV § 2 Abs. 3 so weit unterschritten werden sollte, „wie dies nach dem Stand der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles möglich ist".
[5] Bei der Beregnung muss durch Schutzmaßnahmen sichergestellt werden, dass Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden nehmen.

3.3.3 Empfehlungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft[29]

Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) hat mit dem Themenblatt Nr. 52.06 "Bewässerungswasserqualität - Hygienische und chemische Belange" Empfehlungen für die Bewässerungspraxis im Bundesland Thüringen ausgesprochen. Bei den agronomisch wichtigen chemischen Parametern werden auch die Anforderungen des Bodenschutzes an Bodenfunktionen nach dem BBodSchG (1998) und der BBodSchV (1999) sowie Nutzpflanzen berücksichtigt. Die Empfehlungen werden für Thüringischer Bodenverhältnisse ausgesprochen und berücksichtigen eine jährliche Zusatzwassergabe von 200 mm. Diese Annahme gilt es bei etwaiger Übertragung auf andere Standorte zu berücksichtigen. Bei der Festlegung hygienischer Anforderungen lehnt sich das Dokument stark an die DIN 19650 an, d.h. es grenzt Eignungsklassen für verschiedene Anwendungszwecke voneinander ab. Dabei unterscheiden sie sich lediglich in der Definition der Eignungsklasse 4 sowie in verschiedenen Anwendungsgebieten (Tabelle 49).

[29] TLL (2010): Bewässerungswasserqualität, Hygienische und chemische Belange, Themenblatt-Nr.: 52.06, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010.

3.3.4 Branchenspezifische Qualitätsanforderungen

Vorgaben des Handels oder seiner Gütegemeinschaften können ebenfalls Vorgaben zu Produktionsverfahren oder zur Qualität von Bewässerungswasser enthalten. So hat beispielsweise die QS Fachgesellschaft Obst-Gemüse-Kartoffeln GmbH in ihrem Leitfaden „QS-GAP Erzeugung Kartoffeln, Obst, Gemüse“ für ihre Anwender hygienische Anforderungen für verschiedene Wasseranwendungen definiert (Tabelle 51). So sind Grenzwerte für die Indikatororganismen Enterokokken und *E. coli* festgelegt, die in einem ähnlichen Bereich liegen wie in der DIN 16950.

3.4 Schlussfolgerungen

Die Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung ist in Deutschland bislang nicht gesondert gesetzlich geregelt. Obwohl in Artikel 12 (1) der Richtlinie 91/271/EWG[30] die Möglichkeit zur Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser genannt wurde, sind keine entsprechenden Umsetzungsmaßnahmen im Abwasserrecht definiert. Anforderungen wurden nur für die Einleitung von Abwasser in Gewässer, aber nicht für seine neuerliche Nutzung in anderen Anwendungen definiert.

Auf der anderen Seite existiert mit der DIN 19650 eine Norm, die die hygienische Eignung von Wasser für verschiedene Bewässerungszwecke definiert. Es wäre daher sinnvoll, analog zu den Anhängen der Abwasserverordnung, Anforderungen an die Qualität von Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung oder die Grundwasseranreicherung zu definieren.

Dazu wären die nötigen chemischen und mikrobiellen Parameter, die zur Wahrung des Schutzniveaus für andere Umweltmedien (z.B. Grundwasser und Boden) sowie für den Verbraucher zu berücksichtigen sind, zu identifizieren und zu begrenzen. Empfehlungen für die gute fachliche Praxis bei der Bewässerung mit behandeltem Abwasser sollten den gesetzlich verbindlichen Rahmen ergänzen.

30 RICHTLINIE DES RATES vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser, 91/271/EWG) (ABl. L 135 vom 30.5.1991, S. 40.

4 Hygienische und stoffliche Aspekte bei der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Bei einer Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen mit behandeltem Abwasser werden Inhaltstoffe, die durch die Abwasserbehandlung nicht entfernt wurden, auf agrarisch genutzte Flächen gebracht, anstatt sie in Oberflächengewässer abzuleiten. Es handelt sich folglich um ein Umleiten der Abwasser- und Stoffemissionen vom Kompartiment Oberflächengewässer hin zum Kompartiment Boden und ggfs. zum Kompartiment Grundwasser. Die in Abbildung 1 gezeigten relevanten Schutzgüter, Boden, Grundwasser, Pflanze und Mensch sowie chemische und hygienische Gefährdungen sind von daher zu berücksichtigen.

Wie in Kapitel 6.1.4 beschrieben, zielen die existierenden Anforderungen an die Qualität von behandeltem Abwasser vor allem auf den Schutz des Oberflächengewässers ab. Die Nutzung als Bewässerungswasser ist durch diese Anforderungen nicht abgedeckt. Folglich ist zu prüfen, ob die derzeitigen Anforderungen an die Qualität von behandeltem Abwasser für eine Nutzung als Bewässerungswasser ausreichend sind bzw. welche Anpassungen oder Ergänzungen vorzunehmen wären.

4.1 Krankheitserreger im behandelten Abwasser

Abwasser wird in Deutschland bislang nicht standardmäßig desinfiziert, sodass auch nach der Abwasserbehandlung mit einer hohen Keimbelastung im Ablauf gerechnet werden muss, darunter auch Krankheitserregern, die über menschliche und tierische Fäzes ausgeschieden werden. Hierzu zählen sowohl Viren und Bakterien als auch Parasiten. Tabelle 9 zeigt eine Auswahl an relevanten Krankheitserregern, die in unbehandeltem Abwasser vorkommen können, damit verbundene Krankheiten sowie die Anzahl der gemeldeten Krankheitsfälle in Deutschland aus dem Jahr 2013. Das Auftreten von Krankheitserregern im Abwasser ist dabei neben der Ausscheidungsrate von den Infektionszyklen der jeweiligen Pathogene abhängig. Da es sich bei den gelisteten Fallzahlen ausschließlich um gemeldete Fälle handelt, ist je nach Krankheitserreger von einer mehr oder weniger hohen Dunkelziffer (nicht gemeldete Fälle) auszugehen.

Zahlenmäßig dominieren die Magen-Darm-Erkrankungen durch Noro- und Rotaviren (zusammen über 138 000 gemeldete Fälle) sowie *Campylobacter* und Salmonellen (zusammen über 82 000 gemeldete Fälle). Bei den Infektionen mit Darmparasiten, wie Kryptosporidien und Giardia, werden Fallzahlen von unter 5 000 gemeldet. Der Befall mit Fadenwürmern spielt in Deutschland unter den derzeitigen hygienischen Bedingungen keine Rolle.

Es sei hier betont, dass diese Infektionen nicht primär über den Abwasserpfad, sondern hauptsächlich von Mensch zu Mensch (Noroviren) oder über Lebensmittel (*Campylobacter*, Salmonellen) übertragen werden. Jedoch bestimmt die Häufigkeiten der einzelnen Erkrankungen maßgeblich, in welchem Umfang mit den entsprechenden Erregern im Abwasser zu rechnen ist. Das wiederum beeinflusst die Abschätzung einer möglichen Exposition. Jedoch können auch Erstinfektionen durch den Abwasserpfad auftreten, die sich dann über direkten Kontakt weiter ausbreiten.

Tabelle 9: Auswahl von Krankheitserregern, die potenziell in kommunalen Abwässern vorkommen und damit verbundene Krankheiten (WHO 2006)

Krankheitserreger	Krankheit	Anzahl gemeldeter Erkrankungen in Deutschland 2013
Virale Krankheitserreger		
Norovirus	Gastroenteritis (Magen-Darm-Entzündung)	89 308
Rotavirus	Gastroenteritis (Magen-Darm-Entzündung)	48 301
Adenovirus	Atemwegserkrankungen, Augeninfektionen (Konjunktivitis) Gastroenteritis (Magen-Darm-Entzündung)	1 985
Hepatitis A und E	Hepatitis	779 (Hepatitis A) 458 (Hepatitis E)
Bakterielle Krankheitserreger		
Campylobacter jejuni	Gastroenteritis (Magen-Darm-Entzündung), Langzeitfolgen (z.B. Arthritis)	63 650
Escherichia coli	Gastroenteritis (Magen-Darm-Entzündung)	7 845
EHEC	Blutiger Durchfall, hämolytisch urämisches Syndrom (HUS)	1 619
Leptospira spp.	Leptospirose	80
Salmonella	Salmonellose, Gastroenteritis (Magen-Darm-Entzündung), Durchfall, Langzeitfolgen (z.B. Arthritis)	18 984
Shigella	Shigellose (dysentery), Langzeitfolgen (z.B. Arthritis)	578
Vibrio cholera	Cholera	1
Yersinia enterocolitica	Yersinose, Gastroenteritis, Langzeitfolgen (z.B. Arthritis)	2 591
Legionella	Legionärskrankheit (Lungenentzündung)	923
Parasitendauerformen		
Cryptosporidium parvum	Cryptosporidiose, Durchfall, Fieber	1 565
Giardia intestinalis	Giardiasis	4 143
Helminthen		
Ascaris lumbricoides	Ascariasis	
Trichuris trichiura	Trichuriasis	
Taenia spp.	Taeniasis	

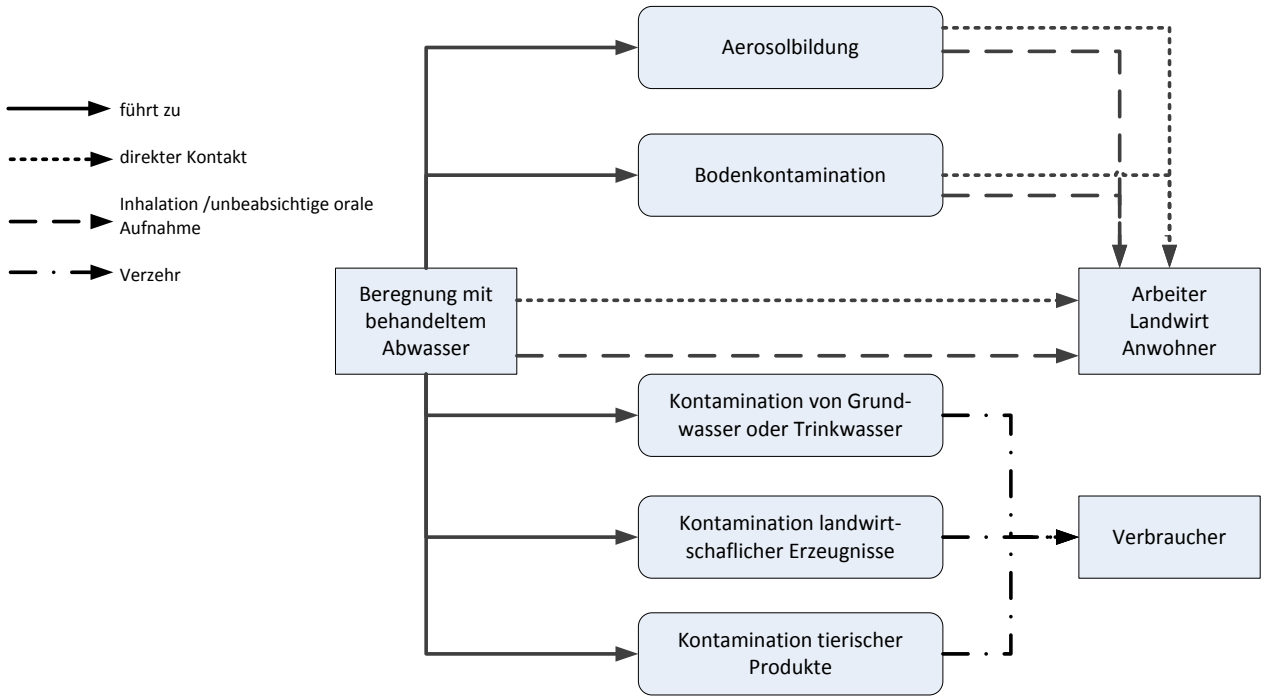
Abgleich mit Statistik des RKI: Gemeldete Fälle in Deutschland laut Robert Koch-Institut: SurvStat@RKI 2.0, https://survstat.rki.de, Abfragedatum: 06.11.2014.

4.1.1 Gefährdungspotenzial

Wird behandeltes Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung eingesetzt, können verschiedene Bevölkerungsgruppen über unterschiedliche Expositionspfade mit den genannten Krankheitserregern in Kontakt geraten. Neben den Menschen, die unmittelbar mit dem Abwasser umgehen (Klärwerksarbeiter, Landwirte), können auch nicht beteiligte Anlieger

(Öffentlichkeit) und auch die Konsumenten erzeugter Produkte (Verbraucher) betroffen sein. Abbildung 25 gibt einen Überblick über denkbare Expositionspfade (WHO, 2006). Dabei hängt das Risiko einer Infektion maßgeblich von der aufgenommen Anzahl an Krankheitserregern und deren Infektiosität ab, von dem für den jeweiligen Krankheitserreger „typischen Expositionspfad“ sowie von der physischen Konstitution der exponierten Person. Kinder, alte Menschen sowie immungeschwächte Menschen sind in der Regel bei entsprechender Exposition gegenüber Pathogenen infektionsanfälliger als gesunde Erwachsene mittleren Alters (Haas *et al.*, 1999).

Abbildung 25: Mögliche Expositionspfade verschiedener Bevölkerungsgruppen bei der landwirtschaftlichen Bewässerung (WHO 2006)



4.1.2 Mikrobielle Belastung des behandelten Abwassers

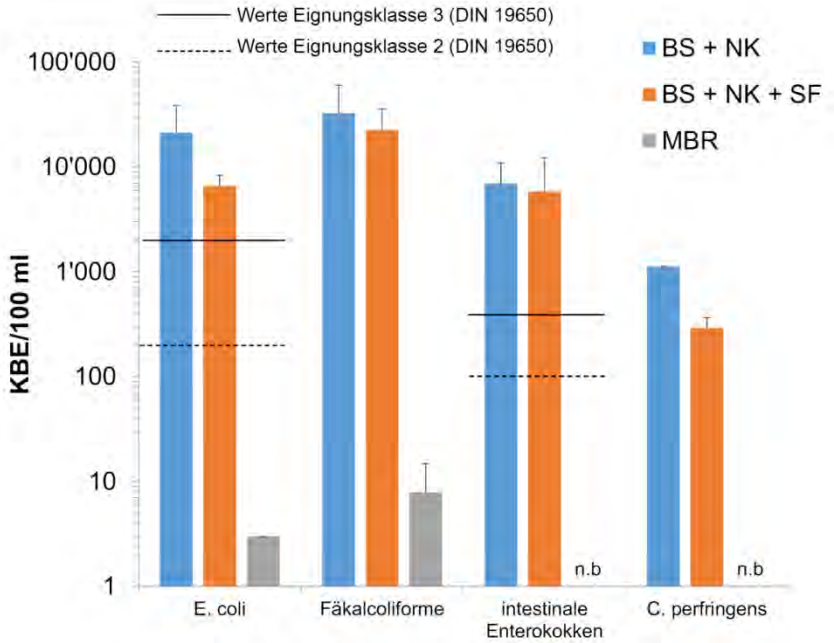
In Deutschland umfasst die standardmäßige Überwachung abwassertechnischer Anlagen nicht die mikrobielle Untersuchung des behandelten Abwassers. Informationen zum Vorkommen von Keimen finden sich daher lediglich in Berichten zu speziellen Untersuchungs- und Forschungsprogrammen. Eine Reihe von Studien untersuchte die mikrobielle Qualität von Kläranlageneinleitungen und die daraus resultierenden Belastungen im Gewässer sowie dessen Eignung als Badegewässer. So analysierten Kistemann *et al.* (2008, 2009) sowohl Indikatororganismen als auch Pathogene in Kläranlagen des Erftverbandes. Ähnliche Untersuchungen führten Fleischer *et al.* (2000) an Kläranlagen entlang des Neckars durch. Huber & Popp (2005) beprobten in einer Studie mehrere Kläranlagen in Bayern und untersuchten dabei insbesondere die Wirkung einer nachgeschalteten UV-Behandlung. Neuere, auch internationale Forschungen widmen sich zunehmend dem Verhalten von unterschiedlichen Viren in Abwasserbehandlungsanlagen (Kuo *et al.*, 2010, Simmons & Xagoraraki, 2010, Simmons *et al.*, 2011, Sima *et al.*, 2011, Flannery *et al.*, 2012).

In den genannten Studien variieren sowohl das Spektrum der analysierten Mikroorganismen sowie die angewandten Nachweismethoden, was einen Vergleich der Untersuchungen erschwert. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass das Vorkommen humanpathogener

Krankheitserreger im Abwasser stark vom Gesundheitszustand der Bevölkerung abhängt. Noroviren zeigen beispielsweise starke jahreszeitliche Schwankungen. Bei anderen Viren, wie Rota- oder Adenoviren, sind diese weitaus geringer (Hundesa *et al.*, 2006).

Die konventionellen Abwasserbehandlungstechnologien reduzieren die Pathogene und Indikatororganismen unterschiedlich effektiv. Tabelle 55 (siehe Anhang III) fasst die Entfernungsraten unterschiedlicher Behandlungsverfahren zusammen. In den konventionellen biologischen Kläranlagen werden Bakterien (Fäkalindikatoren) um 2 - 3 log-Stufen reduziert. Deutlich höhere Rückhalte werden mit Membranbioreaktoren erzielt (> 5 log-Stufen). Abbildung 26 zeigt Durchschnittswerte für die Konzentrationen in gereinigtem Abwasser. Es wird deutlich, dass die in der DIN19650 für die Eignungsklassen 2 und 3 genannten Richtwerte für *E. coli* (200 bzw. 2 000 KBE/100 ml) und intestinale Enterokokken bzw. Fäkalenterokokken (100 bzw. 400 KBE/100 ml) in konventionellen Belebtschlammverfahren nicht erreicht werden. Membranbioreaktoren hingegen reduzieren beispielsweise *E. coli* unter 10 KBE/ml.

Abbildung 26: Konzentrationen ausgewählter mikrobieller Parameter in Kläranlagenabläufen und log_{10} Reduzierung



	log10 Reduzierung			
BS+NK	2,7	3,0	2,4	1,8
BS+NK+SF	3,1	3,0	3,0	2,5
MBR	5,8	6,4	4,5	3,0

Mittelwerte aus verschiedenen Studien (Fleischer *et al.*, 2000, Huber & Popp, 2005, Ottoson *et al.*, 2006, Kistemann *et al.*, 2008, Francy *et al.*, 2012, MKULNV, 2014).
BS: Belebtschlammverfahren, NK: Nachklärung, SF: Sandfilter, MBR: Membranbioreaktor.

4.1.3 Bewertung der hygienischen Wasserqualität

Behandeltes Abwasser enthält noch eine Reihe von Krankheitserregern, die bei der Verwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung ein Gesundheitsrisiko darstellen können und daher begrenzt werden müssen. Die existierenden Empfehlungen der DIN 19650 liefern hierfür eine gute Grundlage, da durch die Einteilung in vier Eignungsklassen,

Anbaubeschränkungen sowie Qualitätsanpassungen in Anhängigkeit des Bewässerungssystems bereits viele verschiedene Barrieren als Möglichkeiten der Risikoreduktion berücksichtigt werden.

Die mikrobiellen Belastung von Abwasser nimmt in den verschiedenen Prozessschritten einer konventionellen Abwasserbehandlung zwar deutlich ab, jedoch werden die derzeit gültigen Werte der DIN 19650 für die Eignungsklassen 1,2 und 3 nicht erreicht. Sollen höherpreisige Produkte, wie z.B. Speisekartoffeln, beregnet werden, sind folglich weitere Schritte zur Desinfektion nötig (siehe Kapitel 5.1). Dabei ist die unterschiedliche Wirksamkeit der möglichen Verfahren gegenüber Pathogenen bzw. den gewählten Indikatororganismen zu ermitteln. Insgesamt sollte die Reduzierung des Infektions- und Erkrankungsrisikos durch ein angepasstes Risikomanagement erfolgen (siehe Kapitel 6.3).

Neben technischen Verfahren zur Desinfektion stellt auch die Boden- und Untergrundpassage, z.B. bei der gezielten Grundwasseranreicherung für spätere Beregnungszwecke, eine effektive Barriere für bakteriellen Indikatoren und Krankheitserregern dar. Da es zum Verhalten von Viren im Untergrund nicht hinreichend gesicherte Erkenntnisse gibt, ist ein ausreichender Abstand zur nächsten Trinkwasserförderung einzuhalten. In Deutschland gilt bei der Trinkwassergewinnung für das Festlegen der Größe der engeren Schutzzone (Zone II), die den Rückhalt pathogener Mikroorganismen gewährleisten soll, die sogenannte 50-Tage-Linie (Castell-Exner & Meyer, 2010). Die Reduktionsleistung bezüglich Viren kann jedoch in Abhängigkeit von den vorherrschenden Bedingungen im Untergrund sehr unterschiedlich sein (Schijven & Hssanizadeh, 2000), sodass diese im Einzelfall zu verifizieren ist.

4.1.4 Schlussfolgerungen, Forschungsbedarf, Empfehlungen

Die existierenden Anforderungen, die durch die DIN 19650 an die Qualität von Bewässerungswasser gestellt werden, stützen sich vor allem auf die bakteriellen Indikatoren *E. coli* und intestinale Enterokokken.

Die meisten Infektionen werden jedoch in Verbindung mit abwasserbeeinflussten Freizeit- und Badegewässern durch Viren verursacht (Medema *et al.*, 1995, Grey *et al.*, 1997). Bakterielle Indikatoren sind oft weniger widerstandsfähig als die meisten Viren und Parasiten. Daher ist eine Bewertung der Desinfektionsleistung ausschließlich auf Basis von Indikatorbakterien nicht immer zuverlässig. Es sollte darum geprüft werden, ob existierende hygienisch-mikrobiologische Überwachungsparameter um Viren und Parasiten oder andere geeignete Indikatoren zu ergänzen sind (Szewzyk *et al.*, 2006, Selinka *et al.*, 2011).

Zumeist werden dazu Bakterien infizierende Viren, insbesondere somatische Coliphagen und F+-Phagen, herangezogen. Sie sind für den Menschen harmlos, erlauben aber eine bessere Bewertung von Behandlungsverfahren hinsichtlich ihrer Eliminationsleistung für virale Krankheitserreger als dies durch die ausschließliche Nutzung bakterieller Indikatororganismen der Fall wäre.

Neben der sicheren Reduzierung oder Inaktivierung von Krankheitserregern sollte die Desinfektion auch die antibiotika-resistenten Keime im Beregnungswasser verringern. Die möglichen Auswirkungen solcher Keime auf die Bodenmikrobiologie und eine etwaige Grundwasserbelastung sind noch nicht voll verstanden. In ersten Forschungsarbeiten werden im Boden, der mit behandeltem Abwasser bewässert wird, nicht signifikant mehr oder weniger Antibiotikaresistenz-Gene gefunden als in Kontrollen, die Frischwasser nutzen (Negreanu *et al.*, 2012). Unklar bleibt, welcher Grad an Desinfektion nötig ist bzw. der Verbleib dieser Keime im Boden sowie ihre etwaige Übertragung auf Nahrungspflanzen und damit in die Nahrungskette.

Bei der Bewertung des damit verbundenen Risikos sind andere Mechanismen und Verbreitungswege der Resistenzübertragung zu berücksichtigen.

4.2 Chemische Abwasserinhaltsstoffe

Kommunales Abwasser enthält eine Reihe von chemischen Bestandteilen, die bei der Verwendung als Bewässerungswasser mit Pflanzenteilen in Kontakt gelangen, in den Boden eingetragen und in das Grundwasser ausgetragen werden können. Dazu gehören Salze und ihre Ionen, Makronährstoffe, wie Nitrat und Phosphor, toxische Elemente, wie Bor und Schwermetalle, organischer Kohlenstoff und organische Verbindungen, wie Mikroverunreinigungen.

Im Folgenden werden typische Konzentrationen im behandelten Abwasser, ihre Relevanz und ihre Gefährdungspotenziale für die verschiedenen Schutzgüter beleuchtet sowie diese vor dem Hintergrund bestehender Anforderungen an Bewässerungswasser in Deutschland bewertet.

4.2.1 Salze und ihre Ionen

Gelöste Ionen werden bei der Abwasserbehandlung nicht entfernt. Der Salzgehalt ist ein wichtiger Parameter bei der Bewertung der Bewässerungswasserqualität und wird entweder als Massenkonzentration oder als elektrische Leitfähigkeit angegeben.

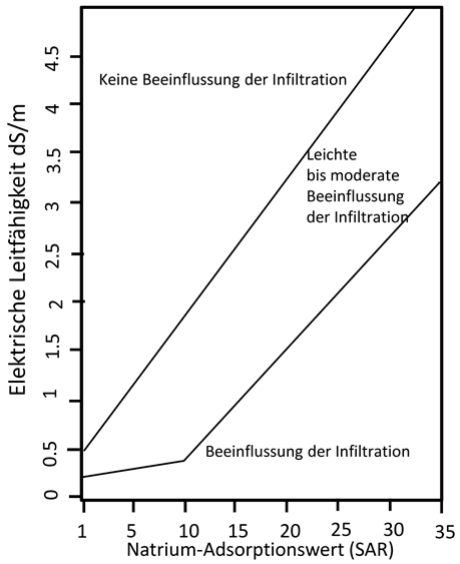
In Deutschland sind qualitative Empfehlungen für die Salzgehalte, die Leitfähigkeit und die Konzentrationen spezifischer Ionen im Bewässerungswasser im Hinblick auf Boden- und Pflanzenschutz in der DIN 19684-10 sowie den Thüringer Empfehlungen zusammengefasst (siehe Kapitel 3.3).

4.2.1.1 Relevanz und Gefährdungspotenziale

Gefährdungspotenziale bestehen hauptsächlich für die Schutzgüter Boden und Pflanze. Dafür werden in der Literatur folgende Ursachen genannt:

- Der Salzgehalt (Salinität) steuert im Boden die Wasseraufnahme der Pflanzen. Ist der Salzgehalt zu hoch, ändert sich der osmotische Druck im Wurzelraum und erschwert somit deren Wasseraufnahme. So ist der pflanzenverfügbare Wasseranteil im Boden primär vom Salzgehalt abhängig.
- Die Anwesenheit von Salzionen kann die Aufnahme von Nährstoffen beeinflussen (WHO, 2006).
- Einige Ionen (z. B. Bor, Chlorid) wirken ab bestimmten Konzentrationen auf sensitive Pflanzen toxisch.
- Die Sodizität ist mit einem hohen Natriumgehalt im Boden verbunden. Natrium verdrängt Kalzium und Magnesium von den Kationenaustauschplätzen. Dieses führt zur Disaggregierung des Bodengefüges und begünstigt die Oberbodenverschlämmung (Scheffer & Schachtschabel, 2010). Das Gefährdungspotenzial erhöhter Natriumkonzentrationen wird in der Praxis unter Zuhilfenahme des prozentualen Natriumanteils (SP) an der Kationenzusammensetzung aus Na^+, K^+, Mg^{2+} und Ca^{2+} sowie des Natriumadsorptionsverhältnis (SAR) bewertet (Asano, 2007, Meda, 2010, DIN 19684-10). Letzteres beschreibt das Verhältnis von Na^+ zu Mg^{2+} und Ca^{2+}. Abbildung 27 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Natriumadsoptionskoeffizienten, der elektrischen Leitfähigkeit und der Infiltrationsrate des Bodens.

Abbildung 27: Zusammenhang zwischen der elektrischen Leitfähigkeit, dem Natrium- Adsorptionskoeffizienten (SAR) und der Beeinflussung der Infiltration des Bewässerungswassers in den Boden



4.2.1.2 Salzgehalt und Konzentrationen phytotoxischer Ionen in behandeltem Abwasser

Die Salz- und Ionenkonzentrationen in behandeltem Abwasser sind in der Regel im Vergleich zu Grund- und Oberflächenwasser erhöht. Unterschiede hinsichtlich der Ausbaugröße kommunaler Kläranlagen lassen sich nicht ableiten. Eine Zusammenstellung typischer Werte findet sich in Tabelle 10.

Bor wird vor allem in Waschmitteln eingesetzt und kommt im Abwasser in Konzentrationen bis 2 mg/l vor (Knoppe & Stozek, 1999). Der Anteil an Chlorid kann je nach Ausgangskonzentration im Trinkwasser (Grenzwert 250 mg/l TrinkwV 2001) regional unterschiedlich sein. Natrium kommt je nach Herkunft des Rohwassers (Trinkwasser) in Konzentrationen bis zu 250 mg/l vor. Durch die Nutzung wird die Konzentration um ca. 50 mg/l erhöht (Koppe & Stozek, 1999).

Typische Bereiche für die elektrische Leitfähigkeit von behandeltem Abwasser sowie der von Einzelionen sind in Tabelle 10 aus Literaturangaben und eigenen Messungen (KWB, ZALF) zusammengefasst. So wurden z.B. am Klärwerk Braunschweig ca. 1000 µS/cm gemessen. Ähnliche Werte zeigen sich in Berlin (1040 µS/cm, Wraschke, 2008). Meda schätzte die elektrische Leitfähigkeit auf 900 µS/cm (Meda, 2010). Die in Kapitel 7.4. dargestellten internationalen Beispiele für die Anwendung von behandeltem Abwasser weisen Werte zwischen 1300 µS/cm und 1600 µS/cm auf.

Tabelle 10: Typische Konzentrationen ausgewählter Einzelionen sowie der elektrischen Leitfähigkeit in behandeltem Abwasser

Parameter	Typische Konzentrationen in behandeltem Abwasser
Elektrische Leitfähigkeit	900 – 1 600 µS/cm
Natrium	Trinkwasserkonzentration + ca. 50 mg/l
Chlorid	ca. 80 - 90 mg/l
Bor	< 2 mg/l

4.2.1.3 Bewertung des behandelten Abwassers hinsichtlich der Gehaltes an gelösten Ionen

Vergleicht man die publizierten und gemessenen Konzentrationsbereiche mit den Empfehlungen der DIN 19684-10 sowie den Toleranzbereichen des Themenblatts 'Bewässerungswasserqualität Hygienische und chemische Belange' der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), ergeben sich Unterschiede in der Bewertung, wobei strengere und differenziertere Qualitätsempfehlungen in der DIN 19684-10 gegeben werden. Nach letztgenannten Empfehlungen (siehe Anhang I), wäre behandeltes Abwasser nur für bestimmte Kulturen zur Bewässerung nutzbar.

Die Toleranzbereiche der Empfehlungen der TLL würden eine generelle Anwendung von behandeltem Abwasser für alle Kulturen zulassen.

Hinsichtlich des Bodenschutzes ist vor allem aufgrund der höheren Natriumkonzentrationen im Vergleich zu Grund- und Oberflächenwasser eine Destabilisierung des Bodengefüges nicht ausgeschlossen. Eine Bewertung ist auf Basis des SAR-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit (Abbildung 27) möglich.

4.2.1.4 Schlussfolgerungen

Die in der DIN 19684-10 sowie in den Empfehlungen der TLL aufgeführten Anforderungen ermöglichen generell den Einsatz von behandeltem Abwasser, jedoch können die im Abwasser zu erwartenden Konzentrationen durchaus in Größenordnungen liegen, die zu Einschränkungen bei der Anwendung führen. Maßnahmen können einerseits durch die Auswahl weniger salzempfindlicher Kulturarten getroffen werden, andererseits können Konzentrationen durch Mischen mit weniger salzhaltigem Wasser entsprechend verringert werden. Wie bei anderen Bewässerungswässern sind regelmäßige Analysen zum Nachweis der Eignung erforderlich.

4.2.2 Stickstoff und Phosphor

Stickstoff und Phosphor sind Pflanzennährstoffe, die als Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Die Ausnutzung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe und die damit verbundene Substitution von Düngemitteln werden oft als positiver Aspekt bei der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser genannt (MUGV, 2010, Meyer, 2014). Gleichzeitig stellen erhöhte Stickstoffeinträge und daraus resultierende Immissionen in das Grundwasser einen der Hauptgründe für die Ausweisung eines schlechten chemischen Grundwasserzustands dar (UBA, 2013). Aktivitäten, die zu einer weiteren Erhöhung der Konzentration im Grundwasser führen, sind folglich zu vermeiden. Das folgende Kapitel untersucht deshalb, welchen Beitrag die im behandelten Abwasser enthaltenen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor zur Deckung des Nährstoffbedarfs der zu bewässernden landwirtschaftliche Kulturen beitragen können und welche Konsequenzen sich für die gute fachliche landwirtschaftliche Praxis für die Schutzgüter Boden und Grundwasser sowie für Oberflächenwasser ergeben.

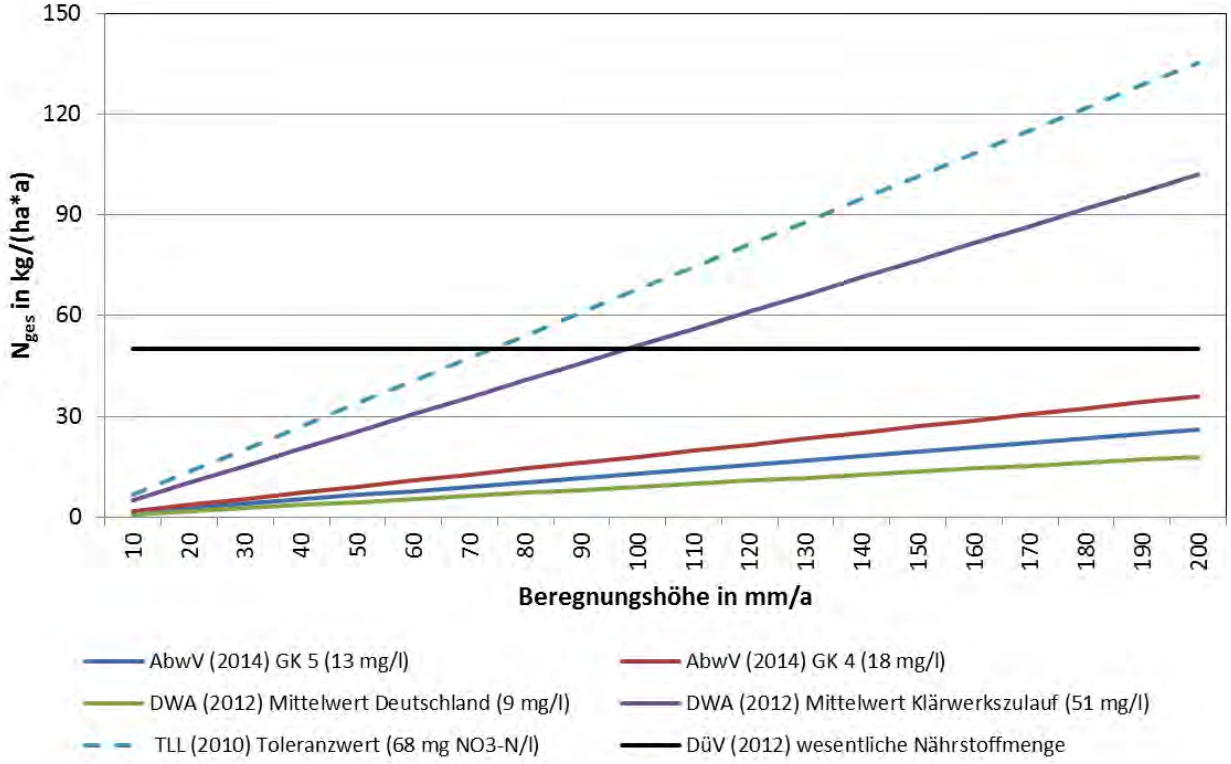
4.2.2.1 Konzentrationen und Nährstofffrachten

Mit der aktuellen Abwasserverordnung existieren bereits heute Anforderungen an die Konzentrationen von Stickstoff und Phosphor im Kläranlagenablauf. Diese sind abhängig von der jeweiligen Größenklasse. Während für die Größenklassen GK 4 und GK 5 sowohl für AmmoniumStickstoff (10 mg/l) als auch für Gesamt-Stickstoff N_{ges} (18 bzw. 13 mg/l) und Gesamt-Phosphor P_{ges} (2 bzw. 1 mg/l) Grenzwerte definiert sind, gilt für Kläranlagen GK 3 nur der

Grenzwert für Ammonium-Stickstoff. Für kleine Kläranlagen der Größenklassen GK 1 und GK 2 werden durch die Abwasserverordnung keine Grenzwerte definiert (AbwV, 2004).

Abbildung 28 vermittelt einen Überblick über potenzielle Stickstofffrachten in Abhängigkeit von der Beregnungshöhe unter Zugrundelegung verschiedener Konzentrationen: für Maximalkonzentrationen im Klärwerkszulauf, maximal zulässige Konzentrationen im Klärwerksablauf gemäß AbwV sowie für die tolerierbare Nitratkonzentration im Beregnungswasser gemäß den Empfehlungen der TLL. als Obergrenzen. Es wird deutlich, dass bei jährlichen Beregnungshöhen zwischen ca. 80 (siehe Kapitel 2) und 200 mm (TLL, 2010) die Stickstofffrachtenzwischen 10 und 30 kg N_{ges}/(ha*a) liegen.

Abbildung 28: Potenzielle Stickstofffrachten (N_{ges}) in Abhängigkeit von der Beregnungshöhe bei Einhaltung der Anforderungen an Stickstoff für Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5, der Einhaltung der Empfehlung des Bundeslands Thüringen, der mittleren Stickstoff-Ablaufkonzentration deutscher Klärwerke, der mittleren Zulaufkonzentration sowie die Definition „wesentliche Nährstoffmenge" für die Stickstofffracht



Würde der von der TLL empfohlene Toleranzwert von 300 mg/l NO_3 erreicht werden (entspricht 68 mg/l NO_3-N), liegt die Gesamt-Stickstofffracht zwischen 50 und 120 kg/(ha*a), für den nicht behandelten Klärwerkszulauf zwischen 40 und 90 kg/(ha*a).

Eine weitergehende Abschätzung der potenziellen Nährstofffrachten wurde vorgenommen, basierend auf den prognostizierten mittleren Beregnungshöhen für die Bundesländer gemäß Kapitel 2. Tabelle 11 zeigt die mittleren Ablaufkonzentrationen der Klärwerke für Gesamt-Stickstoff- und Gesamt-Phosphor entsprechend der Angaben des 25. Leistungsvergleichs kommunaler Kläranlagen (DWA, 2012), die mittleren Beregnungshöhen (h_{ber}) je Bundesland, inklusive einer Steigerung um 50 %(Faktor 1,5) zur Berücksichtigung einer möglichen Bedarfserhöhung infolge des Klimawandels. Die Annahmen können folglich als ein realistisches Worst-Case-Szenario betrachtet werden.

Die für die Bundesländer ausgewiesenen Nährstofffrachten liegen für Gesamt-Stickstoff zwischen 7,3 bis 19,3 kg/(ha*a). Die höchste mittlere Stickstofffracht wurde für das Bundesland Sachsen-Anhalt berechnet. Die potenzielle Phosphorfracht P_{ges} liegt auf Bundesebene bei 0,9 kg/(ha*a), auf Bundesländerebene zwischen 0,5 und 1,5 kg/(ha*a) (Tabelle 11).

Tabelle 11: Berechnete Frachten für Gesamt-Stickstoff N_{ges} und Gesamt-Phosphor P_{ges} bei Beregnung mit behandeltem Abwasser, bezogen auf die durchschnittliche Beregnungshöhe h_{ber} für die Bundesländer, beaufschlagt mit 50 % (h_{ber}*1,5) zur Berücksichtigung des Klimawandels bis zum Jahr 2050

DWA-Landesverband	Bundes-land	N_{ges}	P_{ges}	h_{ber}*1,5	N_{ges}	P_{ges}
Baden-Württemberg	BW	9,6 mg/l	0,64 mg/l	111 mm/a	10,7 kg/(ha*a)	0,7 kg/(ha*a)
Bayern	BY	10,1 mg/l	0,97 mg/l	92 mm/a	9,3 kg/(ha*a)	0,8 kg/(ha*a)
Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland	HE	9,0 mg/l	0,90 mg/l	136 mm/a	12,2 kg/(ha*a)	1,2 kg/(ha*a)
	RP			163 mm/a	14,7 kg/(ha*a)	1,5 kg/(ha*a)
	SL			158 mm/a	14,2 kg/(ha*a)	1,4 kg/(ha*a)
Nord	NI	8,9 mg/l	0,64 mg/l	115 mm/a	10,2 kg/(ha*a)	0,7 kg/(ha*a)
	SH			81 mm/a	7,2 kg/(ha*a)	0,5 kg/(ha*a)
	HB			126 mm/a	11,2 kg/(ha*a)	0,8 kg/(ha*a)
	HH			126 mm/a	11,2 kg/(ha*a)	0,8 kg/(ha*a)
Nord-Ost	BB	11,2 mg/l	0,64 mg/l	108 mm/a	12,1 kg/(ha*a)	0,7 kg/(ha*a)
	BE			108 mm/a	12,1 kg/(ha*a)	0,7 kg/(ha*a)
	ST			173 mm/a	19,3 kg/(ha*a)	1,1 kg/(ha*a)
	MV			145 mm/a	16,2 kg/(ha*a)	0,9 kg/(ha*a)
Nordrhein-Westphalen	NW	7,3 mg/l	0,48 mg/l	100 mm/a	7,3 kg/(ha*a)	0,5 kg/(ha*a)
Sachsen-Thüringen	SN	10,2 mg/l	1,0 mg/l	93 mm/a	9,5 kg/(ha*a)	0,9 kg/(ha*a)
	TH			101 mm/a	10,3 kg/(ha*a)	1,0 kg/(ha*a)
Deutschland (DWA gesamt)	**DE**	**9,0 mg/l**	**0,72 mg/l**	**118 mm/a**	**10,6 kg/(ha*a)**	**0,9 kg/(ha*a)**

4.2.2.2 Relevanz als Düngemittel

Um die durch die Beregnung aufgebrachten Stickstofffrachten besser in die Stickstoffflächenbilanz einordnen zu können, zeigt Tabelle 12 die Flächenbilanzen für Stickstoff für das Jahr 2010 (BMU, BMELV, 2012). Die Stickstoffzufuhr belief sich demnach im Jahr 2010 auf 190 kg/ha, der Stickstoffentzug auf 121 kg/ha. Die auf Bundesländerebene ermittelten Stickstofffrachten von 7,2 bis 19,3 kg/(ha*a) (siehe Tabelle 11) erbrächten demnach nur 4 % bis 11 % des Gesamteintrags, bzw. 5 % bis 15 % des Eintrags durch Düngemittel (Summe aus mineralischem Dünger und Wirtschaftsdünger).

Tabelle 12: Stickstoffbilanz auf landwirtschaftlichen Flächen für 2010 auf Bundesebene (BMU, BMELV 2012, leicht verändert)

Zufuhr		Entzug	
Dünger (mineralisch u. organisch)	98 kg/ha	Pflanzliche Marktprodukte	67 kg/ha
Wirtschaftsdünger	53 kg/ha		
Atmosphärische Deposition	24 kg/ha	Futtermittel aus dem Inland (Futterfrüchte und Nebenerzeugnisse)	54 kg/ha
Saatgut und Pflanzgut	1 kg/ha		
Biologische Stickstofffixierung	13 kg/ha		
Saat- und Pflanzgut	1 kg/ha		
Summe Stickstoffzufuhr	190 kg/ha	Summe Stickstoffabfuhr	121 kg/ha
Saldo			68 kg/ha

Entsprechend der geringen Fracht von 10,6 kg/(ha*a) im Bundesdurchschnitt (siehe Tabelle 11) hat die Bewässerung mit behandeltem Abwasser nur ein begrenztes Potenzial, mineralische Dünger oder Wirtschaftsdünger zu ersetzen.

Ein ebenso geringes Düngerpotenzial ergibt sich bei der Betrachtung des Stickstoffbedarfs für verschiedene Getreidearten (Tabelle 13). Demnach liegen die Sollwerte zur Erzielung wirtschaftlicher Erträge für mineralischen Stickstoff, der sich aus dem vorhandenen mineralischen Bodenstickstoff N_{min} und dem Düngerstickstoff zusammensetzt, zwischen 120 und 200 kg/ha. Die mit dem behandelten Abwasser zuführbare Stickstoffmenge beträgt ebenfalls nicht mehr als 10 %.

Tabelle 13: Gesamtsollwerte für Stickstoffdüngung aus N_{min} +Düngung für verschiedener Getreidearten (Düngeempfehlung der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen)

Getreideart	Probennahmetiefe	Sollwert
Wintergerste	0 – 90 cm	180 kg/ha
Winterroggen	0 – 90 cm	180 kg/ha
Wintertriticale	0 – 90 cm	190 kg/ha
Winterweizen	0 – 90 cm	200 kg/ha
Sommerweizen	0 - 90 cm	150 kg/ha
Sommergerste	0 – 60 cm	120 kg/ha
Sommerbraugerste	0 – 60 cm	150 kg/ha

Zur besseren Nutzung des im Rohabwasser enthaltenen Stickstoffs wird im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Wiederverwendung von behandeltem Abwasser oft der Verzicht auf eine Stickstoffelimination im Klärwerk diskutiert, wodurch ca. 80 % des sich im Zulauf befindlichen Stickstoffs erhalten werden könnte (Cornel & Meda, 2008).

Schwierigkeiten können sich hierbei jedoch bezüglich der zeitlichen Diskrepanz zwischen Bewässerungsbedarf und Nährstoffgabe ergeben. Meist werden Düngemittel zu Beginn der Vegetationsperiode aufgebracht. Eine bedarfsgerechte Bewässerung vorausgesetzt, lässt sich zu diesem Zeitpunkt der benötigte Bewässerungsbedarf noch nicht abschätzen, sodass die aufgebrachten Stickstoffmengen kaum vorhergesagt werden und schlecht in die Berechnung des Düngerbedarfs eingehen können. Tabelle 14 verdeutlicht dies in einem Überblick über die Bewässerungszeitspannen verschiedener Kulturarten im Vergleich zu den zeitlichen Stickstoffgaben.

Zu beachten ist zudem, dass Stickstoffgaben zum falschen Zeitpunkt bei einigen Kulturarten negative Einflüsse auf die Entwicklung haben können. Im Fall der beregnungswürdigen Kartoffel wird Stickstoff beispielsweise vor allem zum Aufbau des Bestandes benötigt. Stickstoffgaben sind umso kritischer zu bewerten, je weiter das Knollenwachstum voranschreitet. Auftretende negative Effekte bei zu hohen Stickstoffgaben umfassen einen vermehrten Schädlingsbefall, Holzigkeit, einen zu hohen Trockenmasseanteil u.v.a. (LWK-NRW, 2012). Erhöhte Nährstoffgehalte im Bewässerungswasser sind deshalb in diesen Wachstumsstadien nicht immer erwünscht.

Tabelle 14: Bewässerungszeitspannen (hellgrau) nach Roth (1993), veröffentlicht in Michel & Sourell (2014) sowie Abschätzung der Zeiträume für Stickstoffgaben (gelb) in Abhängigkeit von der Kulturart, ergänzt durch Expertenbefragung, Düngezeitpunkt für Winterweizen nach LWK-NRW (2012) sowie zeitliche Abschätzung der Entwicklungsstadien für Winterweizen nach Qara-Fallah (2008)

Fruchtart	März			April			Mai			Juni			Juli			August			September		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Winterweizen (3 Gaben)																					
Sommergerste (1 Gabe)																					
Kartoffeln, früh																					
Kartoffeln, mittelfrüh																					
Kartoffeln, mittelspät-spät																					
Zuckerrübe																					
Verschiedene Maissorten																					

mittelgrau - abhängig vom Erntezeitraum, dunkelgrau - Bewässerung erst ab 30 % nutzbarer Feldkapazität.

Der Phosphorbedarf P_{ges}, der über Düngemittel gedeckt werden muss, ist ebenfalls boden- und fruchtartenspezifisch. Im Mittel liegt er bei 25 kg/(ha*a). Die Fracht von 0,5 – 1,5 kg/(ha*a) (siehe Tabelle 11), die in 3 bis 4 Bewässerungsgaben aufgebracht werden würde, beträgt kaum mehr als 5 % des Phosphorbedarfs. Diese Frachten liegen ebenfalls deutlich unter der in der DüV definierten wesentlichen Nährstoffmenge von 30 kg/(ha*a) P_2O_5, was 13 kg/(ha*a) P entspricht.

4.2.2.3 Bewertung im Hinblick auf Grundwasser-, Oberflächengewässer- und Bodenschutz

Nitratausträge in das Grundwasser hängen u.a. von der Bewässerungshöhe, dem Stickstoffgehalt im Boden, dem aktuellen Pflanzenbedarf sowie dem Stickstoffgehalt im behandelten Abwasser ab (WHO, 2006). In der Landwirtschaft existiert die Faustregel, dass in einem wassergesättigten Boden 1 mm Niederschlagshöhe eine Stickstoffverlagerung von 1 cm bewirken kann (Fricke, 2014). Nitratverlagerungen sind vor allem in Perioden zu erwarten, in denen ein Pflanzenentzug fehlt und es aufgrund von natürlichen Niederschlägen und Starkregenereignissen zur Versickerung von Bodenwasser kommt. Auch zu hohe Beregnungsgaben bewirken diesen Prozess (Michel & Sourell, 2014). Durch eine

Beregnungssteuerung, angepasst an die aktuelle Bodenfeuchte und den Pflanzenwasserbedarf, kann dies vermieden werden.

Es ist zudem zu berücksichtigen, dass die Bewässerung als Produktionsmittel an sich die Nährstoffausnutzung erhöht. Beregnungsversuche der Landwirtschaftskammer Hannover ergaben, dass bei gleicher Stickstoffmenge von 160 kg/(ha*a) auf den beregneten Flächen dem Boden 180 kg/(ha*a) wieder entzogen wurden. Auf den unbewässerten Vergleichsflächen betrug der Stickstoffentzug nur 90 kg/(ha*a) (Fricke, 2014). Ähnliche Ergebnisse zeigten kontrollierte Beregnungsversuche in der Schweiz. Der Mehrentzug von Stickstoff durch optimale Beregnung betrug für Kartoffeln in Abhängigkeit von der Bodenart zwischen 61 und 81 kg/ha im Vergleich zur unberegneten Variante. Übermäßige Bewässerung führte hingegen zu den höchsten Sickerwassermengen und den höchsten Stickstofffrachten, die in das Grundwasser verlagert wurden. Die höchsten Stickstoffkonzentrationen fanden sich nach simulierten Starkregenereignissen unter den unbewässerten Flächen (Prasuhn, 2014). Die Wahrscheinlichkeit, dass es bei einer bedarfsgerechten Beregnungssteuerung durch die mit behandeltem Abwasser aufgebrachten Frachten von 10 - 30 kg/(ha*a) zu einer nennenswerten Erhöhung der Nitratauswaschung kommt, wird folglich als gering eingeschätzt.

Anders ist der Sachverhalt bei der Grundwasseranreicherung zu bewerten. Hier wird behandeltes Abwasser gezielt in den Grundwasserleiter eingebracht. Der Grenzwert für N_{ges} von 13 mg/l für Kläranlagen GK 5 entspricht einer Nitratkonzentration von 58 mg/l, unter der Voraussetzung, dass alle Stickstofffraktionen des behandelten Abwassers mineralisiert sind und als Nitrat vorliegen. Zwar ist während der Untergrundpassage von einem Nitratabbau durch Denitrifikation auszugehen (Kunkel *et al.*, 2008), jedoch sollten im Sinne eines vorsorgenden Grundwasserschutzes und der besonderen Relevanz von Nitrat im Grundwasser existierende Schwellenwerte bereits vor der Infiltration eingehalten werden (N_{ges} < 11 mg/l entspricht einer Konzentration von weniger als 50 mg/l NO_3 bei vollständiger Mineralisierung), um eine Schwellenwertüberschreitung im Grundwasser ausschließen zu können.

Phosphor kann sowohl bei einer Bodenerosion als partikulär gebundener Phosphor in Oberflächengewässer ausgetragen werden, als auch, in Abhängigkeit der Sorptionsfähigkeit des Bodens, in das Grundwasser. Die P- Sorptionsfähigkeit des Bodens wird dabei maßgeblich durch die Bodenstruktur, dessen Kornverteilung sowie durch den Gehalt an organischer Substanz beeinflusst. Leichte, sandige, bewässerungsbedürftige Böden besitzen dabei eine geringere Sorptionskapazität als Böden mit einem höheren Lehm- und Tonanteil. Konkurrenzen an den Adsorptionsplätzen bestehen zwischen der anorganischen ortho-Phosphat-Fraktion und der organischen Fraktion, hier insbesondere das IHP (Inositol-Hexaphosphat). Dabei werden die wasserlöslichen P-Fraktionen in die Bodenlösung verdrängt (Bnayahu, 2011). Dieses Phänomen ist sicherlich in größerem Maße bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern von Bedeutung, sollte jedoch in Bezug auf den Grundwasserschutz auch bei der Beregnung mit behandeltem Abwasser nicht außer Acht gelassen werden. Diesbezügliche Untersuchungen zur Ausschöpfung der P-Sorptionskapazität des Bodens werden empfohlen.

Zur Vermeidung eines Phosphoraustrags in die Oberflächengewässer ist die Bodenerosion bei Beregnung zu verhindern. Michel und Sourell (2014) geben zwei Kriterien an, um Erosion durch Bewässerung zu vermeiden: die zulässigen Beregnungsintensitäten, ausgehend von Bodenart und Geländegefälle (Tabelle 15) sowie die technisch steuerbaren Beregnungsintensitäten. Bei Gabenhöhen von 20 mm und Beregnungsintensitäten von < 10 mm/h sind Kreis- und Linearmaschinen, Rohrberegnung und Tröpfchenbewässerung bis zu einem Geländegefälle von 4 % geeignet.

In der Regel wird eine Beregnung dann durchgeführt (außer bei Grasansaaten im Frühjahr), wenn der Pflanzenbestand geschlossen ist und dadurch die Erosionsgefahr des Bodens gering ist. Die Gefahr des Abtrages von partikulär gebundenem Phosphor bei Beregnung besteht, wenn Beregnungshöhen von 20 bis 30 mm überschritten werden. Auch hinsichtlich des Phosphorabtrags mit Bodenpartikeln ist daher eine bedarfsgerechte Beregnungssteuerung vorteilhaft. Ebenso sollten auch zum Schutz der Oberflächengewässer, vor allem in Hanglagen, ausreichend breite Gewässerschutzstreifen angelegt werden, um Stoffeinträge zu vermeiden.

Eine positive Wirkung auf die Gewässer würde sich per se durch den Wegfall des direkten Stoffeintrags mit dem Klärwerksablauf in die Oberflächengewässer um den für die Bewässerung in Anspruch genommenen Anteil ergeben. Damit könnte das Eutrophierungspotenzial im Oberflächengewässer herabgesetzt werden.

Tabelle 15: Versickerungsintensität und maximal vertretbare Beregnungsintensitäten in Abhängigkeit von Bodenart und Hangneigung

Bodenart	Versickerungsintensität (aus Achtnich, 1980)	Zulässige mittlere Beregnungsintensität (nach Frielinghaus, 1990) bei Hangneigung	
		0 - 4 %	> 9 %
Sand	25 – 250 mm/h	25 mm/h	12 mm/h
Sandiger Lehm	13 – 75 mm/h	15 mm/h	8 mm/h
Lehm	8 – 20 mm/h	10 mm/h	5 mm/h

4.2.2.4 Schlussfolgerungen, Forschungsbedarf, Empfehlungen

Das Nährstoffpotenzial im behandelten Abwasser großer Klärwerke (GK 4 und GK 5, annähernd 90 % des behandelten Abwassers) ist vor dem Hintergrund der in Deutschland üblichen Beregnungsmengen sowohl für Stickstoff als auch für Phosphor als gering einzuschätzen. Die mit dem behandelten Abwasser zuführbaren Stickstofffrachten betragen ca. 5 - 15 % der jährlich auszubringenden Düngermengen und können somit nur in geringem Maße zur Substitution von Düngemitteln beitragen. Um jedoch Austrägen, vor allem in das Grundwasser, vorzubeugen, sind sie in die jährlichen betrieblichen Nährstoffvergleiche gemäß DüV, Anlage 7 einzubeziehen. Dazu sind Angaben zu den entsprechenden anrechenbaren Stickstoff- und Phosphorfrachten in die DüV aufzunehmen.

Ein Verzicht auf die Nährstoffeliminierung im Klärwerk ist in Kombination mit einer bedarfsgerechten Beregnung eine Herausforderung. Da zu Beginn der Vegetationsperiode nicht vorhergesagt werden kann, ob es sich um ein beregnungsintensives Jahr oder um eines mit geringem Beregnungsbedarf handeln wird, ist die Anpassung der Düngegaben, die meist zu Beginn des Jahres erfolgt, schwierig abzuschätzen. Eine Entkopplung von Wasser- und Nährstoffströmen durch Nährstoffrückgewinnung im Klärwerk erscheint in diesem Zusammenhang vielversprechender.

Für Kläranlagen, die über eine Nährstoffelimination verfügen, wird aufgrund der dargelegten Planungsunsicherheit empfohlen, die Nährstoffe weiterhin zu entfernen. Der Mehrwert der Nutzung von behandeltem Abwasser ist dem Wasserwert zuzuordnen. Eine pflanzenangepasste, dosierte Düngergabe ist einer permanenten Ausbringung mit dem Beregnungswasser vorzuziehen.

Für kleinere Kläranlagen, für die derzeit keine Grenzwerte hinsichtlich des Nährstoffgehaltes existieren, sollten in die Qualitätsanforderungen Stickstoff- und Phosphor-Werte aufgenommen werden.

Für die im Durchschnitt betrachteten Stofffrachten (die Schwankungsbreite kann jedoch groß sein) sind die Risiken einer Stoffverlagerung gering, eine optimale Beregnungssteuerung vorausgesetzt. Letztere ist zur Vermeidung von Stoffausträgen in das Grundwasser und von Oberflächenabfluss generell zu fordern.

Das, im Vergleich zur Beregnung mit Grund- oder Oberflächenwasser, veränderte Sorptionsverhalten der Böden kann momentan nicht beurteilt werden. Hierzu ergibt sich Forschungsbedarf.

Für die indirekte Wiederverwendung von behandeltem Abwasser durch Grundwasseranreicherung sollte kontrolliert werden, dass im Sinne eines vorsorgenden Grundwasserschutzes die Prüfwerte der GrwV bereits vor der Untergrundpassage eingehalten werden (N_{ges} < 11 mg/l). Zwar ist von einer weiteren Reduktion der Stickstoffkonzentration auszugehen, jedoch sollte aufgrund der besonderen Relevanz von Nitrat im Grundwasser die Ursächlichkeit der Abwasserinfiltration an einer potenziellen Schwellenwertüberschreitung ausgeschlossen werden können.

Gemäß den Anforderungen an Bewässerungswasser sind unterschiedliche Angaben für zulässige Nitratkonzentrationen zu prüfen und ggf. in einem Standard zu vereinheitlichen.

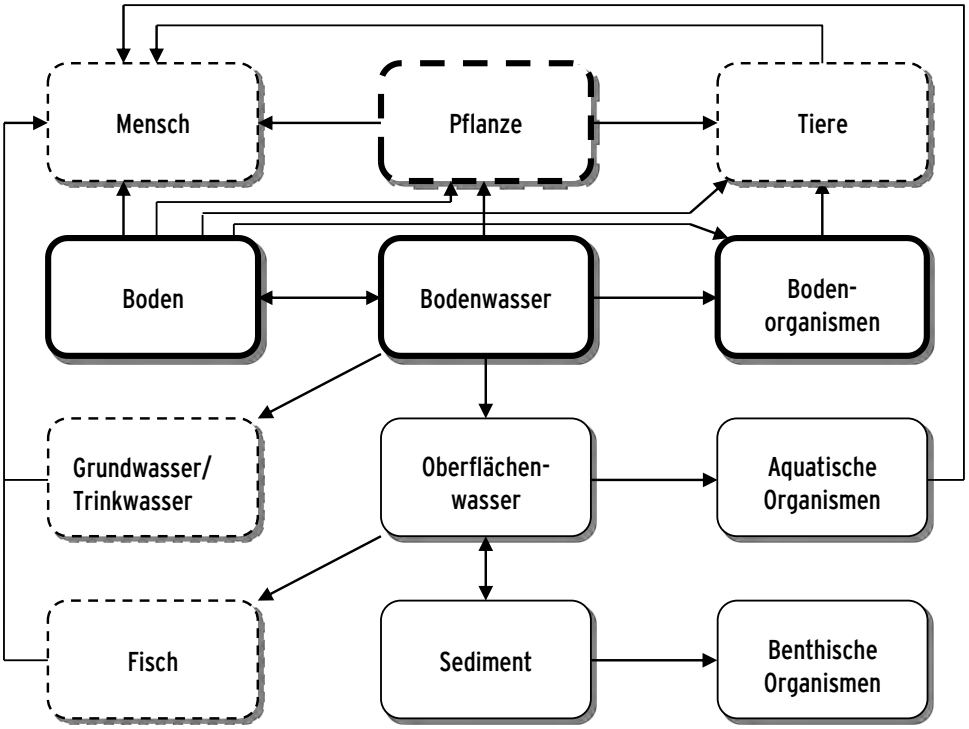
4.2.3 Schwermetalle

Schwermetalle umfassen diejenigen Metalle, die eine Dichte größer als 5 g/cm^3 aufweisen. Obwohl einige Schwermetalle, wie beispielsweise Eisen, weitgehend unbedenklich sind, wird der Begriff aufgrund der hohen Toxizität anderer Vertreter, wie Blei, Cadmium oder Quecksilber oft als synonym für Schadmetalle verwendet. Schwermetalle werden während der Abwasserbehandlung mit der Schlammphase aus dem Abwasserstrom weitgehend entfernt, sodass im Ablauf nur geringe Konzentrationen zu erwarten sind.

4.2.3.1 Gefährdungspotenzial

Schwermetalle sind per se nicht biologisch abbaubar. Das Gefährdungspotenzial ist hauptsächlich durch die metallspezifische Toxizität gegeben. In Abhängigkeit von den vorherrschenden bodenphysikalischen- und -chemischen Bedingungen kann eine Anreicherung im Boden, eine Verlagerung in darunterliegende Grundwasserleiter und/oder eine Aufnahme der Schwermetalle in die erzeugten landwirtschaftlichen Produkte stattfinden (Schütze, 2002). Abbildung 29 zeigt mögliche Transferpfade von Schwermetallen innerhalb terrestrischer und aquatischer Ökosysteme sowie verschiedene Endpunkte, die bei der Bewertung von Schwermetallen relevant sind (Schütze, 2002).

Abbildung 29: Transferpfade von Schwermetallen innerhalb terrestrischer und aquatischer Ökosysteme (Schütze, 2002)



Fett gezeichnet sind direkte Effekte auf terrestrische Ökosysteme. Einfach umrahmt sind direkte Effekte auf aquatische Ökosysteme. Gestrichelte Umrahmungen indizieren indirekte Einflüsse auf die Gesundheit von Mensch und Tier.

Schwermetalle unterscheiden sich erheblich hinsichtlich ihrer toxischen Wirkungen und wirksamen Dosen auf Mensch und Umwelt. Ähnlich wie bei Krankheitserregern spielt auch der Expositionspfad eine entscheidende Rolle. Das Schwermetall Nickel wirkt beispielsweise bei inhalativer Aufnahme nachweislich toxisch. Obwohl der größte Teil über den oralen Pfad aufgenommen wird, ist dieser aus umweltmedizinischer Sicht von geringer Bedeutung (Scheffer & Schachtschabel, 2002).

4.2.3.2 Konzentrationen in behandeltem Abwasser und erwartete Frachten durch Bewässerung

Schwermetalle reichern sich während der Abwasserbehandlung vor allem in der Schlammphase an. Im gereinigten Abwasser selbst finden sich meist nur niedrige Konzentrationen (Scherer & Fuchs, 2010). Für kommunale Kläranlagen formuliert Anhang 1 der AbwV keine spezifischen Anforderungen für Schwermetallkonzentrationen. Allerdings sind Quecksilber, Cadmium, Chrom, Nickel, Blei und Kupfer abwasserabgabepflichtige Stoffe, sofern sie bestimmte Konzentrationen und Jahresmengen überschreiten (§ 3 AbwAG[31]). Zur Abschätzung der Schwermetallemissionen aus großen Kläranlagen (GK 5) im Zusammenhang

[31] Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz - AbwAG) Ausfertigungsdatum: 13.09.1976; Abwasserabgabengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005 (BGBl. I S. 114), das zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 2. September 2014 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist".

mit der PRTR Verordnung[32] wurden Emissionsfaktoren (EF) ermittelt[33]. Diese beruhen auf mittleren gemessenen Konzentrationen von Schwermetallen im Ablauf von Kläranlagen der Größenklasse 5.

In Tabelle 16 sind diese Emissionsfaktoren für verschiedene Schwermetalle den Anforderungen der Trinkwasserverordnung, den im Grundwasserbereich genutzten Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS) sowie den Toleranzbereichen aus den Empfehlungen der TLL gegenübergestellt, wobei die GFS die niedrigsten Werte aufweisen. Die Emissionsfaktoren liegen zum Teil noch deutlich darunter. Sie betragen zwischen 3 % und 50 % des jeweiligen Wertes. Lediglich der Emissionsfaktor für Zink ist annähernd so hoch wie der entsprechende Geringfügigkeitsschwellenwert.

Tabelle 16: Vergleich der Emissionsfaktoren für verschiedene Schwermetalle für mittlere Ablaufkonzentrationen deutscher Kläranlagen (Scherer & Fuchs, 2010) mit den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung und den Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS nach LAWA, 2004)

Metall	EF bis 2013	EF ab 2014	GFS	TrinkwV	Toleranzbereich TLL	Verhältnis EF/GFS
As	0,326 µg/l	unverändert	10 µg/l	10 µg/l	Nicht definiert	3 %
Cd	0,166 µg/l	0,060 µg/l	0,5 µg/l	3 µg/l	≤ 4 µg/l	33 %
Pb	1,89 µg/l	0,190 µg/l	7 µg/l	10 µg/l	≤ 100 µg/l	27 %
Hg	0,101 µg/l	0,0016 µg/l	0,2 µg/l	1 µg/l	≤ 0,5 µg/l	51 %
Cu	7,61 µg/l	unverändert	14 µg/l	2000 µg/l	≤ 100 µg/l	54 %
Ni	5,62 µg/l	3,880 µg/l	14 µg/l	20 µg/l	≤ 40 µg/l	40 %
Zn	51,6 µg/l	unverändert	58 µg/l	Nicht definiert	≤ 300 µg/l	89 %
Cr	2,36 µg/l	unverändert	7 µg/l	50 µg/l	≤ 100 µg/l	34 %

Die Frachten, die unter Verwendung der Emissionsfaktoren des Jahres 2013 (konservative Schätzung) bei einer angenommenen durchschnittlichen Beregnungshöhe von 150 mm/a (siehe Kapitel 2) aufgebracht würden, sind in Tabelle 17 den nach BBodSchV tolerierbaren Jahresfrachten gegenübergestellt. Die abwasserbürtige Fracht würde zwischen 1 % und 7 % der tolerierbaren Fracht (je nach Schwermetall) und maximal 10 % für Quecksilber betragen. Damit läge sie meist unterhalb oder im Bereich der atmosphärischen Deposition (Tabelle 17).

[32] REGULATION (EC) No 166/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 January 2006 concerning the establishment of a European Pollutant Release and Transfer Register and amending Council Directives 91/689/EEC and 96/61/EC und dessen Umsetzung in deutsches Recht als Gesetz zur Ausführung des Protokolls über Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister vom 21. Mai 2003 sowie zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr.166/2006 vom 6. Juni 2007 (BGBl. I S. 1002) SchadRegProtAG.

[33] https://wiki.prtr.bund.de/wiki/Emissionsfaktoren#Emissionsfaktoren_f.C3.BCr_Schwermetalle_zur_Frachtberechnung_bei_kommunalem_Abwasser_.28PRTR-T.C3.A4tigkeit_5.f.29.

Tabelle 17: Vergleich der zulässigen zusätzlichen jährlichen Schwermetallfrachten, die über alle Wirkungspfade bei Überschreiten der Vorsorgewerte nach BBodschV (1999) auf Böden aufgebracht werden dürfen und der mit dem Bewässerungswasser aufgebrachten Fracht sowie den angenommenen atmosphärischen Depositionen

Schwermetall	Zulässige Fracht nach BBodSchV	Fracht aus behandeltem Abwasser[1] bei Bewässerungsgabe von 150 mm	Anteil an der zulässigen Jahresfracht	Atmosphärische Deposition von Schwermetallen[2]
Pb	400 g/ha	2,84 g/ha	0,7 %	31 - 310 g/ha
Cd	6 g/ha	0,25 g/ha	4,2 %	1,5 - 3 g/ha
Cr	300 g/ha	3,54 g/ha	1,2 %	3 g/ha
Cu	360 g/ha	11,42 g/ha	3,2 %	11 - 13 g/ha
Ni	100 g/ha	8,43 g/ha	8,4 %	5 - 35 g/ha
Hg	1,5 g/ha	0,15 g/ha	10,1 %	0,2 - 0,8 g/ha
Zn	1 200 g/ha	77,40 g/ha	6,5 %	70 - 618 g/ha

[1]unter Annahme der im Jahr 2013 gültigen Emissionsfaktoren,
[2] Scheffer & Schachtschabel, 2010.

4.2.3.3 Bewertung der Schwermetalleinträge durch Beregnung mit behandeltem Abwasser

Die durch die Emissionsfaktoren abgebildeten Schwermetallkonzentrationen im Ablauf von Klärwerken der GK 5 liegen unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung sowie der Geringfügigkeitsschwellenwerte (Tabelle 16). Die entsprechend der Anforderungen der DIN 19684-10 sowie der Empfehlungen der Thüringischen Landesanstalt (TLL, 2010) sind ebenfalls eingehalten, so dass behandeltes Abwasser als Bewässerungswasser hinsichtlich der Schwermetalle als geeignet gelten kann. Aufgrund der hier vorgenommenen Abschätzungen sind Schädigungen des Bodens, der Pflanze oder des Grundwassers nicht zu besorgen.

Die Maßnahmen am Standort Braunschweig zeigen, dass durch ein gezieltes Management die Belastungen für die potenziell betroffenen Schutzgüter reduziert werden können, z.B. durch die Kontrolle der Indirekteinleiter. Die Schwermetallkonzentrationen im Ablauf des Klärwerks befinden sich auf einem ähnlichen Niveau wie die angegebenen Emissionsfaktoren. Zusätzlich, neben Bodenuntersuchungen, den Indirekteinleiterkontrollen und den regelmäßigen Untersuchungen im Klärwerk, finden Beprobungen des Drainagewassers aus den landwirtschaftlichen Entwässerungssystemen sowie der auf den Verbandsflächen angebauten landwirtschaftlichen Erzeugnisse statt.

4.2.3.4 Schlussfolgerungen, Forschungsbedarf, Empfehlungen

Schwermetalle sind hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Toxizität vergleichsweise gut untersucht. Sie reichern sich während der Abwasserbehandlung im Schlamm an, sodass im Kläranlagenablauf geringe Konzentrationen gemessen werden. Die durch die Feldberegnung erwarteten Frachten stellen einen, wenn auch geringen, zusätzlichen Schwermetalleintrag dar. Da Schwermetalle auch durch andere Pfade eingetragen werden können, sind diese bei der Einhaltung der zulässigen Gesamtfracht zu berücksichtigen. Bei Anwendung geltender Empfehlungen zur Bewässerung kann aus der Sicht der Schwermetalle behandeltes Abwasser als Bewässerungswasser genutzt werden.

Bei Einhaltung der Geringfügigkeitsschwellenwerte kann das Wasser auch zur Grundwasseranreicherung genutzt werden, ohne dass ein schädliche Grundwasserveränderung zu besorgen wäre. Dies wäre im Einzelfall durch geeignete Messprogramme zu verifizieren.

4.2.4 Organischer Kohlenstoff

In der biologischen Abwasserbehandlung werden die abbaubaren Kohlenstoffverbindungen zu durchschnittlich 95 % reduziert. Die organische Restbelastung in behandeltem kommunalem Abwasser ist mit 75 – 150 mg/l CSB bzw. 15 - 40 mg/l BSB_5 (Tabelle 42, Anhang I) auf vergleichsweise niedrigem Niveau begrenzt. Im Durchschnitt erreichen deutsche Kläranlagen mit 21 bis 42 mg/l CSB deutlich niedrigere Werte (DWA, 2012).

Bei der Nutzung zur Bewässerung sind nichtsdestotrotz Wechselwirkungen zwischen diesen Abwasserinhaltstoffen und den Kompartimenten Boden, Grundwasser und Pflanze zu berücksichtigen. Dabei ist zu gewährleisten, dass die in der jeweiligen medialen Umweltschutzgesetzgebung oder in den Regelungen zum Verbraucherschutz definierten Schutzziele nicht gefährdet sind (vgl. Kapitel 3).

Eine Zunahme des Gehalts an organischer Substanz im Boden kann einerseits die Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöhen, sodass dies teilweise als positiver Effekt hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzung angesehen wird (WHO, 2006). Dieser, aus Sicht der Landwirtschaft positive Beitrag sollte jedoch nicht überschätzt werden (LWK Hannover, 2000). Andererseits kann die im Wasser enthaltene organische Substanz die hydraulische Leitfähigkeit der Böden beeinflussen. Eine Gefahr der Kolmation, d.h. der Verstopfung der Bodenporen, besteht bei Fraktionen > 0,45 µm, also größer als die DOC-Fraktion. Besonders davon betroffen sind mittel- bis feinkörnige Böden. Auf tonreichen Böden wird bei einer Kombination aus elektrolythaltigem Bewässerungswasser und organischer Substanz von einer Quellung des Bodens berichtet. Bei großen C/N-Verhältnissen, bei denen eine Mineralisierung gehemmt ist, besteht die Gefahr, dass sich mikrobielle Rasen bilden, die ebenfalls zu einer Kolmation der Poren führen (Magesan *et al.*, 1999). Allerdings sind diese Prozesse schwer zu prognostizieren. Sie hängen in hohem Maße von den Infiltrationsraten bzw. von den Bewässerungsgabenhöhen ab (Coppola *et al.*, 2004).

4.2.5 Organische Mikroverunreinigungen

Eine Fraktion von besonderem Interesse sind die sogenannten Mikroverunreinigungen. Dazu zählen unter anderem Arzneimittel, Weichmacher, Röntgenkontrastmittel, Körperpflegeprodukte, Reinigungsmittel, Pflanzenschutzmittel u.v.a (Kümmerer, 2010). Da die meisten der Substanzen in sehr niedrigen Konzentrationen von nur wenigen Mikro- oder Nanogramm vorkommen, werden sie auch als organische Spurenstoffe, Mikroverunreinigungen oder auch Mikroschadstoffe bezeichnet. Unter dieser Bezeichnung subsummieren sich allerdings Stoffe mit deutlich unterschiedlichen chemisch-physikalischen Eigenschaften.

Zahlreiche Forschungsprojekte haben sich in den letzten 20 Jahren mit dem Nachweis dieser Substanzen in verschieden Umweltmedien und ihrem Verhalten bei der Abwasserbehandlung befasst. Dabei stehen sowohl Untersuchungen zur Ökotoxizität, als auch zu Prozessen und Verfahren der Umwandlung und des Rückhalt in natürlichen und technischen Systemen im Mittelpunkt. Für umfassendere Informationen sei u.a. auf die Ergebnisse des Förderschwerpunktes RiskWa des BMBF verwiesen.

Im Rahmen einer Beregnung mit behandeltem Abwasser sind daher als mögliche Auswirkungen zu betrachten:

- langfristige Effekte auf Boden und Grundwasser (Anreicherung und Verlagerung)
- kurzfristigere Effekte durch Pflanzenaufnahme und Eintrag in die Nahrungskette.

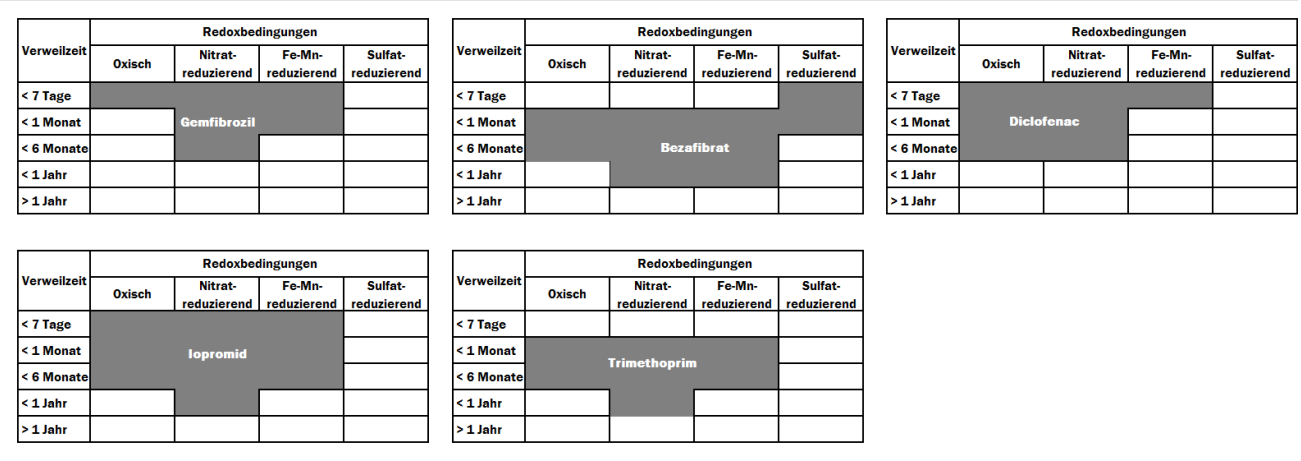
Die Aufklärung des Verbleibs dieser Substanzen im System Boden-Pflanze-Grundwasser ist noch ein junges Forschungsgebiet. Prozesse, die das Verhalten organischer Mikroverunreinigungen beeinflussen, umfassen dabei die Aufnahme durch Pflanzen, kurz- und langfristige Sorptionsprozesse im Boden (Akkumulation), biologische Umwandlungs- und Abbauprozesse, sowie die Verlagerung in darunterliegende Grundwasserleiter (Kunkel & Ternes, 2014).

4.2.5.1 Organische Mikroverunreinigungen im System-Boden-Grundwasser

Das Verhalten von organischen Mikroverunreinigungen während der Boden-/Untergrundpassage ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Umfangreiche Untersuchungen dazu wurden in verschiedenen Forschungsprojekten am Beispiel von Grundwasseranreicherungsstandorten durchgeführt, also für Anwendungen, bei denen einem Grundwasserkörper über lange Zeit gezielt erhebliche Wassermengen zugeführt werden (Massmann *et al.*, 2008, Stuyfzand *et al.*, 2007, Grünheid *et al.*, 2005, Heberer *et al.*, 2004, Zuehlke *et al.*, 2004). Dabei kann es sich um Uferfiltration oder Oberflächeninfiltration handeln.

Eine Zusammenfassung der Erkenntnisse findet sich in Miret *et al.* (2012), die in einer Studie das Verhalten von 12 organischen Spurenstoffen anhand von Ergebnissen aus Untersuchungen an 14 Grundwasseranreicherungsstandorten und Daten aus einem Säulenversuch bewertet haben. Dabei konnten die vorherrschenden Redoxbedingungen und die Aufenthaltszeit als wichtigste Faktoren für die Elimination von Mikroverunreinigungen identifiziert werden. Die Ergebnisse bestätigen andere Untersuchungen (Schmidt & Lange, 2006, Wiese *et al.*, 2011). Andere Einflussfaktoren, wie z.B. die Höhe der Eingangskonzentrationen, gelöster und partikulärer Kohlenstoff oder Temperatureffekte, spielen bei der Betrachtung von Miret *et al.* (2012) keine Rolle. Für 5 der 12 organischen Spurenstoffe lag die Elimination bei 90 - 100 %, sowohl im oxischen als auch im anoxischen Bereich, sowohl bei kurzer (< 7 Tage) als auch bei langer Aufenthaltszeit von bis zu 6 Monaten (Abbildung 30). Die Elimination von Benzotriazol, Phenazon, Carbamezapin und Sulfamethoxazol variiert in Abhängigkeit von den Redoxbedingungen bzw. der Aufenthaltszeit, während Primidon unter keiner der vorgefundenen Bedingungen entfernt wird.

Abbildung 30: Elimination ausgewählter organischer Spurenstoffe bei der Untergrundpassage in Abhängigkeit von Redoxbedingungen und Aufenthaltszeiten (Miret *et al.*, 2012). Dunkelgrau hinterlegte Felder repräsentieren eine > 90 %ige Elimination)



Auch an den Standorten Braunschweig und Wolfsburg wurde der Transfer von Mikroverunreinigungen in das Grundwasser untersucht. Innerhalb des Forschungsprojektes POSEIDON wurde am Standort Braunschweig gezeigt, dass von 52 analysierten und im Abwasser nachgewiesenen Arzneimittelrückständen 6 im Sickerwasser nach 2 m Bodenpassage nachweisbar waren (Ternes *et al.*, 2007). Hierbei handelte es sich um das Antiepileptikum Carbamazepin, das Antibiotikum Sulfamethoxazol sowie vier Röntgenkontrastmittel (Diatrizoat, Iohexol, Iopamidol, Iotalaminsäure). Ein Großteil der anderen Substanzen wurde hingegen bei der Bodenpassage durch Adsorption und Abbau soweit eliminiert, dass sie mit den verwendeten Analysemethoden nicht mehr bestimmbar waren (unterhalb der Bestimmungsgrenze).

Durch neuere Messungen in den Abwasser- und Klärschlammverregnungsgebieten im Raum Braunschweig und Wolfsburg wurden diese Erkenntnisse nochmals bestätigt (NLWKN, 2014). Die Ergebnisse des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz weisen an 16 Messstellen Belastungen des Grundwassers durch Humanarzneimittel in Konzentrationen zwischen 0,01 µg/l und wenigen µg/l nach (vgl. Tabelle 18). Insgesamt wurden 47 Substanzen aus verschiedenen Wirkstoffgruppen untersucht.

Dabei ist anzumerken, dass die Konzentrationen der meisten Substanzen in der Mehrheit der Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Lediglich das Antiepileptikum Carbamazepin (56 % der Proben), Röntgenkontrastmittel (18 % der Proben) und Lipidsenker (17 % der Proben) wurde relativ regelmäßig oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden.

Die Analysenwerte im Verregnungsgebiet Jembke (Wolfsburg) zeigen ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der relevanten Stoffe und Konzentrationen wie die in Braunschweig. Zusätzlich zu den o.g. Stoffen wies der Blutdrucksenker Sotalol Werte über 1 µg/l auf. Außerhalb des Verregnungsgebietes wurden keine Arzneimittelrückstände nachgewiesen.

Im Verregnungsgebiet Brackstedt wurden an zwei Messstellen, an denen zum Zeitpunkt der Probennahme keine Abwasserverregnung stattfand, keine Substanzen gefunden. An den übrigen Messstellen wurde das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure in Konzentrationen von 1,3 - 7,3 µg/l nachgewiesen. Weitere positive Befunde traten in den Untersuchungsgebieten sowohl in oberflächennahen als auch in tiefer verfilterten Messstellen (21 - 32 m Teufe) auf.

Die Messergebnisse zeigen, dass Grundwasser durch die Verregnung von behandeltem Abwasser mit pharmazeutischen Substanzen verunreinigt werden kann. Eine genauere

Korrelation zwischen Verregnungsmenge, Konzentration der Substanzen im aufgebrachten Wasser und nachgewiesenen Stoffen im Grundwasser erfolgte in dieser Studie nicht. Deshalb ist es schwierig, das Gefährdungspotenzial für eine landwirtschaftliche Beregnung mit geringeren Beregnungsmengen abzuschätzen.

Tabelle 18: Umfang der durch das NLWKN durchgeführten Grundwasseruntersuchungen und semiquantitative Auswertung (NLWKN, 2014), (BG: Bestimmungsgrenze)

Untersuchte Arzneimittel-Wirkstoffgruppen bzw. Röntgen-kontrastmittel	Medizinische Verwendung	Anzahl unter-suchter Wirkstoffe	Analysenergebnisse (Anzahl)				
			Anteil Proben < BG	< 0,01 µg/l (BG)	< 0,1 µg/l	< 1µg/l	> 1,0 µg/l
Lipidsenker und Metabolite	Bei Fettstoff-wechselstörungen, z.B. erhöhtem Cholesterin	5	83 %	66	12	1	1
Antiphlogistika, Antipyretika, Analgetika	Entzündungshem-mer, Fiebersenker, Schmerzstiller	9	89 %	128	15	0	1
Antiepileptikum	Bei Fallsucht und Schmerzen	1	44 %	7	5	3	1
Betablocker	Bei Bluthochdruck, adrenalinhemmend	10	96 %	153	6	0	1
Psychopharmaka	Bei psychischen Störungen	1	100 %	16	0	0	0
Zytostatika	Hemmung des Zellwachstums (z.B. bei Krebs)	2	100 %	32	0	0	0
Broncholytika, Sekretolytika	Bei Verkrampfungen bei Bronchitis, Schleimlöser	5	100 %	80	0	0	0
Antibiotika und Chemo-therapeutika	Bei Infektions-krankheiten, zur selektiven Schädigung von Zellen	7	97 %	103	1	1	1
Röntgenkontrast-mittel	Darstellung von Strukturen des Körpers bei der Röntgendiagnostik	8	82 %	105	6	6	11

4.2.5.2 Organische Mikroverunreinigungen im System Boden-Pflanze

Neben dem Grundwasserschutz sind aus agronomischer Sicht und im Hinblick auf die Produktsicherheit die Auswirkungen der Mikroverunreinigungen auf die Pflanzen zu betrachten.

Die Bewertung organischer Mikroverunreinigungen hinsichtlich ihrer Phytoxizität bzw. ihrer Pflanzenverfügbarkeit und der Aufnahme in die Pflanze wurde erst im letzten Jahrzehnt Schwerpunkt zahlreicher Untersuchungen. Carvalho *et al.* (2014) geben einen strukturierten Überblick über den Stand der Forschung. Viele der zitierten Studien befassen sich mit Antibiotika und versuchen die möglichen Auswirkungen der Düngung mit Gülle/Tierexkrementen abzuschätzen. Aber auch Einträge anderer pharmazeutischer Wirkstoffe, z.B. durch aufbereitetes Abwasser in das System Boden-Pflanze, wurden untersucht (Calderon *et al.*, 2014, Grassi *et al.*, 2013, Carter *et al.*, 2012, Fatta-Kassinos *et al.*, 2011, Shenker *et al.*, 2011, Wu *et al.*, 2010). Zu den häufig untersuchten Substanzen gehören Carbamazepin, Diclofenac, Ibuprofen, Sulfonamid-Antibotika und Tetracycline.

Ein Großteil der Studien erforscht die Phytoxizität verschiedener Substanzen und arbeitet daher in einem breiten Konzentrationsbereich. Effektkonzentrationen der Substanzen liegen dabei im niedrigen mg/l- bis zweistelligen µg/l- Bereich und somit deutlich höher als die im behandelten Abwasser kommunaler Kläranlagen tatsächlich vorkommenden Konzentrationen dieser Stoffe (Tabelle 19). Die Untersuchungen fokussieren dabei auf nachteilige Effekte auf das Pflanzenwachstum, wie Keimungsrate, Wurzellänge, allgemeine Entwicklung nach Keimung, Photosynthesepigment u.ä.

Labor- und Felduntersuchungen haben gezeigt, dass einige im Bewässerungswasser oder Boden enthaltene Arzneistoffe von Pflanzen aufgenommen werden (Calderón-Preciado *et al.*, 2013, Shenker *et al.*, 2011, Herklotz *et al.*, 2010, Huber *et al.*, 2009). Pharmazeutika werden dabei auch bei Verabreichung in realen Abwasserkonzentrationen von Pflanzen aufgenommen, teilweise metabolisiert und in bestimmten Pflanzenteilen angereichert. Die Konzentrationen bewegen sich dann im Bereich von wenigen ng/g Gewebe. So wird beispielsweise Carbamazepin von Gurken, Tomaten und Karotten aufgenommen. Zumeist erfolgt ein Transport bis in die oberirdischen Pflanzenteile mit einer Akkumulation in den Blättern (Goldstein *et al.*, 2014, Malchi *et al.*, 2014, Calderón-Preciado *et al.*, 2013, Shenker *et al.*, 2011). Die zitierten Studien bieten erste Erklärungsmuster für die zugrundeliegenden komplexen Mechanismen von Bioverfügbarkeit, Aufnahme und Transport und deren Abhängigkeit von physikalisch-chemischen Boden- und Substanzeigenschaften.

Tabelle 19: Konzentration von ausgewählten Mikroverunreinigungen in Kläranlagenabläufen und in Studien zu Phytoxizität und Pflanzenaufnahme

CBZ	DF	SMX	Quelle und untersuchter Aspekt
Mittlere Konzentration in behandeltem Abwasser			
1,1 - 1,8 µg/l	1,3 - 4,9 µg/l	0,65 - 1,0 µg/l	MKULNV (2014)
0,56 ± 0,2 µg/l	1,34 ± 0, 5 µg/l	0,42 ± 0,18 µg/l	Abegglen & Siegrist (2012)
0,78 µg/l	1,08 µg/l	0,13 µg/l	Fick *et al.* (2011), verschiedene schwedische Kläranlagen
2,1 ± 0,7 µg/l	1,3 ± 0,9 µg/l	0,62 ± 0,09 µg/l	Ternes *et al.* (2007)
In Studien getestete Konzentration (Bewässerungswasser)			
232,5 µg/l		232,5 µg/l	Herklotz *et al.* (2010), Aufnahme und Anreicherung
	ca. 2 500 µg/l (10 µM)		Huber (2012), Metabolismusstudie

CBZ	DF	SMX	Quelle und untersuchter Aspekt
1 µg/l			Shenker *et al.* (2011), Aufnahme und Anreicherung
10 µg/l			Wu (2010), Aufnahme und Anreicherung
0, 12 - 0,37 µg/l	3,8 – 22,4 µg/l		Calderón-Preciado *et al.* (2013), Aufnahme und Anreicherung
1,06 ± 0,13 µg/l* 1,95 ± 0,17 µg/l**		0,28 ± 0,12 µg/l* 0,82 ±0,51 µg/l**	Goldstein *et al.* (2014), Aufnahme und Anreicherung, *reale Konzentration im Abwasser, ** gespikte Konzentration im Abwasser

CBZ: Carbamazepin, DF: Diclofenac, SMX: Sulfamethoxazol.

4.2.5.3 Schlussfolgerungen, Forschungsbedarf, Empfehlungen

Da bei der konventionellen kommunalen Abwasserbehandlung die organischen Mikroverunreinigungen nicht vollständig entfernt werden, gelangen sie mit dem Bewässerungswasser auf landwirtschaftlich genutzte Flächen. Auch bei bedarfsgerechter Beregnung lässt sich die Bildung von Sickerwasser nicht vollständig ausschließen, demzufolge organische Spurenstoffe mit diesem in tieferen Bodenschichten und das Grundwasser verlagert werden können. Gleichzeitig werden aber bei der Boden- und Untergrundpassage viele Mikroverunreinigungen entfernt oder zumindest teilweise abgebaut, sodass oft nur eine geringe Anzahl der im Abwasser analysierten Mikroverunreinigungen im Grundwasser nachgewiesen werden kann. Das Risiko einer Grundwassergefährdung kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Die niedersächsischen Behörden haben daher auf Grundlage ihrer Untersuchungen an den Standorten Braunschweig und Wolfsburg empfohlen, die Verregnung bzw. Verrieselung nicht auf weitere Gebiete auszudehnen (NLWKM, 2014). Zudem sollten technische Lösungen, wie die Einführung einer weiteren Reinigungsstufe zum Rückhalt von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln im Klärwerk, erwogen werden. An den vorgesehenen Standorten sollte zudem ein regelmäßiges Monitoring stattfinden.

Beim Abbau organischer Verbindungen ist zwischen „Entfernung“ und „Mineralisierung“ zu unterscheiden. Während bei der „Mineralisierung“ die Ausgangssubstanz vollständig abgebaut wird, beschreibt die „Entfernung“ lediglich die Konzentrationsabnahme der Ausgangssubstanz. Der DWA-Themenband „Bedeutung von Transformationsprodukten für den Wasserkreislauf“ gibt einen Überblick über die spezifischen Herausforderungen, die Abbauprodukte anthropogener Spurenstoffe für die Bewirtschaftung von Wasserressourcen darstellen (Ternes *et al.*, 2014). Praxistaugliche Methoden zur Bewertung und Überwachung von Stoffgemischen und deren Transformationsprodukten sind noch in der Entwicklung. Wie letztendlich die Verlagerung stofflicher Emissionen - also die Reduktion direkter Einträge in Oberflächengewässer hin zum Kompartiment Boden-Grundwasser - sowie die Reinigungsleistung der Untergrundpassage aus umweltpolitischer Sicht zu bewerten ist, geht über die rein wissenschaftliche Darstellung relevanter Transferpfade und Abbaumechanismen hinaus und muss an administrativen Stellen entschieden werden.

Während Mikroverunreinigungen im Grundwasser oder in Pflanzen dank fortschrittlicher Analytik auch in geringen Konzentrationen nachweisbar sind, bestehen bei der Risikobewertung dieser sehr niedrigen Konzentrationen, sowohl von Einzelsubstanzen als auch von Stoffgemischen, weiterhin Wissenslücken und Forschungsbedarf. Übergangsweise könnten

Grundwasserkonzentrationen auf Basis des Konzepts der gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) bewertet werden, welches im Trinkwasserbereich angewendet wird.

Auch für die Konzentrationen von Mikroverunreinigungen in erzeugten Lebensmitteln wären Grenzwerte festzulegen. Derzeit orientieren sich die Verfasser verschiedener Studien (Malchi *et al.*, 2014) bei der Bewertung ihrer Ergebnisse am Konzept des Threshold of Toxicological Concern (TCC), also eines Schwellenwerts für die toxikologische Unbedenklichkeit einer Substanz.

Das Spektrum an Mikroverunreinigungen im behandelten Abwasser hängt maßgeblich von der Art der angeschlossenen Einleiter ab. Während Einträge aus Haushalten als durchweg ähnlich anzunehmen sind, kann das Abwasser indirekt einleitender industrieller Betriebe je nach Branche spezifische Industriechemikalien enthalten, deren phytotoxischen oder bodenbeinflussenden Eigenschaften ggfs. zu bewerten wären. Eine entsprechende Überprüfung auf etwaige problematische Indirekteinleiter ist vor Aufnahme einer Bewässerung mit behandeltem Abwasser vorzunehmen.

4.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit Ausnahme von Mikroverunreinigungen existieren für die betrachteten Aspekte Hygiene, Salzgehalt und spezifische Einzelionen, Nährstoffe und Schwermetalle bereits konkrete Empfehlungen für die Qualität des Bewässerungswassers. In verschiedenen Gesetzen, Normen und Empfehlungen finden sich zudem Anhaltspunkte für die Bewertung der Eignung von behandeltem Abwasser für landwirtschaftlichen Beregnung (siehe Kapitel 3).

Die hygienische Qualität in den Eignungsklassen 1,2 und 3 nach DIN 19650 kann nur durch eine zusätzliche Abwasserdesinfektion erreicht werden. 96 % des behandelten Abwassers mit einer biologischen Reinigung entsprechen bei zusätzlicher Nichtnachweisbarkeit von parasitären Dauerstadien der Eignungsklasse 4 und sind folglich zur Bewässerung ausgewählter Kulturarten geeignet.

Die Norm DIN 19650 selbst liefert bereits eine sehr gute Bewertungsgrundlage, da sie verschiedene Maßnahmen zur Risikoreduktion berücksichtigt. Eine Aufnahme viraler Indikatororganismen ist zu empfehlen. Bei einer indirekten Nutzung des behandelten Abwassers durch eine Grundwasseranreicherung ist ein ausreichender Abstand zu Trinkwassergewinnungsgebieten einzuhalten (siehe Kapitel 4.1.4).

Hohe Salzkonzentrationen im Bewässerungswasser sind bei den geringeren Beregnungshöhen im Vergleich zu ariden Gebieten eher als unbedenklich einzustufen. Dennoch kann es durch die im Abwasser enthaltenen Einzelionen sowie den Salzgehalt zu Nutzungseinschränkungen kommen. Die relevanten Parameter sind folglich im Bewässerungswasser zu messen. Bei Überschreitung müssen entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, um Boden und Pflanze zu schützen. Hierzu zählt die anteilige Nutzung anderer Wasserquellen. Unterschiede zwischen den Größenklassen der Kläranlagen und den Salzkonzentrationen konnten nicht abgeleitet werden. Bei Einhaltung der Geringfügigkeitsschwellenwerte für Einzelionen (Chlorid, Bor) ist auch die indirekte Nutzung über die Grundwasseranreicherung möglich.

Bei Einhaltung der gesetzlichen Einleitwerte für N_{ges} und P_{ges} können die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe nur einen geringen Teil des Pflanzenbedarfs, ca. 10 %, decken. Die aufgebrachten Nährstoffmengen sind jedoch bei den jährlichen betrieblichen Nährstoffvergleichen zu berücksichtigen.

Ein Verzicht auf die Stoffelimination im Klärwerk wird nicht empfohlen, da die Nährstofffrachten dann sehr hoch sein können und eine pflanzenbedarfsgerechte Düngung

schwierig ist. Die effektive Rückgewinnung und/oder Kreislaufführung von im Abwasser enthaltenen Nährstoffen durch technologische oder organisatorische Innovationen wird als Alternative mit hohem Verwertungspotenzial gesehen.

Bezüglich der Stickstoffeinträge bei der indirekten Nutzung über die Grundwasseranreicherung sind die Schwellenwerte der GrwV zu berücksichtigen. Diese sollten aufgrund der hohen Relevanz von Nitrat im Grundwasser bereits vor der Infiltration eingehalten werden. Dies entspräche einer N_{ges}-Konzentration von ca. 11 mg/l. Dieser Wert liegt unterhalt der Grenzwerte der AbwV für Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5. Da für kleinere Klärwerke derzeit kein Grenzwert für Gesamt-Stickstoff existiert, ist diese Einschränkung für kleine Kläranlagen besonders relevant.

Auf der Grundlage der verwendeten Emissionsfaktoren kann in den kommunalen Klärwerksabläufen mit sehr niedrigen Schwermetallkonzentrationen gerechnet werden. Die Emissionswerte liegen im Bereich der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) oder darunter und halten die Anforderungen der DIN 19684-10 sowie diejenigen der TLL- Empfehlungen ein. Eine Grundwasseranreicherung wäre bei Einhalten der GFS möglich. Unterschiede zwischen den Größenklassen ließen sich nicht ableiten.

Für die im behandelten Abwasser enthaltenen Mikroverunreinigungen fehlt bislang eine konkrete Bewertungsgrundlage. Obwohl bei der Untergrund- und Bodenpassage eine Vielzahl von Stoffen zumindest teilweise abgebaut wird, ist bei der Bewässerung mit behandeltem Abwasser, welches nach dem derzeitigen Stand der Technik behandelt wurde, von Einträgen in das Grundwasser auszugehen. Ab welchen Konzentrationen eine nachteilige Veränderung des Grundwassers nach GrwV und WHG nicht mehr zu besorgen ist, bleibt unklar. Die bundesdeutsche Rechtslage stellt das Grundwasser unter besonderen Schutz, sodass dem Grundwasserschutz im Zweifelsfall meist Vorrang gegeben wird.

Soll behandeltes Abwasser zur Bewässerung genutzt werden, sind die übergeordneten Umweltbehörden in der Pflicht, den behördlichen Entscheidungsträgern, aber auch den Landwirtschaftsbetrieben eine verlässliche Bewertungsgrundlage in die Hand zu geben.

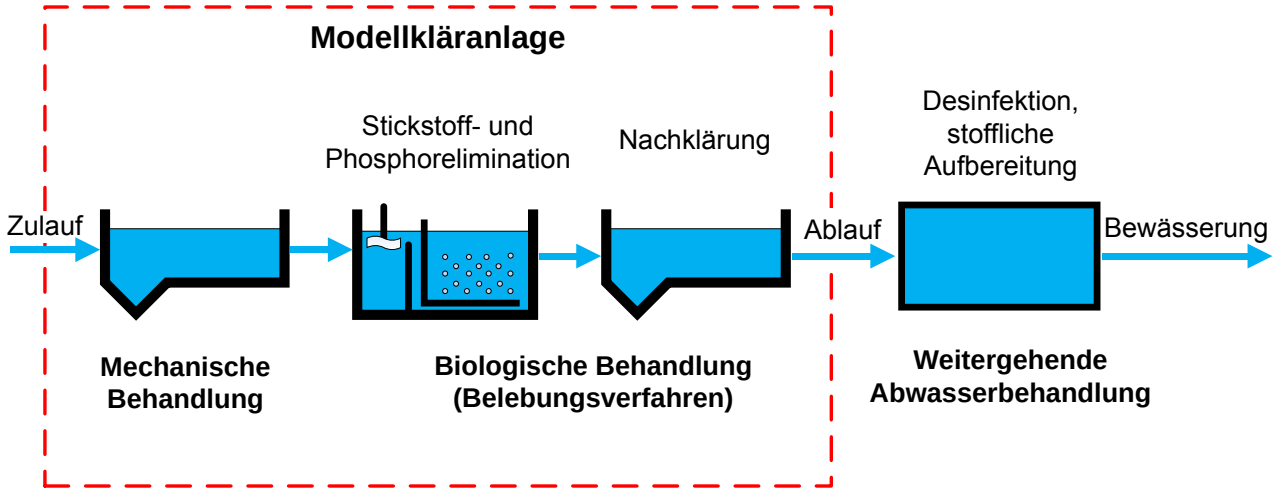
5 Weitergehende Abwasserbehandlung

Im vorangegangen Kapitel wurde gezeigt, dass sich potenzielle Defizite hinsichtlich der Ablaufqualität kommunaler Kläranlagen bezüglich der Hygiene, dem Salzgehalt, toxischer Einzelionen, den Konzentrationen von Mikroverunreinigungen sowie dem Stickstoffgehalt ableiten lassen. Im Folgenden werden daher technische Optionen zur gezielten Entfernung von hygienischen und stofflichen Belastungen aufgezeigt.

Unter dem Begriff „weitergehende Abwasserbehandlung“ werden alle technischen Optionen zur Aufbereitung von Abwasser zusammengefasst, die über den in Deutschland üblichen Stand der Technik hinausgehen. Der übliche Stand der Technik ist vereinfacht als eine definierte Modellkläranlage in Abbildung 31 dargestellt.

Diese Modellkläranlage verfügt über ein Belebungsverfahren, also eine biologische Behandlung mit Ausbaustufe zur gezielten Nitrifikation, Denitrifikation sowie Phosphorentfernung und kann als repräsentativ für Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 angenommen werden. Mit 98 % ist das Belebtschlammverfahren innerhalb der Größenklassen 4 und 5 am weitesten verbreitet (DWA, 2012).

Abbildung 31: Schema der Modellkläranlage sowie der weitergehenden Abwasserbehandlung



Kläranlagen dieser Größenklassen behandeln rund 91 % des kommunalen Abwassers in Deutschland (DWA, 2012). Es wird daher angenommen, dass im Ablauf der Modellkläranlage mindestens die Grenzwerte für die Größenklasse 4 eingehalten werden (siehe Tabelle 42).

Darauf aufbauend werden Verfahrenstechniken zum Erreichen der hygienischen (Desinfektion) und stofflichen Anforderungen (stoffliche Aufbereitung) betrachtet.

Tabelle 20 gibt einen Überblick über alle betrachteten Verfahren zur weitergehenden Behandlung. Die darin aufgeführten Parameter orientieren sich dabei an denen des vorangegangenen Kapitels und sollen so die Orientierung bezüglich der möglichen Zielparameter der verschiedenen Verfahren vereinfachen. Darüber hinaus ermöglicht Tabelle 20 auch eine grobe Einordnung der Eliminationsleistungsfähigkeit bezüglich Krankheitserregern, Nährstoffen, Schwermetallen, organischen Mikroverunreinigungen, spezifischen Einzelionen und Salzen.

Der Fokus liegt auf den für Deutschland repräsentativen Kläranlagen mit Belebungsverfahren der Größenklasse 4 und 5. Kleinere Kläranlagen der GK 1 - 3 sind prinzipiell genauso für diese Verfahren geeignet, es sind jedoch höhere Investition- und Betriebskosten zu erwarten. Zudem würden sich bei kleineren Kläranlagen höhere Kosten für das Monitoring der Abwasseraufbereitung ergeben. Auch sind die Abwassermengen der Kläranlagen GK 1 und 2 sehr gering, sodass sie weniger für eine Beregnung geeignet sind (vergleiche Kapitel 6.2). Eine mögliche Option wäre, die Abläufe mehrerer kleinerer Kläranlagen der GK 1 - 3 zu vereinen und einer gemeinsamen weitergehenden Behandlung zuzuführen.

Des Weiteren wäre in diesem Fall zu beachten, dass für Kläranlage der Größenklassen 1 bis 3 geringere Anforderungen an die Ablaufqualität gestellt werden. Ein Grenzwert für Gesamt-Stickstoff und -Phosphor existiert für die Größenklassen 1 bis 3 nicht (Tabelle 42). Je nach Qualitätsanforderung könnte somit zusätzlich zur weitergehenden Behandlung (Desinfektion, stoffliche Aufbereitung) eine Nährstoffelimination bzw. eine Elimination des organischen Kohlenstoffes notwendig sein. Mögliche Optionen für diesen speziellen Fall sollen im Rahmen dieses Berichtes nicht betrachtet werden.

Tabelle 20: Überblick der betrachteten Verfahren zur weitergehenden Behandlung von Abwasser

		UV	Ozonung	Chlorung	Membranverfahren				Schnell-sand-filter	Fällung / Flockung	Mikrosieb	Schönungs-teich	Bio-filter	Aktiv-kohle
					MF	UF	NF	RO[7]						
Hygiene	Viren	x	x	x	(x)[1]	(x)[1]	x	x	(x)[3]	(x)[5]		(x)[5]		
	Bakterien	x	x	x	x	x	x	x	(x)[3]			(x)[5]		
	Protozoen	x	x		x	x	x	x	(x)[3]	(x)[5]		(x)[5]		
	Helmintheneier				x	x	x	x	(x)[3]		(x)[3]	(x)[5]		
Nährstoffe (N, P)					(x)[2]	(x)[2]	x	x	(x)[4]	x	(x)[4]	x	x	x[6]
Schwermetalle								x		x				
Organische Mikroverunreinigungen			x				x	x					x	X
Ionen (Salze)							x	x						

[1] Rückhalt von Membrancharakteristik (Porengröße, Porengrößenverteilung) und Betriebsparametern abhängig
[2] in Kombination mit biologischem Verfahren
[3] Rückhalt von Filtermedium und Betriebsparametern abhängig
[4] partikulär gebundene Nährstoffe
[5] Rückhalt von Betriebsparametern abhängig
[6] organische Verbindungen
[7] Umkehrosmose

Markierung mit einem Kreuz bedeutet Eignung zur Abscheidung bzw. Elimination, Klammern - Abscheidung bzw. Elimination ist nur mit Einschränkungen zu erwarten.

5.1 Verfahren zur Desinfektion von behandeltem Abwasser

Für die Desinfektion von behandeltem Abwasser steht eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung, die sich in ihren Wirkmechanismen grundlegend unterscheiden (vgl. (DIN EN 12255-14, 2004)[34]:

- Inaktivierung der Mikroorganismen, sodass eine Vermehrungsfähigkeit nicht mehr gegeben ist, z. B. durch Chlorung, Ozonung, Chlordioxiddosierung und UV-Bestrahlung,
- Entfernung der Mikroorganismen ohne Inaktivierung der Mikroorganismen, z. B. durch Mikro- oder Ultrafiltration, Schönungsteiche.

Tabelle 21 stuft die einzelnen Verfahren hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zur Reduktion von Viren, Bakterien, Protozoen und Helmintheneiern grob qualitativ ein. Die meisten Verfahren erreichen eine gute Inaktivierung oder Entfernung von Bakterien, wohingegen dies für Viren oder Protozoen schwieriger ist.

Tabelle 21: Wirksamkeit ausgewählter Verfahrenstechniken hinsichtlich der Desinfektion von behandeltem Abwasser

Verfahren	Wirkmechanismus	Viren	Bakterien	Protozoen	Helmintheneier
Chlorung	Inaktivierung	○	+	-	-
Ozonung	Inaktivierung	○ bis +	○ bis +	- bis ○[1]	-
UV-Bestrahlung	Inaktivierung	○ bis +	+	- bis +[4]	-
Membranverfahren (MF)	Entfernung	○	+	+	+
Membranverfahren (UF)	Entfernung	○ bis +	+	+	+
Mikrosiebung	Entfernung	-	-	- bis ○	+[2]
Schnellfiltration	Entfernung	○	○	○	○
Fällung/Flockung	Entfernung	○	-	○	-
Schönungsteich	Entfernung	○	+	+	○[3]

+ = hohe Reduktion (> 3 Log-Stufen)
○= mittlerer Reduktion (2 -3 Log-Stufen)
- = niedrige Reduktion (< 2 Log-Stufen)
[1] abhängig von der Ozonkonzentration
[2] abhängig von der Porenweite des Filtermediums (Annahme hier 10 µm)
[3] abhängig von der Aufenthaltszeit
[4] abhängig von der Trübung

5.1.1 Chlorung

Die Chlorung ist ein vielfach angewendetes Verfahren zur Desinfektion von behandeltem Abwasser (Kobylinski & Bhandari, 2010). Zur Trinkwasserdesinfektion wird Chlor bereits seit

[34] DIN EN 12255-14: Kläranlagen - Teil 14: Desinfektion, 2004.

rund 100 Jahren großtechnisch eingesetzt (Roeske, 2007). In Deutschland besteht laut DWA allgemeiner Konsens darüber, dass eine Desinfektion von gereinigtem kommunalem Abwasser mit Chlor wegen der Bildung unerwünschter Folgeprodukte abzulehnen ist (DWA, 2013). Das Verfahren wird daher nicht weiter beschrieben und nicht zur Behandlung von behandeltem Abwasser empfohlen.

5.1.2 UV-Bestrahlung

Die UV-Bestrahlung ist ein wirksames Desinfektionsverfahren gegenüber einem weiten Spektrum wasserassoziierter bakterieller Krankheitserreger (Hijnen *et al.*, 2006). Auch eine Inaktivierung von Cryptosporidien und Giardien ist im Gegensatz zur chemischen Desinfektion mit der UV-Strahlung möglich. Allerdings zeigen insbesondere Viren und sporenbildenden Bakterien eine ausgeprägte Resistenz gegenüber der UV-Bestrahlung (Koutchma *et al.*, 2009), wobei Adenoviren die höchste Resistenz gegenüber der UV-Desinfektion aufweisen (Meng & Gerba, 1996, Thurston-Enriquez *et al.*, 2003; Nwachuku *et al.*, 2005, Gerba *et al.*, 2005, Linden *et al.*, 2007, Eischeid *et al.*, 2009). Die UV-Bestrahlung ermöglicht darüber hinaus auch keine ausreichende Inaktivierung von Eiern parasitärer humanpathogener Würmer (Helminthen) (Jimenez, 2007, Jimenez & Maya, 2007).

Vorteil der UV-Strahlung ist, dass keine Reaktionsprodukte entstehen, welche die Wasserqualität beeinträchtigen könnten (Berhardt, 1994, Tchobanoglous *et al.*, 2003). Des Weiteren ist im Gegensatz zu den chemischen Desinfektionsverfahren die UV-Desinfektionsleistung weder pH-Wert- noch temperaturabhängig und wirksam gegenüber einigen Dauerformen von Parasiten, z.B. Oocysten von *Cryptosporidium spp.* (Sommer, 2006).

Nachteilig bei der UV-Desinfektion ist, dass die Inaktivierung der Mikroorganismen nur am Ort der Strahlung erfolgt (Sommer, 2006) und somit keine Desinfektionskapazität im Wasser verbleibt. Neben der Gefahr der Wiederverkeimung können molekulare Reparaturmechanismen zu einem Anstieg der Mikroorganismenanzahl nach erfolgter Desinfektion führen (Hijnen *et al.*, 2006, Jungfer, 2006). In jedem Fall sollte das zu behandelte Abwasser vor der Bestrahlung weitestgehend biologisch gereinigt sowie luftblasenfrei sein und niedrige Konzentrationen an Feststoffen aufweisen. Gemäß DWA (2013) wird eine Konzentration von abfiltrierbaren Stoffen von kleiner als 20 mg/l empfohlen. Bezüglich der Trübung wird für die UV-Desinfektion (zur Trinkwasserbehandlung) eine Trübung von kleiner als 0,3 FNU[35] empfohlen (DVGW, 2006). Für Wasser zur Wiederverwendung wird je nach Verwendungszweck eine maximale Trübung von 0,1 bis 30 NTU empfohlen (USEPA, 2012). Eine mechanische Abscheidung von Feststoffen könnte somit insbesondere bei der Behandlung von behandeltem Abwasser zwingend notwendig sein.

5.1.3 Ozonung

Ozon stellt eines der stärksten Oxidations- und Desinfektionsmittel dar, welches Anwendung in der Wasser- und Abwasserbehandlung findet (Burns, 2010). Es wird zur Desinfektion und zur Oxidation (z. B. zur Entfernung von Geruchs- und Geschmacksstoffen, Entfärbung, Elimination anthropogener Spurenstoffe) in der Wasseraufbereitung eingesetzt (USEPA, 1999). Da neben der Desinfektion auch eine Entfernung von Mikroverunreinigungen (siehe Kapitel 4.2.5) erzielt

35 Vereinfachend kann hier angenommen werden, dass die Einheit FNU (Formazine Nephelometric Units) etwa der Einheit NTU (Nephelometric Turbidity Unit) entspricht (gleiches Messprinzip Streulichtverfahren bei 90° Messwinkel, jedoch unterschiedliche Lichtquellen (Weißlicht bzw. Infrarot).

werden kann, wird der Ozonung zunehmend ein steigendes Interesse entgegengebracht (Gottschalk *et al.*, 2010).

Die Inaktivierung durch Ozon erfolgt durch die Oxidation von Komponenten der Zellmembran, die Störung der Enzymaktivität und die Beschädigung der Nukleinsäuren sowie der Proteinhüllen (USEPA, 1999). Ozon ist ein wirksames Desinfektionsmittel gegenüber einem breiten Spektrum an Mikroorganismen. Zu beachten ist jedoch, dass (Oo-)zysten von Protozoen, speziell die von *Giardia spp.* und *Cryptosporidium spp.* sowie bakterielle Sporen deutlich höhere Resistenzen gegenüber Ozon aufweisen als Bakterien und Viren (Paraskeva & Graham, 2002). Die Ozonung ermöglicht darüber hinaus keine ausreichende Inaktivierung von Helmintheneiern (Jimenez, 2007, Jimenez & Maya, 2007).

Ein Vorteil der Ozonung ist, dass die Desinfektionswirkung kaum durch den pH-Wert beeinflusst wird. Die Ozonung erhöht zudem den Sauerstoffgehalt des behandelten Wassers (USEPA, 1999). Des Weiteren wird durch die Ozonung die Entfernung von Geruchs- und Geschmacksstoffen, die Entfärbung, die Oxidation von Eisen, Mangan und Sulfid sowie die Elimination von Mikroverunreinigungen erzielt.

Ein maßgeblicher Nachteil der Ozonung ist die Bildung einer Vielzahl organischer und anorganischer Desinfektionsnebenprodukte, welche bei der Reaktion von Ozon und OH-Radikalen mit organischen und anorganischen Wasserinhaltsstoffen entstehen (von Gunten, 2003). Zum Beispiel werden Bromid-Ionen im Wasser zu Bromat oxidiert, welches im Verdacht steht, kanzerogen sowie gentoxisch zu sein (von Gunten & Hoigné, 1994, Chrobok, 2003, Richardson *et al.*, 2007). Außerdem ist anzumerken, dass organische Wasserinhaltsstoffe bei der Ozonung nicht vollständig mineralisiert, sondern in der Regel zu unbekannten Zwischenprodukten transformiert werden (Shang *et al.*, 2006, Stalter *et al.*, 2009, Prasse *et al.*, 2012). Darüber hinaus ist bei der Ozonung auch zu beachten, dass die für den Desinfektionsprozess zur Verfügung stehende Ozonmenge entsprechend der Konzentration an anorganischen und organischen Abwasserinhaltsstoffen reduziert wird. Grundsätzlich reagieren anorganische Abwasserinhaltsstoffe (z. B. Nitrit) schneller mit Ozon als organische Substanzen (Gottschalk *et al.*, 2010). Ein weiterer Nachteil der Ozonung ist, dass bei der Ozonung die Konzentration von biologisch verfügbarem Kohlenstoff zunimmt. Dies hat zur Folge, dass das Wiederverkeimungspotenzial des behandelten Wassers tendenziell erhöht wird (Graham, 2000). Außerdem wird durch die Ozonung keine Depotwirkung (Desinfektionskapazität) erzielt (USEPA, 1999).

5.1.4 Membranverfahren

Zur Abscheidung von Partikeln bzw. Makromolekülen aus einer wässrigen Phase können Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen eingesetzt werden. Die Desinfektionswirkung basiert auf dem mechanischen Rückhalt der Mikroorganismen. Mikrofiltrationsmembranen mit Porengrößen von ca. 0,1 bis 1 µm können die Abscheidung von Bakterien sicherstellen. Im Labormaßstab konnte zum Beispiel mit einer Mikrofiltrationsmembran mit einer Porenweite von 0,2 µm ein vollständiger Rückhalt von *Escherichia coli* erzielt werden (Arroja *et al.*, 2005). Mikrofiltrationsmembranen mit einer Porenweite, die Viren aufgrund ihrer Größe passieren könnten, können unter Umständen trotzdem einen signifikanten Rückhalt von Viren erzielen. In diesem Falle ist nicht mehr die mechanische Siebwirkung durch die Membranporen für den Rückhalt verantwortlich, sondern der Rückhalt wird von Prozessparametern und der Abwasserzusammensetzung beeinflusst (Huang *et al.*, 2012). Ultrafiltrationsmembranen mit Porengrößen von ca. 0,01 bis 0,1 µm ermöglichen hingegen aufgrund der geringen Porengröße auch den Rückhalt von Viren (und Bakterien) (Madaeni *et al.*, 1995). Zu beachten ist jedoch,

dass der Rückhalt von Viren mittels Ultrafiltrationsmembranen abhängig von der Membrancharakteristik (Porengröße, Porengrößenverteilung, Material), den Eigenschaften des abzutrennenden Virus (Größe, Oberflächenladung) und den Abwasserinhaltsstoffen (suspendierte Stoffe, Foulants, wie z. B. Huminsäuren) ist (Urase *et al.*, 1996, Yin *et al.*, 2015). In Abhängigkeit der Membrancharakteristik kann daher auch bei der Ultrafiltration unter Umständen ein relativ geringer Rückhalt von 2 - 3 log-Stufen zu beobachten sein (Yin *et al.*, 2015). Anzumerken ist, dass der Rückhalt von Viren in aeroben Membranbioreaktoren (Bioreaktor in Kombination mit Membran zum Biomasserückhalt) differenziert betrachtet werden sollte. In der Regel werden in Membranbioreaktoren Membranen mit einer Porengröße von 0,03 µm oder größer verwendet. Einige humanpathogen Viren können die Membran theoretisch aufgrund ihrer geringen Größe passieren. Trotzdem konnten in aeroben Membranbioreaktoren Rückhalte von 4,6 – 5,7 (Norovirus GII) bzw. 4,1 – 7,3 log-Stufen (FRNA Bakteriophagen) beobachten werden (Branch *et al.*, 2016, Chaudhry *et al.*, 2015). Dies kann unter anderem auf das Anhaften von Viren an partikuläre Stoffe, welche von der Membran zurückgehalten werden, und den Aufbau einer Deckschicht, welche als zusätzliche Barriere fungiert, zurückgeführt werden (Chaudhry *et al.*, 2015).

Zur Ermittlung des Virenrückhaltes können Testorganismen sowie inerte Nanopartikel oder Makromoleküle als Modellsubstanzen eingesetzt werden (Duek *et al.*, 2012). Ein standardisiertes Testverfahren existiert bislang nicht. Forschungsbedarf besteht insbesondere noch hinsichtlich von Überwachungsmethoden für den Rückhalt von Partikeln im Größenbereich von Viren sowie für Integritätsprüfungen im laufenden Betrieb (DVGW, 2006). Für Integritätsprüfungen könnte der Einsatz von Nanopartikeln eine praxistaugliche Möglichkeit darstellen (Antony *et al.*, 2014).

5.1.5 Sonstige Desinfektionsverfahren

Ein weiteres Verfahren ist die Dosierung von Peroxyessigsäure (PES). Die Desinfektionswirksamkeit von PES gegenüber Bakterien und Viren ist weithin bekannt (Baldry *et al.*, 1991, Lefevre *et al.*, 1992, Liberti *et al.*, 2000, Gehr *et al.*, 2003, Koivunen *et al.*, 2005). Die relative Empfindlichkeit von Mikroorganismen gegenüber PES kann, in absteigender Reihenfolge, wie folgt eingestuft werden: Bakterien, Viren, Bakteriensporen, Protozoen (Kitis, 2004). Bislang sind keine toxischen oder mutagenen Desinfektionsnebenprodukte bekannt (Dell´Erba *et al.*, 2007, Block, 2001). Allerdings wirken diese Verfahren nicht gegen RNA-Phagen. Dadurch besteht das Risiko, dass auch andere RNA-Viren, z.B. Noroviren, nicht reduziert werden. Außerdem führt der Einsatz von PES zu einer Erhöhung der organischen Belastung im Ablauf (Wagner *et al.*, 2002). Zum Einsatz von PES zur Desinfektion von behandeltem Abwasser liegen kaum großtechnische Erfahrungen vor (DWA, 2013). Die Dosierung von Peroxyessigsäure wurde daher in die Bewertungsmatrix nicht als gesondertes Verfahren aufgenommen.

Für die Desinfektion von behandeltem Abwasser kann auch Perameisensäure verwendet werden. Neben der effektiven Inaktivierung von Bakterien, Viren und Protozoen, konnte die toxikologische Unbedenklichkeit der Restdesinfektionsmittel nachgewiesen werden (Maya *et al.*, 2012, Ragazzo *et al.* 2012). Vorteil gegenüber der Verwendung von Peroxyessigsäure ist, dass keine zusätzliche organische Belastung entsteht (DWA, 2013). Kohlenstoffanteile werden als gasförmiges Kohlendioxid abgegeben. Durch einen Desinfektionsversuch im Berliner Klärwerk Ruhleben wurde gezeigt, dass durch Perameisensäure zwar eine Reduktion von bakteriellen Indikatororganismen erreicht werden konnte, das Verfahren jedoch weder für Viren noch gegenüber Parasitendauerstadien eine ausreichende Reduktion gewährleisten konnte (Gnirss *et al.*, 2015).

5.1.6 Abscheidung von Krankheitserregern im Abwasser durch andere Verfahren der Abwasserbehandlung

Im Folgenden sollen Verfahren vorgestellt werden, welche nicht als konventionelle Verfahren zur Desinfektion angesehen werden. Diese Verfahren können jedoch die Anzahl der Krankheitserreger potenziell vermindern. Außerdem ist die Reduktion insbesondere von Helmintheneiern, aber auch von Parasitendauerformen mit den zuvor vorgestellten Verfahren nur eingeschränkt möglich. Diese können in der Regel nur mechanisch aus dem Abwasser abgeschieden werden.

5.1.6.1 Mikrosiebung (Oberflächenfiltration)

Zur Mikrosiebung von (behandelten) Abwässern werden feinmaschige Filtermedien aus Polyester oder Edelstahl mit Porengrößen von 10 bis 20 µm verwendet. Beim Mikrosiebverfahren stellt die Siebfiltration den maßgebenden Abscheidemechanismus dar. Das heißt, dass vornehmlich Partikel abgeschieden werden, welche größer als die Poren des Filtermediums sind (Persson *et al.*, 2006). Eine weitgehende Abscheidung von Protozoen, Viren und Bakterien ist demzufolge mit der Mikrosiebung nicht möglich. Bei der Behandlung des Abflusses einer kommunalen Kläranlage (Belebungsverfahren) konnte jedoch ein Rückhalt für *E. Coli* von 31 % beobachtet werden (Gómez *et al.*, 2006a). Auch Bischoff (2013) konnte bei der Filtration von kommunalem Abwasser (Belebungsverfahren) nur einen geringen Rückhalt an *E.Coli* und somatischen Coliphagen feststellen.

Die Mikrosiebung ermöglicht jedoch die mechanische Abscheidung von Helmintheneiern, welche durch die gängigen Desinfektionsverfahren (Chlorung, UV, Ozon) nicht ausreichend inaktiviert werden können (Jimenez, 2007, Jimenez & Maya, 2007). Versuche im Labormaßstab zeigten, dass durch Filtermedien mit einer Porenweite von 10 µm die Eier der Spezies *Trichuris* abgeschieden werden können (Qinzanos *et al.*, 2008). Dies konnte auch an Pilotanlagen nachgewiesen werden (Sanz *et al.*, 2009). Versuche im Labormaßstab zeigten jedoch auch, dass Filtermedien mit einer Porenweite von 20 µm keinen sicheren Rückhalt von Eiern aller relevanten Spezies gewährleisten können (Düppenbecker *et al.*, 2013).

Die Mikrosiebung kann als vorgeschaltetes Verfahren für eine UV-Desinfektion von Vorteil sein, da durch die Abscheidung von ungelösten Stoffen die Wirksamkeit der UV-Desinfektion erhöht werden kann.

5.1.6.2 Schnellfiltration (Tiefenfiltration)

Bei der Tiefenfiltration erfolgt die Abscheidung von Partikeln innerhalb einer porösen Schüttung. Die Filtrationsrate (entspricht dem gefiltertem Volumen pro Filterfläche und Zeit) liegt bei der Schnellfiltration in der Regel zwischen 80 bis ca. 200 l/(m²*min)(Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Bei Bakterien und Viren kann mittels Schnellfiltration keine weitergehende Abscheidung sichergestellt werden. Im Ablauf von Belebtschlammanlagen konnte eine Reduktion von *E. coli* um 34 % beobachtet werden (Gomez *et al.*, 2006b). Ähnliche Ergebnisse sind von Bischoff (2013) veröffentlicht. Eine höhere Abscheidung kann für Helmintheneier erreicht werden. Bei einer Filtrationsrate von 250 l/(m²*min) konnte mittels eines Sandfilters eine Reduktion von 68 % festgestellt werden, wobei die Ablaufkonzentration des Sandfilters im Mittel bei 0,2 Helmintheneiern/l lag (Jimenez *et al.*, 2000).

Die Tiefenfiltration ist auch als vorgeschaltetes Verfahren für eine UV-Desinfektion unter Umständen von Vorteil. Durch die Abscheidung von ungelösten Stoffen kann die Wirksamkeit der UV-Desinfektion erhöht werden.

5.1.6.3 Fällung und Flockung

Weder Fällung noch Flockung stellen ein Verfahren zur gezielten Elimination von Krankheitserregern dar. Bei der Flockung konnte eine Reduktion von Viren (1 - 3 Log-Stufen), Bakterien (0 - 1 Log-Stufen), Protozoen (1 - 3 Log-Stufen) und Helmintheneiern (2 Log-Stufen) beobachtet werden (WHO, 2006). Die Abscheidung ist vermutlich durch die erhöhte Partikelabscheidung infolge der Flockung zu erklären, da partikelgebundene Krankheitserreger effektiver abgeschieden werden können.

Es ist darauf hinzuweisen, dass der Fällung bzw. Flockung eine effiziente mechanische Abscheidung durch Sedimentation und Filtration der Feststoffe nachgeschaltet werden muss.

5.1.6.4 Schönungsteich

Schönungsteiche sind Abwasserteichanlagen zur weitergehenden Reinigung, insbesondere zur Entfernung von pathogenen Mikroorganismen und zur weiteren Reduzierung von Schwebstoffen (DIN EN 12255-5, 1999)[36]. Grundsätzlich kann in Abwasserteichen eine sehr hohe Reduktion von Krankheitserregern erreicht werden. Für Viren konnte eine Reduktion von 1 - 4 Log-Stufen, für Bakterien eine Reduktion von 1 - 6 Log-Stufen, für Protozoen eine Reduktion von 1 - 4 Log-Stufen und für Helmintheneiern eine Reduktion von 1 - 3 Log-Stufen beobachtet werden (WHO, 2006). Anzumerken ist, dass die Reduktion stark von der Aufenthaltszeit des Abwassers abhängt. Zum Einsatz von Schönungsteichen zur Desinfektion von Kläranlagenabläufen in Deutschland liegen nur vereinzelt praktische Erfahrungen vor. Für Bakterien (*E. coli*) wird eine Reduktion von 1,7 – 2,3 log-Stufen angegeben (Rühmland & Barjenbruch, 2013).

5.1.7 Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit verschiedener Desinfektionsverfahren

Tabelle 22 bis Tabelle 25 ermöglichen einen schnellen Überblick über die einzelnen Verfahren und den Vergleich der Verfahren untereinander. Als wissenschaftliche Basis dient die Bewertungsmatrix „Aufbereitungsstufen für die Wasserwiederverwendung“, welche im Rahmen des am Institut IWAR bearbeiteten Forschungsprojektes „Untersuchung der Randbedingungen für die Wasserwiederverwendung und Kernprojektkoordinierung“ erstellt wurde (Meda *et al.*, 2010). Die Bewertungsmatrix wurde im DWA Themenbad „Aufbereitungsstufen für die Wasserwiederverwendung“ (DWA, 2008) veröffentlicht. Für den vorliegenden Bericht wurde die Bewertungsmatrix gekürzt, auf Basis neuer Forschungsergebnisse aktualisiert oder erweitert.

[36] DIN EN 12255-5. (1999). DIN EN 12255-5 Kläranlagen, Teil 5: Abwasserbehandlung in Teichen.

Tabelle 22: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Chlorung und Ozon, unter dem Aspekt der Desinfektion von behandeltem Abwasser

Aspekt/Verfahren			Chlorung		Ozon	
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	Schwarz*	hoch	Cornel (2006)*
		Maschinentechnik	mittel	Fuhrmann*	hoch	Scheer*
		E+MSR-Technik	niedrig	Schwarz*	hoch	Cornel (2006)*
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig	ATV (1998)[37]*	mittel	ATV (1998)*
		Energiebedarf / -kosten				
		Reststoffentsorgung				
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)				
		Wartungskosten				
Reduktion Krankheitserreger	Viren		1 – 3 Log-Stufen	WHO (2006)*	3 – 6 Log-Stufen	WHO (2006)*
	Bakterien		2 – 6 Log-Stufen		2 – 6 Log-Stufen	
	Protozoen		0 – 1,5 Log-Stufen		1 – 2 Log-Stufen	
	Helminthen		0 - < 1 Log-Stufen		0 – 2 Log-Stufen	
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Abscheidung von Feststoffen notwendig, um das Bewässerungssystem zu schützen)	Alcalde *et al.* (2004)*	Geeignet (ggf. ist eine weitergehende Abscheidung von Feststoffen notwendig, um das Bewässerungssystem zu schützen)	Alcalde *et al.* (2004)*
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Sprayanlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		nicht empfohlen (aufgrund der Bildung von Desinfektionsprodukten)	Meda & Cornel*	empfohlen	Meda & Cornel*
	Brauchwasser					
	Innerstädtische Bewässerung					
	Forstwirtschaftliche Bewässerung					

* nach DWA (2008)

[37] ATV (1998). ATV-M 205 - Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser. Ausgabe Juli 1998, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.

Tabelle 23: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von UV-Bestrahlung und Membranverfahren (UF), unter dem Aspekt der Desinfektion von Abwasser

Aspekt/Verfahren			UV-Bestrahlung		Membranverfahren (Ultrafiltration)	
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	Schleypen (2005)*	hoch	Schwarz*
		Maschinentechnik	mittel	Fuhrmann*	hoch	
		E+MSR-Technik	mittel		hoch	
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig	ATV (1998)*	hoch	ATV (1998)*
		Energiebedarf / -kosten				
		Reststoffentsorgung				
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)				
		Wartungskosten				
Reduktion Krankheitserreger	Viren		1 – > 3 Log-Stufen	WHO (2006)*	2,5 - > 6 Log-Stufen	WHO (2006)*
	Bakterien		2 – > 4 Log-Stufen		3,5 – > 6 Log-Stufen	
	Protozoen		>3 Log-Stufen		> 6 Log-Stufen	
	Helminthen		kein Einfluss		> 3 Log-Stufen	
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		geeignet (ggf. ist eine weitergehende Abscheidung von Feststoffen notwendig, um das Bewässerungssystem zu schützen)	Alcalde *et al.*, (2004)*	geeignet	Alcalde *et al.* (2004)*
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Sprayanlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen	Meda & Cornel*	empfohlen	Meda & Cornel*
	Brauchwasser					
	Innerstädtische Bewässerung					
	Forstwirtschaftliche Bewässerung					

* nach DWA (2008)

Tabelle 24: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Mikrosiebung und Schnellfiltration, unter dem Aspekt der Desinfektion von Abwasser

Aspekt/Verfahren			Mikrosiebung (Oberfächenfiltration)		Schnellfiltration (Tiefenfiltration)	
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	Huber*	niedrig	Strohmeier (1998)*
		Maschinentechnik	mittel			
		E+MSR-Technik	niedrig			
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig	Huber*	niedrig	Strohmeier (1998)*
		Energiebedarf / -kosten			niedrig	Schmidtlein*
		Reststoffentsorgung			niedrig	Strohmeier (1998)*
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)				
		Wartungskosten			mittel	
Reduktion Krankheitserreger	Viren		keine Angabe	Huber*	1 – 3 Log-Stufen	WHO (2006)*
	Bakterien		keine Angabe		0 – 3 Log-Stufen	
	Protozoen		keine Angabe		0 – 3 Log-Stufen	
	Helminthen		> 3 Log-Stufen (abhängig von der Porengröße des Filtermedium)	Düppenbecker *et al.* (2013)	1 – 3 Log-Stufen	
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)	Huber*	geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)	Alcalde *et al.* (2004)*
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Sprayanlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen	Huber*	empfohlen	Huber*
	Brauchwasser		möglich		möglich	
	Innerstädtische Bewässerung		möglich		möglich	
	Forstwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen	

* nach DWA (2008)

Tabelle 25: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Fällung und Flockung (nachgeschaltet) und Schönungsteichen, unter dem Aspekt der Desinfektion von Abwasser

Aspekt/Verfahren			Fällung und Flockung (nachgeschaltet)		Schönungsteich	
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	Scheer*	niedrig	IRC (2004), Ruhrverband (1992)*
		Maschinentechnik	niedrig		niedrig	
		E+MSR-Technik	niedrig		niedrig	
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig		niedrig	
		Energiebedarf / -kosten	niedrig	MURL (1999)*		
		Reststoffentsorgung	mittel	Scheer*		
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)	mittel			
		Wartungskosten	mittel			
Reduktion Krankheitserreger	Viren		1 – 3 Log-Stufen	WHO (2006)*	1 – 4 Log-Stufen	WHO (2006)*
	Bakterien		0 – 1 Log-Stufen		1 – 6 Log-Stufen	
	Protozoen		1 – 3 Log-Stufen		1 – 4 Log-Stufen	
	Helminthen		2 Log-Stufen		1 – 3 Log-Stufen	
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		geeignet (ggf. ist eine weitergehende Abscheidung von Feststoffen und Desinfektion erforderlich)	Alcalde *et al.* (2004)*	geeignet	Alcalde *et al.* (2004)*
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Sprayanlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen	Meda & Cornel*	empfohlen	Meda & Cornel*
	Brauchwasser		möglich			
	Innerstädtische Bewässerung		möglich			
	Forstwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen			

* nach DWA (2008)

5.2 Verfahren zur stofflichen Aufbereitung von behandeltem Abwasser

Im Fokus der stofflichen Abwasseraufbereitung stehen technische Optionen zur weitergehenden Reduktion der organischen Belastung, angegeben als CSB, der partikulären Stoffe (abfiltrierbare Stoffe, Trübung) und der Nährstoffe (Ammonium, Nitrat und Phosphor). Darüber hinaus soll auch betrachtet werden, ob eine prozessbedingte Aufsalzung durch das Verfahren stattfinden kann. Die oben genannten Parameter sind hinsichtlich der Wiederverwendung des behandelten Abwassers zur landwirtschaftlichen Bewässerung und zur Grundwasseranreicherung von Bedeutung. Die parameterbezogenen relevanten Aspekte hinsichtlich der landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung sind in Tabelle 26 zusammengefasst. Darüber hinaus werden die Verfahren in Kapitel 5.2.6 hinschlich ihrer Leistungsfähigkeit zur Entfernung von Geruchs- und Farbstoffen bewertet.

Tabelle 26: Kritische Wasserqualitätsparameter bei der Bewässerung mit behandeltem Abwasser

Parameter	Relevante Aspekte für die landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung
Abfiltrierbare Stoffe/ Trübung	Reduzierung der Leistungsfähigkeit nachgeschalteter Verfahren (UV-Bestrahlung), Verstopfung von Bewässerungssystemen
Nährstoffe	Schutz des Bodens und des Grundwassers vor Stickstoff- und Phosphorverbindungen
Chemischer Sauerstoffbedarf	Schutz des behandelten Abwassers vor Wiederverkeimung, Schutz des Bewässerungssystems vor Bio-Fouling (Bildung von Biofilmen)
Elektrische Leitfähigkeit (Aufsalzung)	Schutz des Bodens und der Pflanzen

5.2.1 Biofilter (nachgeschaltet)

Biofilter werden im kommunalen Bereich als Hauptreinigungsstufe (Kohlenstoffabbau) oder, nachgeschaltet nach einer Vorreinigung, für eine separate oder weitergehende Nitrifikation und/oder Denitrifikation verwendet. In Deutschland (Stand 09/2006) befinden sich 42 kommunale Biofiltrationsanlagen (alle Reinigungsziele) mit einer gesamten Anschlussgröße von ca. 10 Mio. Einwohnerwerten, 6 davon als Hauptreinigungsstufe mit einer gesamten Anschlussgröße von ca. 693 000 EW (Barjenbruch, 2007a).

Neben dem biologischen Abbau von gelösten Stoffen werden im Biofilter auch Feststoffe abgeschieden. Die Ablaufkonzentration abfiltrierbarer Stoffe für Biofilteranlagen als nachgeschaltete Nitri- oder Denitrifikation liegen bei 4 - 5 mg/l (Barjenbruch, 2007a). Durch den geringen Gehalt an Feststoffen können selbst niedrige CSB- und P-Grenzwerte sicher eingehalten werden. Zudem kann der Ablauf weiter aufbereitet werden, z. B. kann eine UV - Desinfektion für eine Wiederverwendung des Abwassers zur Bewässerung erfolgen. Selbst Bewässerungstechniken, die anspruchsvoll hinsichtlich der tolerierbaren Feststoffgehalte sind, wie Sprinkler- oder Tröpfchenbewässerung, können eingesetzt werden (Cornel & Rother, 2003).

Die Biofiltration kann für eine saisonale Stickstoffelimination (Nitrifikation/Denitrifikation) eingesetzt werden. Sie kann insbesondere unter dem Aspekt der landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung von Interesse sein, wenn nur außerhalb der Beregnungssaison eine Nährstoffelimination angestrebt wird. Vorteile der Biofiltration für diese Anwendung sind die einfache Außer- und Wiederinbetriebnahme, die hohe Flexibilität durch den modularen

Aufbau und die Vielstraßigkeit der Anlagen, die auch den Betrieb einzelner Filterzellen erlaubt. Dies ermöglicht eine in der Praxis einfach umzusetzende saisonale Betriebsweise. Während der Betriebspausen müssen die Biofilter durch ein geeignetes Filtermanagement aktiv gehalten werden, um ein Absterben der Biomasse zu vermeiden und ein schnelles und effektives Anfahren nach den Betriebspausen zu gewährleisten. Für nitrifizierende Biofilter hat sich die anaerobe Lagerung während der Betriebspausen als vorteilhaft erwiesen (Meda, 2012).

5.2.2 Fällung und Flockung

In der Abwassertechnik ist die Ausfällung von Phosphat (PO_4^{3-}) ein weit verbreitetes Verfahren. Als Fällmittel werden meist Eisen- oder Aluminiumsalze eingesetzt (Tschobanoglous *et al.*, 2003). Nachteilig bei der Fällung ist die einhergehende Erhöhung der Salzkonzentration des Abwassers, welche hinsichtlich einer landwirtschaftlichen Verwendung von Bedeutung sein kann.

Die Flockung stellt ein effektives Verfahren zur Abscheidung von partikulären Stoffen dar (AFS). Durch die Zugabe von Aluminiumsulfat (100 mg/l) als Koagulationsmittel konnte bei der Behandlung des Ablaufes einer kommunalen Kläranlage (aerobes Belebungsverfahren) eine AFS-Konzentration von 1 - 11 mg/l erzielt werden (Gomez *et al.*, 2006a). Dem Koagulationsreaktor war eine Sedimentationsstufe zur Abscheidung der Feststoffe nachgeschaltet. Auch hier muss die Aufsalzung des behandelten Abwassers durch das Koagulationsmittel beachtet werden.

5.2.3 Membranverfahren

Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen ermöglichen den kompletten Rückhalt von partikulären Stoffen. Somit können auch partikulär gebundener organischer Kohlenstoff und partikulär gebundene Nährstoffe abgeschieden werden.

Zur Abscheidung von Molekülen und Ionen aus einer wässrigen Phase können Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (RO) eingesetzt werden. Beide Verfahren zeichnen sich durch die Verwendung einer dichten Membran aus. Der Stofftransport durch die Membran erfolgt diffusiv. Nanofiltration ermöglicht den Rückhalt von zweiwertigen Ionen (z. B. Sulfat). Mittels Umkehrosmose können auch einwertige Ionen (z. B. Chlorid) zurückgehalten werden.

5.2.4 Mikrosiebung

Typische AFS- Abscheidegrade von Mikrosiebanlagen können Tabelle 27 entnommen werden. Durch die Abscheidung von partikulär gebundenem organischem Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor kann durch die Mikrosiebung auch eine CSB- und Nährstoffelimination erreicht werden. Bischoff (2013) konnte eine durchschnittliche Abscheideleistung des Mikrosiebes hinsichtlich des CSBs in der homogenisierten Probe von 25 % beobachten (Porengröße 10 µm; nach Belebung und Nachklärbecken).

Tabelle 27: Kennwerte zur Abscheidung von abfiltrierbaren Stoffen (AFS) mittels Mikrosiebanlagen

Filtergewebe		Feed		Flächenbeschickung	Abscheide-grad	Quelle
Poren-größe	Material	Verfahren (vorgeschaltet)	AFS-Konzentration			
20 µm	PET	BB + NKB	20 – 30 mg/l	23 - 32 $m^3/(m^2*h)$*	40 – 45 %*	Addicks (1980)
10 µm	PET	BB + NKB	20 – 30 mg/l	10 - 20 $m^3/(m^2*h)$*	62 %*	Addicks (1980)
10 µm	PET	BB + NKB	20 mg/l	15 $m^3/(m^2*h)$	52 %	Grabbe (1998)
10 µm	PET	WB	30 mg/l*	5 $m^3/(m^2*h)$*	88 %*	Persson *et al.* (2006)

BB - Belebung, WB – Wirbelbett, NKB – Nachklärbecken, PET: Polyethylenterephtalat
*Mittelwerte

5.2.5 Schnellfiltration (Tiefenfiltration)

Die Schnellfiltration stellt ein effektives Verfahren zur Abscheidung von partikulären Stoffen dar. Mittels Sandfiltration (Filtrationsrate 8 $m^3/(m^2*h)$) konnte bei der Behandlung des Ablaufes einer kommunalen Kläranlage im aeroben Belebungsverfahren eine AFS-Konzentration von 10 – 31 mg/l bei Zulaufkonzentrationen von 11 - 87 mg/l erzielt werden (Gómez *et al.*, 2006a). Durch die Abscheidung von partikulär gebundenem organischem Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor kann durch die Sandfiltration auch eine CSB- und Nährstoffelimination erreicht werden. Barjenbruch (2007b) beziffert die durchschnittliche Abscheideleistung von Sandfiltern für den CSB auf 28 %.

5.2.6 Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit verschiedener Verfahren zur stofflichen Aufbereitung von behandeltem Abwasser

Die Darstellung der einzelnen Verfahren erfolgt tabellarisch in den Tabelle 28 bis Tabelle 30. Als wissenschaftliche Basis dient analog zu Kapitel 5.1 die Bewertungsmatrix „Aufbereitungsstufen für die Wasserwiederverwendung“, welche im Rahmen des am Institut IWAR bearbeiteten Forschungsprojektes „Untersuchung der Randbedingungen für die Wasserwiederverwendung und Kernprojektkoordinierung“ erstellt wurde (Meda *et al.*, 2010). Die Bewertungsmatrix wurde im DWA-Themenband „Aufbereitungsstufen für die Wasserwiederverwendung“ (DWA, 2008) veröffentlicht. Für den vorliegenden Bericht wurde die Bewertungsmatrix gekürzt oder, auf Basis neuer Forschungsergebnisse, aktualisiert oder erweitert.

Tabelle 28: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Biofiltern (nachgeschaltet) und Fällung und Flockung (nachgeschaltet)

Aspekt/Verfahren			Biofilter (nachgeschaltet)		Fällung und Flockung (nachgeschaltet)	
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	Schmitt (2003)	niedrig	Scheer*
		Maschinentechnik			niedrig	
		E+MSR-Technik			niedrig	
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig	Barjenbruch (2007a)	niedrig	
		Energiebedarf / -kosten	hoch	Thogerson & Hansen (2000), Meda (2012)	niedrig	MURL (1999)*
		Reststoffentsorgung	niedrig	Barjenbruch (2007a)	mittel	Scheer*
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)	niedrig		mittel	
		Wartungskosten	niedrig		mittel	
Ablaufqualität	Reduktion CSB		< 30 mg/l im Ablauf	Barjenbruch (2007a)	< 30 %	Meda & Cornel*
	Reduktion AFS		≤ 5 mg/l im Ablauf		> 70 %	
	Nährstoffelimination	Ammonium	≤ 0,5 mg/l im Ablauf		kein Einfluss	Düppenbecker & Cornel**
		Nitrat	≤ 7 mg/l im Ablauf		kein Einfluss	ATV (2000)*
		Phosphor	≤ 0,5 mg/l im Ablauf		> 70 %	
	Farbe/ Geruch		kein Einfluss	Düppenbecker & Cornel**	kein Einfluss	Meda & Cornel*
	Reduktion Trübung		hoch		niedrig	ATV (2000)*
	Aufsalzung		kein Einfluss		mittel (Aufsalzung)	Meda & Cornel*
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig		geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)	Alcalde *et al.* (2004)*
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Sprayanlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		Empfohlen		empfohlen	Meda & Cornel*
	Brauchwasser		möglich		möglich	
	Innerstädtische Bewässerung		möglich		möglich	
	Forstwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen	

* nach (DWA, 2008), **persönliche Bewertung, Institut IWAR

Tabelle 29: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Membranverfahren

Aspekt/Verfahren			Membranverfahren (MF/UF)		Membranverfahren (NF/RO)	
Wirtschaftlichkeit	Investitions-kosten	Bautechnik	hoch	Wedi *et al.* (2005), Engelhardt (2006), Günder (2001), Frechen (2006)*	hoch	Schwarz*
		Maschinentechnik				
		E+MSR-Technik				
	Betriebs-kosten	Personalbedarf / -kosten	mittel		hoch	
		Energiebedarf / -kosten			hoch	Alcalde *et al.* (2004)*
		Reststoffentsorgung			hoch	Schwarz*
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)				
		Wartungskosten				Scheer*
Ablaufqualität	Reduktion CSB		mit Belebung ca. 89 – 96 % oder CSB < 30 mg/l, BSB < 5 mg/l	Wedi *et al.* (2005), Engelhardt (2006), Günder (2001), Frechen (2006)*	Weitgehender Rückhalt gelöster Verbindungen möglich.	Meda & Cornel*
	Reduktion AFS		(~ 100 %)		(~ 100 %)	Fuhrmann*
	Nährstoffelimination	Ammonium	mit Belebung ca. 90 % oder 0,1 – 2 mg/l		Weitgehender Rückhalt gelöster Verbindungen möglich.	Meda & Cornel*
		Nitrat	4,5 mg/l (mit Belebung)			
		Phosphor	mit Fällung ca. 90 % oder 0,5 – 0,7 mg/l			
	Farbe / Geruch		kein Einfluss	Meda & Cornel*	hoch	
	Reduktion Trübung		hoch	Schwarz*	hoch	
	Aufsalzung		kein Einfluss		Abscheidung von Salzen möglich (stark versalztes Konzentrat zur Entsorgung)	
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		geeignet	Alcalde *et al.* (2004)*	geeignet	Alcalde *et al.* (2004)*
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Sprayanlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen	Meda & Cornel*	Empfohlen (Einschränkungen durch den geringen Salzgehalt des Ablaufes sind zu beachten)	Meda & Cornel*
	Brauchwasser					
	Innerstädtische Bewässerung					
	Forstwirtschaftliche Bewässerung					

* nach DWA (2008)

Tabelle 30: Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Mikrosiebung und Schnellfiltration

Aspekt/Verfahren			Mikrosiebung (Oberflächenfiltration)		Schnellfiltration (Tiefenfiltration)	
Wirtschaftlichkeit	Investitionskosten	Bautechnik	niedrig	Huber*	niedrig	Strohmeier (1998)*
		Maschinentechnik	mittel			
		E+MSR-Technik	niedrig			
	Betriebskosten	Personalbedarf / -kosten	niedrig		niedrig	Strohmeier (1998)*
		Energiebedarf / -kosten			niedrig	Schmidtlein*
		Reststoffentsorgung			niedrig	Strohmeier (1998)*
		Betriebsstoffe (Fällmittel etc.)				
		Wartungskosten			mittel	
Ablaufqualität	Reduktion CSB		> 10 % oder < 60 mg/l		> 20 % oder < 40 mg/l	Strohmeier (1998)*
	Reduktion AFS		> 30 % oder < 10 mg/l		> 50 % oder < 5 mg/l	
	Nährstoffelimination	Ammonium	< 30 %		< 5 mg/l	
		Nitrat			< 10 mg/l	
		Phosphor			30 % ohne Flockung / 70 % oder < 0,3 mg/l mit Flockung	
	Farbe/ Geruch		kein Einfluss		kein Einfluss	Meda & Cornel*
	Reduktion Trübung		hoch		hoch	Strohmeier (1998)*
	Aufsalzung		keinen Einfluss		kein Einfluss	Meda & Cornel*
Bewässerungstechnik	Wurzelbewässerung		geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)		geeignet (ggf. ist eine weitergehende Desinfektion notwendig)	Alcalde *et al.* (2004)*
	Tropfenbewässerung					
	Sprinkler- /Sprayanlagen					
	Flutung					
Nutzungsarten	Landwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen	Huber*
	Brauchwasser		möglich		möglich	
	Innerstädtische Bewässerung		möglich		möglich	
	Forstwirtschaftliche Bewässerung		empfohlen		empfohlen	

* nach (DWA, 2008)

5.3 Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus behandeltem Abwasser

Mikroverunreinigungen werden in (konventionellen) kommunalen Kläranlagen nicht vollständig abgebaut. Somit stellen kommunale Kläranlagen derzeit den Hauptemittenten von Mikroverunreinigungen in die aquatische Umwelt dar (UBA, 2015). Neben der gesellschaftlichen und politischen Diskussion um organisatorische und regulatorische Maßnahmen werden seit einigen Jahren technische Verfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen in kommunalen Kläranlagen untersucht (Joss & Siegrist, 2006, Merkel, 2004, Giger, 2005, DWA, 2008, Keil, 2008, Abegglen & Siegrist, 2012), welche im Folgenden vorgestellt werden.

Die folgenden Ausführungen basieren inhaltlich im Wesentlichen auf den Ausarbeitungen von Cornel & Knopp (2013). Behandlungsverfahren zur Reduktion von Mikroverunreinigungen stehen noch am Anfang der großtechnischen Anwendung. Insbesondere die wirtschaftliche Optimierung ist noch nicht abgeschlossen. Die Ozonung und die Dosierung von Pulveraktivkohle sind derzeit am weitesten verbreitet. Weitere Verfahren und insbesondere Verfahrenskombinationen werden untersucht und großtechnisch getestet Eine vollständige Elimination ist mit den hier vorgestellten Verfahren nicht zu erreichen. Kombinationsverfahren dürften generell ein größeres Stoffspektrum abdecken können, ggf. flexibler im Betrieb sein und Kostenvorteile bieten.

Zudem ist es sinnvoll und notwendig, die Behandlungsoptionen zur Reduktion von Mikroverunreinigungen im Zusammenhang mit anderen geplanten weitergehenden Anforderungen abzugleichen bzw. Synergieeffekte zu berücksichtigen. Insbesondere sind dies die weitergehende Phosphorelimination sowie Verfahren zur Desinfektion des Kläranlagenablaufs bzw. zur Minimierung der Konzentrationen an Keimen, Krankheitserregern und Helmintheneiern. Eine Filtrationsstufe würde sich zum Beispiel bei der weitergehenden Phosphorelimination, der Desinfektion und der Abscheidung von Mikroverunreinigungen aufgrund unterschiedlicher verfahrenstechnischer Aspekte als dienlich erweisen. Als weiteres Beispiel seien hier die oxidativen Verfahren, wie z. B. die Ozonung, genannt. Die Ozonung ermöglicht die Elimination von Krankheitskeimen und von Mikroverunreinigungen.

5.3.1 Optimierung konventioneller Verfahren

Eine Verbesserung der biologischen Eliminationsleistung geht mit einer Reduktion von Mikroverunreinigungen einher, sofern diese biologisch abbaubar sind. Folgende Randbedingungen begünstigen den biologischen Abbau und somit die Reduktion von Mikroschadstoffen in Kläranlagen (Ternes *et al.*, 2004,):

- Hohes Schlammalter
- Nitrifikation/ Denitrifikation
- Kaskadierte Bauweise, minimierte Rezirkulation (unter der Annahme, dass der biologische Abbau einer Reaktion 1. Ordnung folgt, ist ein Rohrreaktor effizienter)
- Schönungsteiche/ Filter
- Schlammfaulung.

Diese Maßnahmen gewährleisten jedoch keine weitergehende Verminderung von Mikroverunreinigungen durch den konventionellen Klärprozess. Physikalische Verfahren, wie z.B. die Adsorption an Aktivkohle oder die Abtrennung durch Membranverfahren

(Nanofiltration/ Umkehrosmose) und/oder chemische Oxidationsverfahren, sind notwendig. Ein stabiler und ggf. optimierter Betrieb der biologischen Verfahrensstufe ist aber hilfreich.

5.3.2 Oxidative Verfahren

Mittels Oxidation können organische sowie anorganische Abwasserinhaltsstoffe in kleinere, meist polare Verbindungen umgewandelt oder im Idealfall mineralisiert werden. Letzteres wird bei den üblichen Betriebsbedingungen in der Regel nicht erreicht. Die dabei entstehenden Transformationsprodukte und deren chemischen Eigenschaften sind zumeist nicht bekannt. In der Wasser- bzw. Abwasseraufbereitung ist Ozon das meist genutzte Oxidationsmittel.

Übliche Ozondosen und Kontaktzeiten liegen bei 0,7 – 1.0 g O_3/g DOC bzw. 15 - 30 min (Abegglen & Siegrist, 2012, Zimmermann *et al*, 2012). Wie bei dem Einsatz von Aktivkohle kann mittels Ozonung ein breites Spektrum an Mikroverunreinigungen abgebaut werden. Nachteilig ist die Bildung von (teilweise unbekannten) Transformationsprodukten. Durch einen nachgeschalteten, biologisch aktiven Sandfilter können vorhandene Transformationsprodukte sowie die Ökotoxizität reduziert werden.

Verfahren, die auf der Bildung bzw. Reaktion von Hydroxylradikalen basieren, werden als Advanced Oxidation Processes (AOP) bezeichnet (Abegglen & Siegrist, 2012). Im Allgemeinen werden AOP für den großtechnischen Einsatz als wenig effizient eingeschätzt. Mit AOP lässt sich prinzipiell eine breite Stoffpalette an Mikroverunreinigungen reduzieren. Aufgrund der Bildung von Transformationsprodukten ist, wie bei der Ozonung, eine nachgeschaltete biologisch aktive Filtration vorzusehen. Folgenden AOP sind zur Elimination von Mikroverunreinigungen untersucht worden (MKUNLV, 2011, Abegglen & Siegrist, 2012):

UV-Bestrahlung:
Im Bereich von 100 -2 00 nm werden Hydroxylradikale aus Wasser erzeugt. Aufgrund des niedrigen Absorptionsmaximums sind sehr hohe, derzeit unwirtschaftliche Bestrahlungsintensitäten (> 400 J/m^2) zur gezielten Reduktion von Mikroverunreinigungen notwendig.

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) + UV:
Durch die Bestrahlung von H_2O_2 mit UV werden Hydroxylradikale erzeugt. Allerdings liegt die Reaktionsausbeute aufgrund von Rekombinationsreaktionen bei etwa 50 %. Tendenziell ist ein hoher Energie- und Chemikalieneinsatz zu erwarten.

Ozon + H_2O_2:
Auch hier liegt die Reaktionsausbeute durch Rekombinationsreaktionen bei etwa 50 %. Die Radikalbildung wird durch deprotoniertes Wasserstoffperoxid (OH_2^-) eingeleitet.

Ozon + UV:
Über die Bildung von H_2O_2 wird die Hydroxylradikalbildung gefördert. Das Verfahren weist noch hohen verfahrenstechnischen Optimierungsspielraum auf (Anordnung UV-Bestrahlung). Aufgrund der zwei energieintensiven Prozesse ist mit einem hohen Energieverbrauch zu rechnen.

Titandioxid (TiO_2) + UV:
TiO_2 wird durch UV angeregt und reagiert direkt mit Mikroverunreinigungen oder erzeugt Hydroxylradikale. Diese Verfahren wurden bisher nicht im Bereich der weitergehenden Abwasserbehandlung erprobt.

Fenton-Verfahren/Foto-Fenton-Verfahren:
Radikalbildung durch Reaktion zweiwertiger Eisenionen mit H_2O_2 bzw. H_2O_2 + UV. Reaktion

findet in saurem Milieu statt, sodass mehrfach pH-Wert-Anpassungen erfolgen müssen (Zulaufbehandlung, Ablaufbehandlung). Das Verfahren wird deshalb als kostenintensiv betrachtet.

5.3.3 Adsorptive Verfahren

In der Abwassertechnik erfolgt die Adsorption zumeist durch den Einsatz körniger Aktivkohle in offenen und/oder geschlossenen Filtern oder durch die Zugabe von Pulveraktivkohle in den Ablauf der Nachklärung oder direkt in das Belebungsbecken (Tchobanoglous *et al.*, 2003). . Durch die nachgeschaltete Anwendung der Aktivkohle werden gezielt nur solche Abwasserinhaltsstoffe adsorbiert, die biologisch nicht abgebaut wurden, was sich im Hinblick auf die konkurrierende Adsorption günstig auf den Aktivkohleverbrauch auswirkt. Adsorptive Verfahren bieten den Vorteil, dass keine Transformationsprodukte bei der Behandlung entstehen, da keine Stoffumwandlung stattfindet

Bei der Verwendung körniger Aktivkohle wird das zu behandelnde Abwasser durch eine Schüttung aus körniger Aktivkohle (GAK-Filter) geströmt. Bei erhöhten Feststoffkonzentrationen ist eine vorherige Filtration des Abwassers notwendig. Werden mehrere Filter in Serie oder parallel betrieben, so kann die Aktivkohlekapazität weiter ausgeschöpft werden. Erschöpfte Aktivkohle wird entnommen, reaktiviert und kann dann erneut zur Adsorption eingesetzt werden. Eine biologische Aktivität innerhalb der Filter ist zu erwarten, welche sich unter Umständen vorteilhaft auf den Abbau adsorbierter Mikroverunreinigungen auswirken kann. Die Standzeit eines Aktivkohlefilters ist abhängig von der Filtergeschwindigkeit, der theoretischen Kontaktzeit mit der Aktivkohle, der Abwasserzusammensetzung und den physikalische-chemischen Eigenschaften der verwendeten Aktivkohle (Sontheimer *et al.*, 1985, Tchobanoglous *et al.*, 2003). Im Vergleich zum Einsatz von Pulveraktivkohle können höhere Beladungen erreicht werden.

Bei Abtrennung der Feststoffe in der Nachklärung auf Werte < 5 - 10 mg/l sollte ein nachgeschalteter Aktivkohlefilter ohne Vorfilter betrieben werden können (Cornel & Knopp, 2013). Damit verbunden ist eine weitere Abtrennung von Feststoffen, was sich positiv auf die Phosphorelimination auswirkt. Ebenfalls wird die Keimzahl durch die Filtration reduziert.

Pulveraktivkohle kann mittels des nachgeschalteten Einrührverfahrens mit dem Abwasser in Kontakt gebracht werden. Hierbei wird Pulveraktivkohle in Form einer Suspension dem Abwasser zudosiert und nach einer Kontaktzeit von ca. 20 - 30 Minuten mittels Flockung und nachgeschalteter Sedimentation wieder abgetrennt. Durch die nachgeschaltete Anwendung der Pulveraktivkohle werden gezielt nur solche Abwasserinhaltsstoffe adsorbiert, die biologisch nicht abgebaut wurden, was sich im Hinblick auf die konkurrierende Adsorption günstig auf den Aktivkohleverbrauch auswirkt. Nachteilig ist, dass ein gesonderter Reaktionsraum notwendig ist und nach vollzogener Adsorption die Pulveraktivkohle aufwendig entfernt werden muss. Oft ist Sedimentation und Polymerzugabe nicht ausreichend um feinste Pulveraktivkohlepartikel vom behandelten Abwasser zu trennen. Folglich kann eine weitergehende Filtration (z.B. mittels Sandfilter) notwendig sein (Menzel & Rott, 1991, Menzel, 1997, Metzger, 2010, Abegglen & Siegrist, 2012).

Auch wenn die Dosierung von Pulveraktivkohle nach der Nachklärung effektiver ist, so ist die Pulveraktivkohledosierung in die Belebung ohne weiteres Becken durchführbar und die Pulveraktivkohleabtrennung ohne zusätzliche Sedimentation oder Polymerzugabe durch Einbindung in die Schlammflocke machbar. Nachteilig ist der (in der Regel) erhöhte Verbrauch an Pulveraktivkohle.

5.3.4 Membranverfahren

Aufgrund der Trenngröße sind poröse Membranen (Mikro- und Ultrafiltration) für den Rückhalt gelöster Mikroverunreinigungen ungeeignet. Für partikelgebundene Mikroverunreinigungen oder in Kombination mit der Adsorption (an Pulveraktivkohle) sind diese Verfahren aufgrund der Partikelabtrennung prinzipiell geeignet.

Mittels Nanofiltrations- und Umkehrosmosemembranen (NF, RO) kann eine sehr gute Reduktion von Mikroverunreinigungen erzielt werden. Die Stofftrennung mittels Nanofiltrations- und Umkehrosmosemembranen ist jedoch energieintensiv, da hierfür hohe Drücke aufzuwenden sind. Darüber hinaus fallen 10 - 25 % des durchgesetzten Rohwassers als Retentat (Konzentratstrom) an, welches einer weiteren Behandlung/Entsorgung zugeführt werden muss.

5.4 Mögliche Verfahrensketten zum Erreichen der Anforderungen

Basierend auf denvorgestellten Verfahren sollen Beispiele für Verfahrensketten dargestellt werden, um die unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der hygienischen und stofflichen Qualität des aufbereiteten Abwassers zu erfüllen. Werden als Bewertungmaßstab bezüglich der hygienischen Anforderungen die Grenzwerte der DIN 19650 angelegt, sind in Tabelle 31 mögliche Verfahrensketten zum Erreichen dieser Anforderungen dargestellt. Mit Ausnahme von Beispiel 1 basieren alle Verfahrensketten auf der in Kapitel 5 definierten Modellkläranlage, welche den Stand der Abwasserbehandlung in Deutschland vereinfacht darstellt. Beispiel 1 zeigt eine Verfahrenskette, um Eignungsklasse 4 zu erreichen. Als Ausgangslage wurde hier eine Kläranlage der Größenklasse 3 herangezogen, als Beispiel für eine kleinere Kläranlage im Vergleich zur Modellkläranlage. Zu beachten sind in diesem Beispiel die erhöhten Frachten an Stickstoff und Phosphor, da ein Grenzwert für Gesamt-Stickstoff und Phosphor für Größenklasse 3 nicht existiert. Sollte eine zusätzliche Entfernung von Stickstoff und Phosphor notwendig sein, würden die Kosten der Aufbereitung gegebenenfalls derart ansteigen, dass die Verfahrenskette als nicht wirtschaftlich betrachtet werden müsste. Beispiel 2 geht dagegen von der beschriebenen Modellkläranlage aus (siehe Abbildung 31) und wäre eine Option, um die Anfoderungen der Eignungsklasse 4 gemäß DIN 19650 zu erfüllen.

Die Anforderungen der Eignungsklassen 2 und 3 könnten mit der in Beispiel 3 dargestellen Verfahrenskette erreicht werden. Eine genauere Differenzierung zwischen den Eignungsklassen 2 und 3 ist bei dieser vereinfachten Bertrachtung nicht sinvoll, da die Verfahrenskette letztlich immer unter Berücksichtigung der einzelfallspezifischen Eingangsparamter ausgelegt werden muss. Beispiel 4 in Tabelle 31 zeigt eine mögliche Verfahrenskette zum Erreichen der Anforderungen von Eignungsklasse 1. Das derart aufbereitete Abwasser erfüllt die höchsten Qualitätsanforderungen (Trinkwasser). Beispiel 5 zeigt eine mögliche Aufbereitung mit dem Ziel der Grundwasseranreicherung. Die stoffliche Aufbereitung und Abscheidung von Mikroverunreinigungen erfolgt mittles einer Kombination aus Ozonung und Biofiltration. Die weitergehende Abscheidung von Krankheitserregern soll in der Bodenpassage efolgen. Die Qualität des Ablaufes ist somit niedriger als der Ablauf der Verfahrenskette in Beispiel 4.

Es bleibt anzumerken, dass die Auswahl der Verfahrensketten letzlich von den Eingangsparametern abhängig ist und für die Sicherstellung einer bestimmten Qualitätsanforderung eine einzelfallspezifische, auf ingenieurtechnischem Sachverstand beruhende Verfahrensauswahl und Bemessung notwendig sind. Die dargestellten Verfahrensketten sind somit als vereinfachte Beispiele zu verstehen. Abhängig vom spezifischen Anwendungsfall kann der Einsatz anderer Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen möglich bzw. sinnvoller sein.

Tabelle 31: Beispiele für Verfahrensketten zum Erreichen der Qualitätsanforderungen für unterschiedliche Nutzungsarten (Eignungsklassen nach DIN 19650)

Beispiel Nr.	Behandlungsstufen							Nutzungsarten
1	**Kläranlage (Größenklasse 3)**		**Weitergehende Abwasserbehandlung**					Landwirtschaftliche Bewässerung (Eignungsklasse 4)
	Mechanische Behandlung	Biologische Behandlung ohne Nährstoffelimination	Fällung und Flockung (P-Fällung, Feststoffabscheidung)		Filtration (Schutz des Bewässerungssystems, Feststoffabscheidung, Entfernung von Parasiten und ggf. Helmintheneiern)			
2	**Modellkläranlage**		**Weitergehende Abwasserbehandlung**					Landwirtschaftliche Bewässerung (Eignungsklasse 4)
	Mechanische Behandlung	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination	Filtration (Feststoffabscheidung zum Schutz des Bewässerungssystems, Entfernung von Parasitären Dauerstadien und ggf. Helmintheneiern)					
3	**Modellkläranlage**		**Weitergehende Abwasserbehandlung**					Landwirtschaftliche Bewässerung (Eignungsklasse 2 und 3)
	Mechanische Behandlung	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination	Filtration (Feststoffabscheidung zum Schutz des Bewässerungssystems, Vorbehandlung UV Desinfektion, Entfernung von Parasitären Dauerstadien und ggf. Helmintheneiern)		UV-Bestrahlung (Desinfektion)		Schönungsteich (Nachbehandlung mit schwacher Desinfektionswirkung)	
4	**Modellkläranlage**		**Weitergehende Abwasserbehandlung**					Landwirtschaftliche Bewässerung, Trinkwasser (Eignungsklasse 1) , Grundwasseranreicherung
	Mechanische Behandlung	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination	Filtration (Partikelentfernung, Vorbehandlung Umkehrosmose)	Ultrafiltration (Partikelentfernung, Vorbehandlung Umkehrosmose, mikrobielle Barriere I)	Umkehrosmose (Entfernung von org. Mikroverunreinigungen, Mikrobielle Barriere II)	UV-Bestrahlung (Mikrobielle Barriere III)		
5	**Modellkläranlage**		**Weitergehende Abwasserbehandlung**					Grundwasseranreicherung
	Mechanische Behandlung	Belebungsverfahren mit Nährstoffelimination	Filtration (Abtrennung von Feststoffen als Vorbehandlung zur Biofiltration)		Ozonung (Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen, Desinfektion)		Biofilter (Nachbehandlung Ozonung, Stickstoffelimination)	

5.5 Schlussfolgerungen, Forschungsbedarf, Empfehlungen

Die technischen Optionen zum Erreichen der hygienischen und stofflichen Anforderungen stehen grundsätzlich zur Verfügung und sind großtechnisch erprobt. Hinsichtlich der Abscheidung von Mikroverunreinigungen kann noch keine klare Aussage getroffen werden. Die großtechnische Umsetzung von Verfahren zur gezielten Entfernung von Mikroverunreinigungen steht noch am Anfang. Langfristige Erfahrungen hierzu sind noch nicht vorhanden.

Zur Desinfektion von Abwasser stehen mit der UV-Bestrahlung, der Ozonung und der Ultra- und Mikrofiltration großtechnisch erprobte Optionen zur Verfügung, wobei die unterschiedlichen Wirkungsweisen der Verfahren und die damit einhergehende, je nach Krankheitserreger unterschiedlich starke bzw. schwache Desinfektionswirkung zu berücksichtigen sind. Lediglich die Ultrafiltration ermöglicht (theoretisch) eine beinahe vollständige Abscheidung aller relevanten Krankheiterreger, da die Abscheidung mechanisch erfolgt. Die Abscheidung humanpathogner Viren, inkl. der Abscheidungsmechanismen, ist jedoch noch nicht geklärt und Gegenstand aktueller Forschungsprojekte. Aufgrund der Bildung von gesundheitsgefährdeten Desinfektionsnebenprodukten kann die Chlorung, trotz ihrer internationalen Verbreitung, nicht als Desinfektionsverfahren empfohlen werden. Hinsichtlich der Verbesserung der hygienischen Qualität des behandelten Abwassers ist auch eine Anpassung der Indikatororganismen, welche zur Auslegung und zum Monitoring der Verfahren herangezogen werden, zu empfehlen. Da nicht sichergestellt ist, dass wasserassoziierte Krankheitserreger vergleichbare Resistenzen wie die gängigen Indikatororganismen (z. B. *E. coli*) besitzen, besteht die Gefahr, die Desinfektionsleistung der Verfahren zu überschätzen, vorausgesetzt, der Krankheitserreger besitzt eine höhere Resistenz als der Indikatororganismus. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf und ggf. die Definition neuer Indikatororganismen, die zur Auslegung und zum Monitoring der Verfahren herangezogen werden können.

Hinsichtlich der stofflichen Aufbereitung (weitergehende Nährstoffelimination, Abscheidung von Feststoffen, Entsalzung) sind großtechnisch erprobte technische Optionen für alle Parameter vorhanden. Verfahren zur Abscheidung von Ionen (z. B. Entsalzung, Entfernung von Schwermetallen) sind jedoch sehr kostenintensiv (Nanofiltration, Umkehrosmose). Hier besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Optimierung bestehender Verfahren und der Entwicklung neuer Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen.

Die Abscheidung von Mikroverunreinigungen nimmt eine Sonderstellung ein. Hier besteht noch Forschungsbedarf. Zudem wird kontrovers diskutiert, inwieweit die Entfernung von Mikroverunreinigungen notwendig ist. Ozonung und Adsorption an Aktivkohle scheinen derzeit die vielversprechendsten Verfahren für die großtechnische Anwendung zu sein. Beide Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wirkungsweise und ihrem Abscheideverhalten. Bei der Ozonung werden teilweise unbekannte Oxidationsnebenprodukte gebildet, über deren Verhalten kaum Informationen vorliegen. Die Abscheidung nahezu aller gelösten Verbindungen ist letztlich derzeit nur mit der Umkehrosmose umsetzbar und mit hohem Energiebedarf verbunden. Im der Falle Mikroverunreinigungen müssten auch die Risiken niedrigster Konzentrationen für Flora, Fauna, Mensch und Umwelt sowie stoffliche Wechselwirkungen und der Abbau dieser Stoffe im Boden betrachtet und quantifiziert werden. Darauf aufbauend können für den spezifischen Anwendungsfall Qualitätsanforderungen (z. B Grenzwerte für einzelne Stoffe oder Stoffgruppen) vorgegeben werden. Für die Nutzung von

behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung wird großer Forschungsbedarf gesehen.

Bei der Auslegung von Verfahrensketten besteht insbesondere noch Forschungsbedarf hinsichtlich der möglichen Nutzung von synergetischen Effekten durch die Auswahl der einzelnen Verfahren. Die Ozonung zum Beispiel ermöglicht die Elimination von Mikroverunreinigungen und Krankheitserregern. Die technische Herausforderung besteht somit darin, Synergieeffekte zu nutzen und effiziente Verfahrensketten für den spezifischen Anwendungsfall bereitzustellen.

Hinsichtlich der Abscheidung von Mikroschadstoffen besteht noch Forschungsbedarf. Die Behandlungsverfahren zur Reduktion von Mikroschadstoffen stehen noch am Anfang der großtechnischen Anwendung. Insbesondere die wirtschaftliche Optimierung und die Vermeidung bzw. Minimierung von Transformationsnebenprodukten ist noch nicht abgeschlossen. Die Ozonung und die Anwendung von Pulveraktivkohle, jeweils mit anschließender Filtration, scheinen derzeit am weitesten verbreitet zu sein. Wobei beide Verfahren, auch in Kombination, nur einen Teil der Spannbreite der im Abwasser vorkommenden Mikroverunreinigungen abdecken.

Zudem ist es sinnvoll und notwendig, die Behandlungsoptionen zur Reduktion von Mikroverunreinigungen im Zusammenhang mit anderen geplanten weitergehenden Anforderungen abzugleichen. Insbesondere unter Berücksichtigung zukünftiger Anforderungen, wie z.B. der weitergehenden Phosphorelimination (P < 0,3 mg/l), der Elimination von antibiotikaresistenten Mikroorganismen, der Elimination von Mikroplastik-und Nano-Partikeln, der weitgehenden Entkeimung sowie der Entsalzung, können Kombinationen mit Filtrations- und Membranverfahren eine größere Bedeutung bekommen.

Auch zur human- und ökotoxikologischen Bewertung der Risiken durch Spurenstoffe besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

6 Infrastruktur und Organisation

Die Nutzung von behandeltem Abwasser erfordert den Bau, den Betrieb und die Instandhaltung technischer Infrastruktur. Darüber hinaus sind dabei verschiedene Akteure beteiligt, deren Interessen, Aufgaben, Pflichten und Handlungsspielräume berücksichtigt werden müssen.

6.1 Infrastruktur

Zur Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung sind infrastrukturelle Komponenten zur Sammlung und Behandlung, Transport und Verteilung sowie zur Speicherung des Abwassers notwendig. Die einzelnen Komponenten werden im Folgenden beschrieben und an den Beispielen Braunschweig und Wolfsburg erläutert (siehe Kästen).

Bei Systemen, in denen behandeltes Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung eingesetzt wird, handelt es sich um Wasserversorgungssysteme für landwirtschaftliche Flächen. Diese weisen dieselben Systembereiche auf wie andere Wasserversorgungssysteme. Tabelle 32 gibt einen Überblick über die verschiedenen Systembereiche, gibt Beispiele aus dem gegenwärtigen Stand der Bewässerungslandwirtschaft und vergleicht diese mit der Nutzung von behandeltem Abwasser.

Tabelle 32: Systembereiche und Komponenten bei der landwirtschaftlichen Bewässerung

Systembereich	Bewässerung (Status Quo)	Bewässerung mit behandeltem Abwasser
Wasserbereitstellung	Grundwasser (Brunnen) oder Oberflächenwasser (Entnahmebauwerk, Pumpe)	Kläranlage (Sammlung)
Wasseraufbereitung/ Abwasserbehandlung	je nach Rohwasserqualität keine (Bewässerung aus Grundwasser) bis sehr aufwendige Aufbereitung (z.B. Flusswasseraufbereitung Hessisches Ried)	abhängig von Größenklasse der Kläranlage, qualitativen Anforderungen, angebauter Kulturart
Wasserspeicherung	keine (Bewässerung aus Grundwasser), Grundwasseranreicherung (z.B. Hessisches Ried), oberirdische Speicherbecken (z.B. Stöcken), Hochbehälter (z.B. Beregnungsverband Vorderpfalz)	Grundwasseranreicherung, oberirdische Speicherbecken, Hochbehälter
Wasserzuleitung	bei Grundwasser meist kurze Distanzen, bei Oberflächenwasser längerer Transport möglich (z.B. Beregnungsverband Vorderpfalz)	abhängig von Entfernung der Kläranlage zu Bewässerungs-flächen, weite Distanzen möglich
Wasserverteilung	verschiedene Bewässerungssysteme im Einsatz (in Deutschland meist Trommelregner)	verschiedene Bewässerungssysteme denkbar, eventuell Partikelentfernung nötig (z.B. bei Tröpfchenbewässerung)

6.1.1 Sammlung und Behandlung

Eine Voraussetzung für die landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung ist die zentrale Sammlung und Behandlung von kommunalem Abwasser. Diese kann in Deutschland vor dem

Hintergrund der existierenden Infrastruktur und der rechtlichen Anforderungen als erfüllt angesehen werden. Je nach Ausbaugröße werden die Anlagen in fünf Größenklassen unterteilt (Kapitel 1.2). Mehr als 96 % des anfallenden Abwassers durchlaufen mindestens eine biologische Reinigungsstufe (Statistisches Bundesamt, 2013). Bei der Betrachtung von Kosten und Nutzen müssen etwaig entstehende Zusatzkosten einer weitergehenden Reinigung (z.B. Desinfektion, Entfernung organischer Mikroverunreinigungen) mit berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5).

Ein wichtiger Punkt, um technische Prozesse kosteneffizient miteinander zu verknüpfen, ist die Auslegung der zusätzlichen Reinigungsstufen. Es hat sich gezeigt, dass durch die Auslegung auf die Spitzenbelastung bei Trockenwetter (Trockenwetterspitze) 95 – 97 % der Abwassermenge behandelt werden können (Remy, 2013). Falls nicht das gesamte Abwasser benötigt wird, kann auch nur ein Teilstrom des Abwassers weitergehend behandelt werden (Asano, 2007).

In Braunschweig erfolgt die Wasserbehandlung und -bereitstellung durch das Klärwerk Steinhof, welches das Abwasser der Stadt Braunschweig und weiterer umliegender Kommunen zentral behandelt (LWK Hannover, 2000). Das Klärwerk entspricht dem gegenwärtigen Stand der Technik und umfasst eine mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlungsstufen zur Entfernung von gelöster Organik sowie Stickstoff und Phosphor. Das Klärwerk behandelt eine Gesamtmenge von 21 Mio m^3/a, wovon ca. 12 Mio m^3 auf rund 2 700 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche des Abwasserverbandes verregnet werden (LWB Hannover, 2000). 9 Mio m^3 werden über ehemalige Rieselfelder biologisch nachgereinigt und über den Aue-Oker Kanal der Oker zugeführt.

Am Standort Wolfsburg wird eine Abwassermenge von ca. 20 000 m^3 pro Tag auf 1 550 ha landwirtschaftlicher Fläche verregnet. Die Kläranlage hat eine Nominalbelastung von ca. 135 000 EW und eine Ausbaugröße von 170 000 EW. Das behandelte Abwasser dient der landwirtschaftlichen Beregnung. Es findet eine vollständige Abwasserbehandlung statt, d.h. inklusive biologischer Nährstoffelimination von Stickstoff und Phosphor. Die Stickstoffkonzentration im Ablauf beträgt 4 mg/l. Es findet keine Bedarfsberegnung statt. Die Beregnungshöhen liegen zwischen 250 und 300 mm/a.

Im Winter wird das behandelte Abwasser einem Waldgebiet zugeleitet und über Graben- und Muldensysteme zur Grundwasseranreicherung verteilt. Der Grundwasserstand wird regelmäßig über Überwachungspegel kontrolliert. Der Grundwasserflurabstand darf einen Wert von 2 m nicht unterschreiten. Der Abstand zwischen Grundwasseranreicherungs- und Trinkwassergewinnungsgebieten beträgt ca. 3 km. Die Trinkwassergewinnung erfolgt aus dem zweiten Grundwasserstockwerk, die Infiltration von behandeltem Abwasser in das darüber liegende erste Grundwasserstockwerk.

6.1.2 Transport und Verteilung

Bei der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser erfolgt die Wasserbereitstellung über das Klärwerk. Von dort muss das Wasser den landwirtschaftlichen Flächen zugeleitet werden. Die dafür benötigten **Förderanlagen** lassen sich wie bei anderen Wasserversorgungssystemen in Haupt-, Zwischen- und Druckerhöhungspumpwerke einteilen (DIN EN 805[38], Mutschmann, 2007). Der Ort und die Anzahl der Förderanlagen ist stark von den örtlichen Gegebenheiten

[38] DIN EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden deutsche Fassung EN 805: 2000.

abhängig, wie z.B. der lokalen Topographie und der benötigten Förderleistung. Hauptpumpwerke befinden sich im Fall der Wiedernutzung von behandeltem Abwasser meist am Ort der Wasseraufbereitung, also dem Klärwerk (Asano, 2007). Sie dienen vornehmlich dem Wassertransport über die Zubringerleitung (Mutschmann, 2007).

Zwischenpumpwerke werden im Verteilungsnetz installiert, um den Wassertransport im übergeordneten Leitungssystem sicherzustellen. Zwischenpumpwerke können dabei die Funktion von Überheb-, Zonen-, Zubringer- oder Druckerhöhungspumpwerke übernehmen (Mutschmann, 2007).

Falls kleinere Netzbereiche nicht mit ausreichend Druck versorgt werden, können Druckerhöhungsanlagen eingesetzt werden. In Abhängigkeit vom vorgelagerten System erfolgt die Einbindung entweder unmittelbar in eine Hauptleitung oder mittelbar in einen Wasserbehälter bzw. Zwischenspeicher (Mutschmann, 2007).

Wasserverteilungssysteme werden in Zubringer-, Haupt- und Verteilungsleitungen unterschieden. Die Rohrdurchmesser nehmen mit dem Grad der Verzweigung ab. Haupt- und Verteilungsleitungen haben bei der landwirtschaftlichen Feldberegnung meist Durchmesser zwischen 150 und 250 mm (von Haaren & von Haaren, 2014). Zubringerleitungen können weitaus größere Durchmesser erreichen. Die genaue Auslegung des Versorgungssystems hängt von den gegebenen Standortbedingungen und Versorgungszielen ab. Versorgungsziele sind definiert als der an *„der Übergabestelle zum Verbraucher vorzusehende Versorgungszustand (Versorgungsdruck, Durchflussmenge, Versorgungssicherheit usw.)“* (DIN EN 805).

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Bewässerung mit Grundwasser und der Nutzung von behandeltem Abwasser besteht in der Wasserzuleitung über eine große Distanz. Brunnen zur Grundwasserentnahme werden in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Verhältnissen und den benötigten Wassermengen sowie den Vorgaben der Entnahmeerlaubnis räumlich möglichst nah an den Bewässerungsflächen geplant. Bei der Nutzung von behandeltem Abwasser ist der Ort der Wasserbereitstellung durch den Ort des Klärwerks vorgegeben. Da die Kosten von Rohrleitungen in Abhängigkeit vom Nominaldurchmesser erheblich steigen, ist das Überbrücken großer Distanzen über Zubringerleitungen mit hohen Investitionen verbunden. Zwar kann die Wasserzuleitung auch über offene Systeme erfolgen, jedoch sind diese in Deutschland von untergeordneter Bedeutung (DIN 19655)[39]. Eine Analyse der Transportdistanzen für eine angenommene vollständige Nutzung des anfallenden Abwassers auf Basis der vorhandenen Abwassermengen, dem Bewässerungsbedarf und der Lage der landwirtschaftlichen Nutzflächen findet sich in Kapitel 2. Die Distanzen sind gegliedert nach Ausbaugröße der Klärwerke.

Als Vorbild für die benötigte Verteilungsinfrastruktur können regionale Wasser- und Bodenverbände dienen. Besonders geeignet sind Systeme, an denen große Wassermengen punktuell entnommen und über weite Strecken transportiert werden. Der Beregnungsverband Vorderpfalz entnimmt beispielsweise sein Beregnungswasser einem Altrheinarm und verteilt dieses auf ca. 13 500 ha. Die zur Beregnung genutzte Wassermenge variiert von Jahr zu Jahr. Im Zeitraum 2000 - 2010 lag sie zwischen 9,2 und 16,8 Mio m^3. Die Zuleitungen zu den Druckerhöhungspumpwerken betragen 55 km, die des Verteilungsnetzes 600 km (BVP, 2015). Die Zubringerleitung kann dabei einen maximalen Volumenstrom von 6,5 m^3/s fördern. Die dafür notwendige Zubringerleitung hat eine Nennweite von 1 600 mm. Tabelle 34 gibt einen

[39] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Herausgeber),DIN 19655: Bewässerung – Aufgaben, Grundlagen, Planung und Verfahren, 2008.

Überblick über die installierte Infrastruktur zur Wasserförderung und –verteilung des Beregnungsverbandes Vorderpfalz.

Tabelle 33: Technische Daten des Beregnungsverbandes Vorderpfalz (BVP, 2015)

Technische Daten	Bereich Süden	Bereich Norden
angeschlossene Beregnungsfläche	8 900 ha	4 600 ha
Wasserentnahmestelle	Otterstadter Altrhein	Zwischenspeicher Assenheim
Hauptzubringerleitung	21 km	13 km
Nebenzubringerleitung	16 km	5 km
Verteilerleitung	350 km	250 km
Pumpwerke und Anzahl der Pumpen	1 Hauptpumpwerk mit 6 Pumpen 9 Druckerhöhungspumpwerke mit 38 Pumpen	1 Zwischenpumpwerk mit 5 Pumpen 5 Druckerhöhungspumpwerke mit 23 Pumpen

In Braunschweig findet der Wassertransport über eine Freigefälleleitung statt. Die ca. 2 700 ha Fläche des Abwasserverbands Braunschweig erstreckt sich über eine Länge von ca. 15 km (Distanz vom Klärwerk ca. 17 km) und einer Breite von ca. 2 km. Für Zuleitung und Verteilung sind rund 120 km Erdleitungen und 900 Unterflurhydranten verbaut (Eggers, 2008). Die Zubringerleitung hat dabei zu Beginn eine Nennweite von 1 300 mm (DN 1300). Die Wasserverteilung wird durch vier zusätzliche Zwischenpumpwerke sichergestellt. Die Verteilungsleitungen haben Nennweiten zwischen DN 150 und DN 200.

Am Standort Wolfsburg existieren keine Zwischenpumpwerke. Die Wasserförderung wird ausschließlich vom Hauptpumpwerk am Klärwerk übernommen. Eine Besonderheit in Wolfsburg ist, dass das Rohabwasser dem Klärwerk nicht im freien Gefälle zugeführt, sondern bereits zum Klärwerk gehoben wird. Die verbleibende Höhendifferenz zwischen dem Klärwerk und den Verregnungsgebieten beträgt 13 m.

In Wolfsburg sind ca. 100 km Rohrleitungen verlegt, die hauptsächlich aus Asbestzement, aber auch aus HDPE, PVC und Gusseisen bestehen. Die Durchmesser der verbauten Rohrleitungen liegen zwischen DN 100 für die Verteilungsleitungen und bis zu DN 800 für die Zubringerleitungen. Über die Zubringerleitungen kann ein maximaler Volumenstrom von 1 950 m^3/h gefördert werden. Der Förderdruck des Verregnungspumpwerks beträgt ca. 6,9 bar.

6.1.3 Wasserspeicherung

Wasserspeicher erfüllen verschiedene Funktionen. Hierzu zählen unter anderem der Ausgleich von Verbrauchsschwankungen und die Absicherung von Verbrauchspitzen, die Aufrechterhaltung von Druckzonen bei Speichern in Hochlagen (Hochbehälter, Wassertürme), das Überbrücken von Betriebsstörungen, die Verwendung als Misch-, Filter- oder Absetzbecken, aber auch das Regulieren von Betriebsabläufen (Mutschmann, 2007).

Verbrauchsschwankungen können sich auf unterschiedliche Zeiträume beziehen. Dementsprechend lassen sich Wasserspeicher in kurz- und langfristige Speicher unterteilen (Asano, 2007, Mutschmann, 2007). Zur langfristigen Speicherung können Seen, Talsperren oder dafür angelegte Speicherbecken dienen. Denkbar wäre auch die Speicherung in einem geeigneten Grundwasserleiter. Beispiele hierfür finden sich in Deutschland im Landkreis Uelzen (Speicherbecken Stöcken) oder im Hessischen Ried, wo Grundwasseranreicherung zum

Ausgleich erhöhter Wasserentnahmen durch die Landwirtschaft und zur Trinkwassergewinnung praktiziert wird.

Der Wasserbedarf in der landwirtschaftlichen Feldberegnung unterliegt starken saisonalen Schwankungen sowohl innerhalb und außerhalb der Vegetationsperiode als auch zwischen nassen und trockenen Jahren. Tages- und wochenweise Schwankungen sind witterungsbedingt. Ein weiterer Grund besteht im kulturartenspezifischen Wasserbedarf entsprechend der jeweiligen Entwicklungsstadien. Gemäß der „guten fachlichen Praxis“ für die landwirtschaftliche Bewässerung sind die Wassergaben zur besseren Ausbildung des Wurzelraumes zu Beginn der Vegetationsperiode eher niedriger und steigen mit zunehmendem Pflanzenwachstum(LfL, 2008).

Schwankungen innerhalb eines Tages können darüber hinaus durch innerbetriebliche Abläufe bedingt sein, wie beispielsweise die Anzahl gleichzeitig eingesetzter Beregnungsmaschinen oder Beregnungsverzicht während der Mittagszeit, um Verdunstungsverluste zu vermeiden. Diese müssen bei der Dimensionierung von Wasserspeichern berücksichtigt werden.

6.1.3.1 Wasserspeicherung bei der direkten Nutzung von behandeltem Abwasser

Die Bemessungsgröße bei der Dimensionierung von Wasserspeichern zum Ausgleich von Wasserbedarfsschwankungen ist im Allgemeinen der maximale Tageswasserbedarf (Mutschmann, 2007, Asano, 2007). Falls ausschließlich behandeltes Abwasser zur Bewässerung genutzt werden soll, muss die täglich anfallende Abwassermenge ausreichen, um den Wasserbedarf auch in länger anhaltenden Trockenperioden zu decken.

Sowohl der Volumenstrom an behandeltem Abwasser als auch der Wasserbedarf in der Landwirtschaft unterliegen täglichen Schwankungen. Kleinere Vorlagespeicher können Unterschiede zwischen Wasserbereitstellung und -bedarf ausgleichen. Der maximale tägliche Wasserbedarf berechnet sich dabei aus der Beregnungsfläche, der maximalen Beregnungshöhe pro Beregnungsgabe und dem Beregnungsturnus (von Haaren & von Haaren, 2014):

$$Wasserbedarf = \frac{Fläche\ (ha) * Beregnungshöhe\ (mm) * 10}{Beregnungsturnus\ (d)}$$

Durch die Nutzung von Speichern können die potenziell notwendige weitergehende Aufbereitung, die Förderleistung sowie die Zubringerleitung auf den Durchschnittsverbrauch an Spitzentagen ausgelegt werden. Nur Hauptleitung und Verteilungsleitungen müssen dann für die maximal zu erwartenden stündlichen Verbrauchsspitzen bemessen sein. Dies führt zu kleineren Durchmessern bei der Zubringerleitung und gleichmäßigerem Pumpenbetrieb bei der Hauptförderung und verringert somit Investitionskosten als auch variable Kosten.

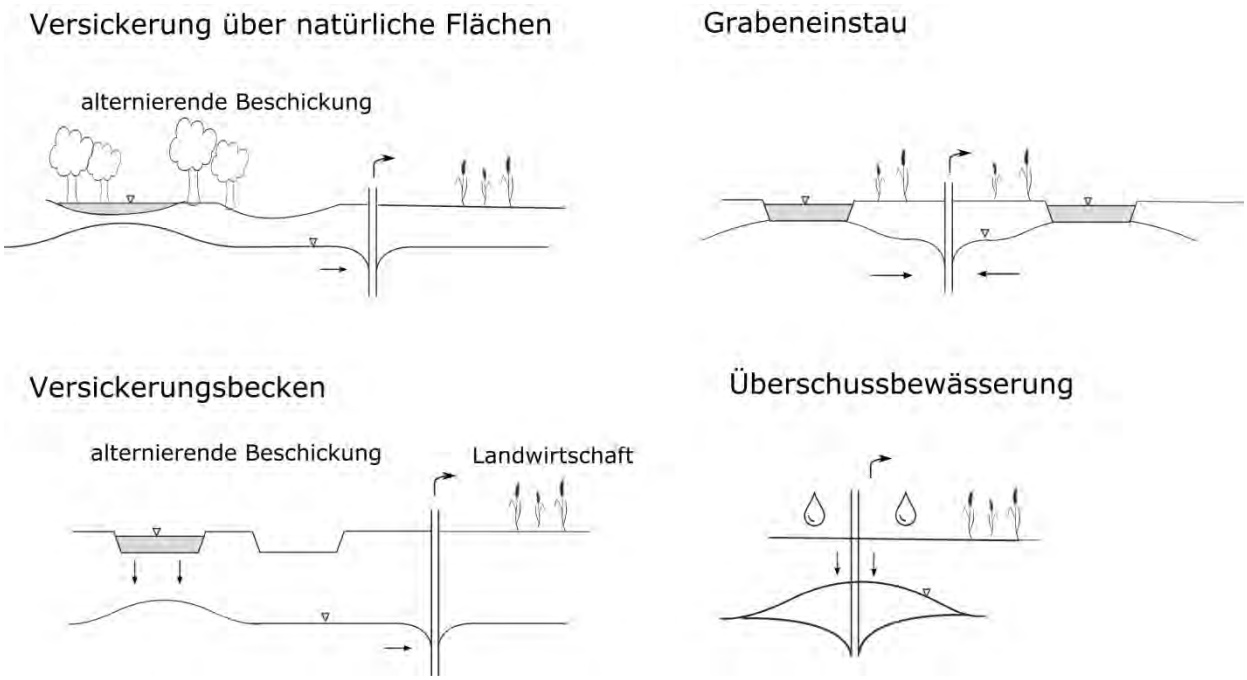
6.1.3.2 Wasserspeicherung bei der indirekten Nutzung von behandeltem Abwasser durch Grundwasseranreicherung

Prinzipiell stehen für die Grundwasseranreicherung verschiedene Infiltrations- bzw. Injektionstechniken zur Verfügung. Bei der Wahl der geeigneten Technik sind die vorherrschenden hydrogeologischen Verhältnisse, die zur Verfügung stehenden Fläche, die Investitionskosten, aber vor allem auch die Wasserqualität von Bedeutung. Weist das zur Anreicherung vorgesehene Wasser hohe Trübung und/oder Nährstoffgehalte auf, führt die Grundwasseranreicherung über Injektionsbrunnen leicht zum Zusetzen des Porenraums.

Für die Nutzung von behandeltem Abwasser werden deshalb unterschiedliche Infiltrationsverfahren empfohlen (NWQMS, 2006, S.19), die alleine oder in Kombination angewandt werden können (s. Abbildung 32). Bei der Wahl des Versickerungsverfahrens sind

die vorherrschenden naturräumlichen Gegebenheiten, wie z. B. Landnutzung, Relief und Hydrogeologie zu berücksichtigen.

Abbildung 32: Schematische Darstellung verschiedener Arten der Grundwasseranreicherung in der Land-und Forstwirtschaft



Versickerung über natürliche Flächen oder Infiltrationsbecken: Bei dieser Art der Grundwasseranreicherung wird die natürliche Reinigungsleistung des Bodens teilweise gezielt als zusätzliche Reinigungsstufe genutzt, bevor das Infiltrat den Grundwasserkörper erreicht. Diese Art der Infiltration kann sowohl über künstlich angelegte Infiltrationsbecken als auch über natürlich vorhandene Senken geschehen. Sie wird meist in einem zeitlichen Zyklus von Betrieb und Ruhephase von mehreren Becken bzw. Versickerungsflächen betrieben. Dadurch können Wartungsarbeiten (z. B. Entfernung von Kolmationsschichten) durchgeführt und Sauerstoff in das System eingetragen werden. Diese Art der Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser für die Landwirtschaft wird beispielsweise in Shafdan (Israel) in großem Maßstab betrieben, findet aber auch in Wolfsburg statt.

Grabeneinstau: Die Grundwasseranreicherung kann auch über Kanäle oder Gräben erfolgen. Dieses Verfahren wird beispielsweise in einem ehemaligen Rieselfeld in Berlin-Hobrechtsfelde genutzt. Das dort aufgebrachte behandelte Abwasser wird über ein vorhandenes Grabensystem und über künstlich angelegte Teiche versickert. Ziel dieser Maßnahmen ist die nachhaltige Entwicklung der Fläche als Natur- und Erholungsraum. Wichtige Voraussetzung dabei ist eine gute Wasserdurchlässigkeit des Bodens.

Überschussbewässerung: Die Infiltration des behandelten Abwassers kann auch über die landwirtschaftlichen Flächen direkt erfolgen, indem in Zeiten, in denen das Feld brach liegt, bewässert wird. Ein Beispiel dafür ist die Überschussbewässerung in Braunschweig.

6.1.3.3 Hydrogeologische Voraussetzungen

Für die Grundwasseranreicherung mittels Infiltration spielen die geohydraulischen Eigenschaften der ungesättigten Bodenzone sowie des Grundwasserleiters eine entscheidende Rolle.

Die **hydraulischen Eigenschaften des Bodens** sind durch wechselnde Wassersättigungen gekennzeichnet. Böden mit hohen Tongehalten und damit geringer hydraulischer Durchlässigkeit sind für die Grundwasseranreicherung nur eingeschränkt geeignet. Die Infiltrationsraten an diesen Standorten sind zu gering, um die anfallenden Wassermengen aufnehmen zu können.

Der **Grundwasserflurabstand** (vereinfacht Flurabstand) wird definiert als der lotrechte Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche des oberen Grundwasserleiters (DIN 4049). Er sollte ausreichend groß sein. Wenn Grundwasseroberfläche und – druckfläche nicht zusammenfallen, bedingt durch eine oder mehrere gering durchlässige geologische Schicht(en), bezeichnet man das Grundwasser als gespannt. In diesem Fall ist der Flurabstand der lotrechte Abstand zwischen der Geländeoberkante und der Unterkante der gering durchlässigen Schicht (Hannappel & Limberg, 2007). Bei der Grundwasseranreicherung mittels Infiltration (im Gegensatz zur Injektion) sind ungespannte Grundwasserverhältnisse Voraussetzung, da sonst gering durchlässige Schichten ein Anreichern des oberen Grundwasserleiters verhindern bzw. erschweren und es zur Ausbildung von schwebenden Grundwasser (d.h. hydraulisch isolierte Grundwasserkörper im Hangenden des Hauptgrundwasserleiters) oder zu Staunässe kommen kann. **Eine Grundwasseranreicherung durch Infiltration ist daher nur in ungespannten Grundwasserleitern zu empfehlen.**

Bei der Grundwasseranreicherung muss ausreichend Stauraum im Untergrund für die zu infiltrierende Wassermenge zur Verfügung stehen. Dieser Stauraum bzw. das potenzielle Speichervolumen kann über den Grundwasserflurabstand und die **effektive Porosität** des unbedeckten Grundwasserleiters ermittelt werden. Die effektive Porosität bezeichnet denjenigen Anteil der Poren am Gesamtporenraum, der einen hydraulischen Transport zulässt. Das heißt, nur Wasser, welches sich nicht in geschlossenen oder sehr kleinen Hohlräumen befindet oder als Haftwasser an der Gesteinsoberfläche adhäsiv gebunden ist, nimmt am Strömungsvorgang teil und steht damit für eine Grundwasserentnahme zur Verfügung.

Des Weiteren sind die hydraulischen Eigenschaften des ungespannten Grundwasserleiters zu berücksichtigen. Der **hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert (k_f)** ist die fundamentale Größe zur Quantifizierung der Wasserleitfähigkeit eines Grundwasserleiters. Der k_f-Wert eines oft großräumig auftretenden Grundwasserleiters unterliegt aufgrund von geologischen Heterogenitäten natürlichen örtlichen Schwankungen und kann deshalb meist nur in Bereichen von einer oder auch mehreren logarithmischen Größenordnungen angegeben werden. **Die Hohlraumart** der betrachteten Grundwasserleiter hat ebenfalls einen Einfluss auf die Eignung zur Grundwasseranreicherung. Neben den Porengrundwasserleitern des Norddeutschen Tieflandes sowie des Alpenvorlandes gibt es Karst- und Kluftgrundwasserleiter sowie Kombinationen von beiden. Kluftgrundwasserleiter besitzen im Vergleich zu Porengrundwasserleitern oft ein komplexeres Fließverhalten und ein geringeres Speichervermögen. Karstgrundwasserleiter sind darüber hinaus durch ein geringes Rückhalte- bzw. Abbauvermögen von Schadstoffen gekennzeichnet. Gute hydraulische Durchlässigkeiten, ein hohes Speichervermögen sowie das Rückhalte- und Abbaupotenzial gegenüber Schadstoffen begründen die gute Eignung von Porengrundwasserleitern für eine Grundwasseranreicherung.

In Braunschweig wird das behandelte Abwasser auf unterschiedliche Art und Weise gespeichert bzw. zurückgehalten. Durch die Überschussbewässerung findet eine Speicherung eines Teils des Bewässerungswassers im Grundwasserleiter statt, aus dem in Trockenperioden zusätzliches Bewässerungswasser entnommen wird. Darüber hinaus existiert mit den ehemaligen Rieselfeldern, die inzwischen als Feuchtgebiet der biologischen Nachreinigung dienen, ein zusätzliches Speichervolumen von ca. 200 000 m^3. Weitere kleinere Zwischen- und Vorlagespeicher existieren an den vier Zwischenpumpwerken.

Am Klärwerk Wolfsburg schließt sich ein Vorlagespeicher von 50 000 m^3 an. Dieses Speichervolumen reicht aus, das am Wochenende anfallende Abwasser zwischenzeitlich zu speichern und den Verregnungsbetrieb am Wochenende auszusetzen. Weitere Zwischen- oder Vorlagespeicher existieren nicht. Darüber hinaus findet durch die Grundwasseranreicherung in den Wintermonaten eine längerfristige Wasserspeicherung statt. Von den versickerten Wassermengen wird nur ein Teil wieder zu Bewässerungszwecken entnommen.

6.1.4 Bewässerungssysteme

Die Wasserverteilung auf landwirtschaftlichen Flächen kann durch verschiedene Bewässerungssysteme erfolgen (Abbildung 33). Die Präferenz eines bestimmten Bewässerungssystems hängt dabei von unterschiedlichen Faktoren ab (von Haaren & von Haaren, 2014):

- Das System sollte bei gleicher Flächenleistung mit möglichst geringem Druck (energiearm) arbeiten.
- Wasser sollte effizient verteilt werden (bedarfsgerecht, mit geringer Verdunstung).
- Das System sollte automatisiert arbeiten, mobil sein und auch ungünstige Flächenzuschnitte vollständig beregnen können.
- Das System sollte verschleißarm und leicht zu kontrollieren sein, d. h. per Computer oder Mobiltelefon.
- Das System sollte Informationen über das exakte Wetter vor Ort, die Zusatzwassergaben und der Bodenfeuchte erfassen und speichern sowie im Idealfall über Zusatzfunktionen eine auf die Boden- und Nährstoffverhältnisse angepasste Beregnung ermöglichen (Precision Irrigation).

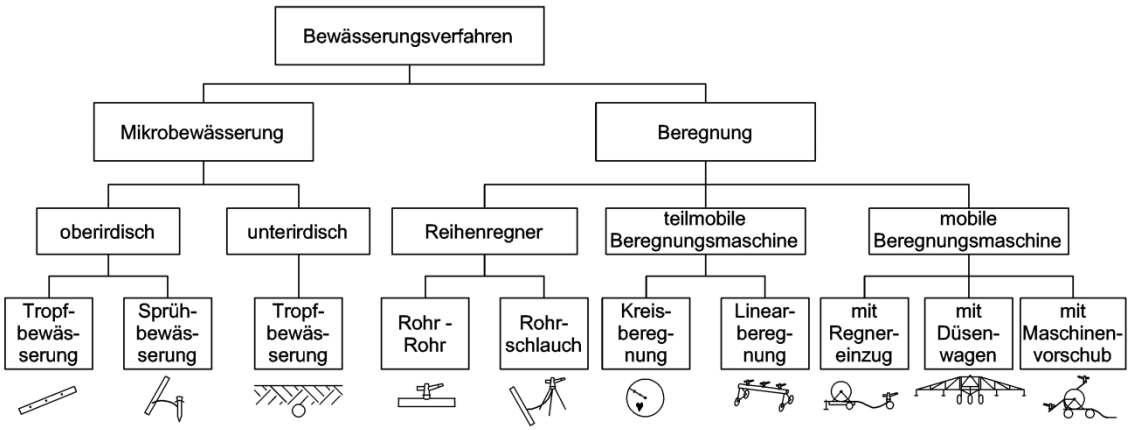
Nach von Haaren & von Haaren (2014) kann durch den Einsatz moderner Kreis- und Linearberegnungsmaschinen der Zusatzwasserbedarf um bis zu 30 % gesenkt werden. Da derzeitig in Deutschland auf 97 % der Beregnungsflächen Trommelregner eingesetzt werden, existiert hier ein hohes Potenzial, Wasser effizienter einzusetzen. Auch in Wolfsburg und Braunschweig werden Trommelregner verwendet. Diese können mobil und auf kleineren Schlägen eingesetzt werden. Linear- und Kreisberegnungsmaschinen setzen aus ökonomischen Gründen eine Mindestschlaggröße von 20 - 25 ha voraus. (von Haaren & von Haaren, 2014).

Für die ausschließliche Nutzung von behandeltem Abwasser können auch andere Beregnungssysteme zum Einsatz kommen, die sich hinsichtlich verschiedener Betriebsparameter, Investitions- und Betriebskosten, der Mobilität aber auch hinsichtlich der agrarstrukturellen Anforderungen (z. B. Schlaggröße) unterscheiden (Abbildung 33).

Besondere Aspekte bei der Nutzung von behandeltem Abwasser sind die Aerosolbildung der einzelnen Beregnungsarten sowie die Benetzung verschiedener Pflanzenteile. Durch die Vermeidung von Aerosolbildung sowie der Benetzung verzehrbarer Pflanzenteile können hygienische Risiken vermindert werden (z. B. durch Tröpfchenbewässerung). Die Wahl der

Bewässerungstechnik kann somit als Maßnahme zur Minderung hygienischer Risiken dienen. Dies wird auch in der DIN 19650 berücksichtigt. Weitere Maßnahmen können darin bestehen, Schutzhecken anzulegen oder Mindestabstände zu Straßen und Wohngebieten festzulegen.

Abbildung 33: Übersicht über existierende Bewässerungssysteme zur landwirtschaftlichen Bewässerung nach DIN 19655[40]



6.2 Wassermengenmanagement, Organisation und Kommunikation im Nutzungsverbund

Eine Herausforderung bei der Nutzung von behandeltem Abwasser stellt die Organisation einer bedarfsgerechten Bewässerung dar, wenn der landwirtschaftliche Wasserbedarf und die verfügbaren Abwassermengen stark schwanken. Gründe für solche Schwankungen wurden bereits in Kapitel 6.1.3 dargestellt.

Die exakte Planung und Auslegung von Systemen zur landwirtschaftlichen Wiederverwendung von behandeltem Abwasser hängt stark von den lokalen Bedingungen ab sowie von der bereits vorhandenen Bewässerungsinfrastruktur. Falls bereits Verteilungsnetze zur Feldberegnung existieren, kann das behandelte Abwasser in das bestehende Netz eingespeist werden (Mersch, 2011). Die Wasseraufbereitung ist in diesem Fall an die bestehende Infrastruktur, die landwirtschaftliche Praxis sowie an die hygienischen Anforderungen anzupassen. Werden dagegen neue Projekte für eine Abwassernutzung konzipiert, können die Verfahren zur Abwasserbehandlung, die Verteilsysteme und die landwirtschaftliche Praxis in einer integrierten Planung aufeinander abgestimmt werden. Abwasser kann dabei vollständig, teilweise oder in Kombination mit anderen Wasserquellen zur Bewässerung eingesetzt werden. Im Folgenden sollen zwei Fälle exemplarisch dargestellt werden, in denen ausschließlich behandeltes Abwasser zur Bewässerung genutzt wird:

- Fall 1: Die tägliche Abwassermenge reicht aus, um den maximalen Tageswasserbedarf zu decken.
- Fall 2: Die tägliche Abwassermenge reicht nicht aus, um den maximalen Tageswasserbedarf zu decken.

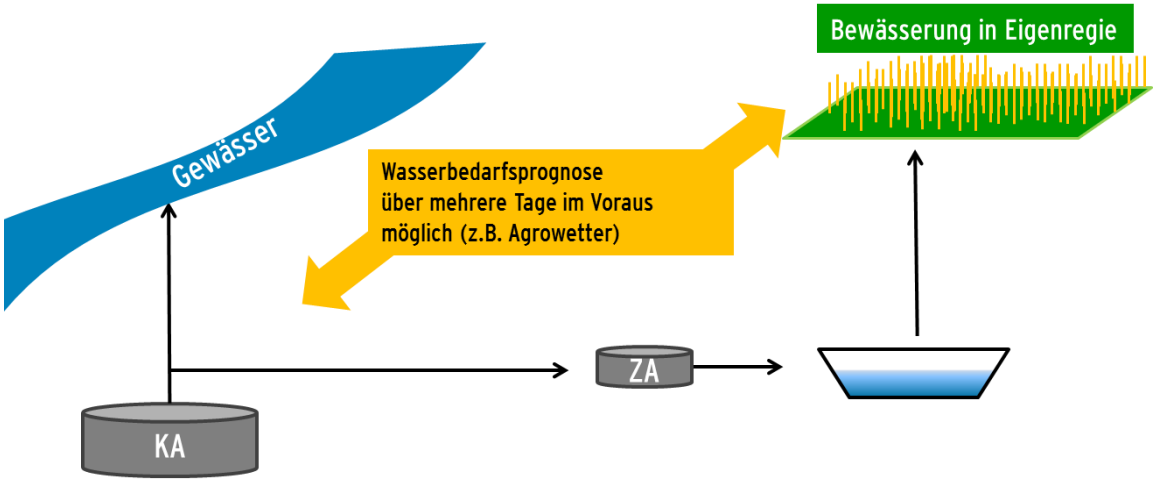
Im **ersten Fall (direkte Nutzung mit kurzfristiger Speicherung)** ist die Nutzung von behandeltem Abwasser ohne langfristige Speicherung möglich. Kleinere Vorlagespeicher dienen der kosteneffizienten Auslegung potenziell notwendiger zusätzlicher

[40] DIN 19655: Bewässerung – Aufgaben, Grundlagen, Planung und Verfahren.

Aufbereitungsstufen, der Zubringerleitung sowie der für den Transport notwendigen Pumpleistung. Nicht zur Bewässerung benötigtes Abwasser wird weiterhin in ein Gewässer eingeleitet. Die größenklassenspezifischen Anforderungen der AbwV (Tabelle 42) sind einzuhalten. Aus Kostengründen ist das Speichervolumen möglichst klein zu wählen. Der maximale Tageswasserbedarf wird aus der Summe aus Speichervolumen und dem bereitgestellten behandelten Abwasser gedeckt. Von daher ist es notwendig, dass der Klärwerksbetreiber rechtzeitig im Vorfeld über den Bewässerungsbedarf in Kenntnis gesetzt wird. Hierfür stehen dem Landwirt verschiedene Vorhersagedienste zur Verfügung, wie beispielsweise „Agrowetter“ des Deutschen Wetterdienstes (www.dwd.de/agrowetter) bzw. eine entsprechende Beregnungsberatung. Auf diese Weise können die benötigten Wassermengen der kommenden Tage an das Klärwerk weitergegeben werden, welches diese dann bereitstellen kann.

Werden die zur Verfügung stehenden Wassermengen von mehreren Landwirtschaftsbetrieben genutzt, muss analog zur Brunnenbewirtschaftung, bei der die zur Verfügung stehende Wassermenge durch die Brunnenergiebigkeit begrenzt ist, die Wasseraufteilung unter den Betrieben geregelt werden. Hierfür steht durch Beregnungsverbände und die gemeinsame Nutzung von Bewässerungsbrunnen durch landwirtschaftliche Zusammenschlüsse ausreichend Erfahrung zur Verfügung. Durch Wasserzähler an den Beregnungsmaschinen können die spezifische Wassernutzung und somit auch die variablen Kosten anteilig bestimmt werden. Abbildung 34 gibt einen Überblick über den beschriebenen Fall.

Abbildung 34: Fallbetrachtung der direkten Nutzung von behandeltem Abwasser mit kurzfristiger Speicherung



KA: Kläranlage, ZA: zusätzliche Aufbereitungsstufe(n) (optional).

Ein Trommelregner benötigt für den Betrieb einen Mindestvolumenstrom von ca. 50 m^3/h. Um ein Trockenlaufen der Pumpe zu vermeiden, sollte ein Wasservolumen von mindestens 80 m^3/h zur Verfügung stehen (Mersch, 2011). Dieser Volumenstrom (Betrieb von einem Trommelregner) kann als minimal benötigter Volumenstrom zur Nutzung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung angesehen werden, wenn auf die Nutzung von Grundwasser vollkommen verzichtet werden soll. Tabelle 34 zeigt das maximale Bewässerungspotenzial von Klärwerken verschiedener Größenklassen bei der direkten Nutzung von behandeltem Abwasser (Fall 1).

Tabelle 34: Maximale Betriebsdauer, bewässerbare Fläche und benötigte Anzahl von Beregnungsmaschinen in Abhängigkeit von der Ausbaugröße des Klärwerks sowie unterschiedlicher spezifischer Abwassermengen pro Einwohnerwert (EW) bei direkter Abwassernutzung

Ausbaugröße (berechnet für)	Maximale Betriebsdauer bei 50/90 m^3/(a*EW)	Benötigte Anzahl von Trommelberegnungsmaschinen bei 10 h Betriebsdauer und 80 m^3/h	bewässerbare Fläche bei Gabenhöhe von 20 mm	Bewässerbare Fläche bei Beregnungsturnus von 10 d
GK 1 (1 000 EW)	max. 2 – 3 h/d	1	0,7 - 1,2 ha/d	7 – 12 ha
GK 2 (5 000 EW)	max. 9 - 15 h/d	1 – 2	3,5 - 6,2 ha/d	35 - 62 ha
GK 3 (10 000 EW)	max. 17 -31 h/d	2 – 4	7 – 12,3 ha/d	70 - 123 ha
GK 4 (100 000 EW)	max. 170 - 310 h/d	20 - 40 oder Linearsystem(e)	70 - 123 ha/d	700 – 1 230 ha
GK 5 (> 100 000 EW)	> 170 h/d	> 20 oder Linearsystem(e)	> 70 ha/d	> 700 ha

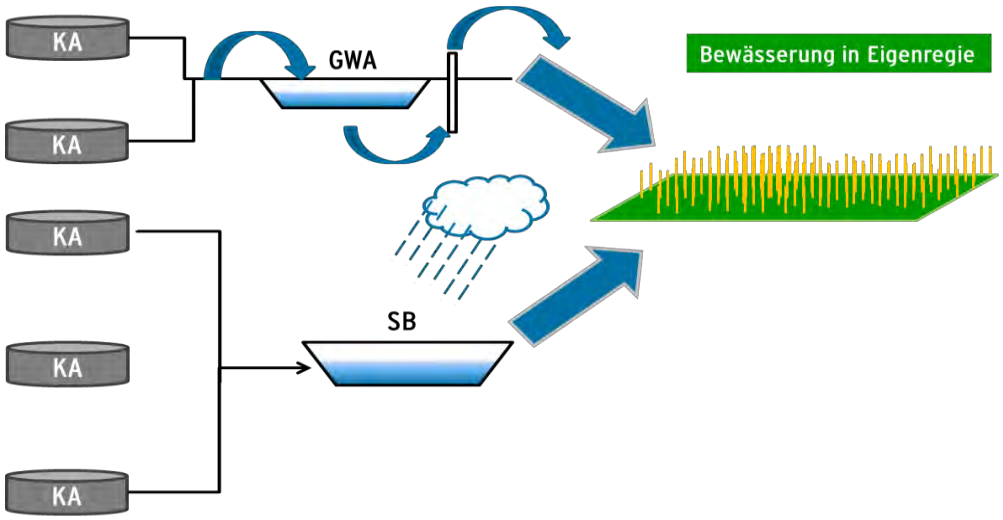
Die Annahmen von 50 bzw. 90 m^3/(EW*a) entstammen dem 25. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen (DWA, 2012). Der niedrigere Wert von 50 m^3/(EW*a) entspricht dabei etwa dem spezifischen Abwasseranfall der Gebiete der DWA – Landesgruppen Nord und Nordost, der Wert von 90 m^3/(EW*a) dem der Gebiete Hessen, Rheinland-Pfalz bzw. Saarland. Die Werte wurden gewählt, da sich in diesen Regionen die Schwerpunkte der Bewässerungslandwirtschaft in Deutschland befinden (Niedersachsen, Hessisches Ried, Vorderpfalz) bzw. weil Regionen in Nordostdeutschland eine negative klimatische Wasserbilanz aufweisen.

Wählt man als Cut-Off- Kriterium eine Beregnungsdauer von 8 – 10 h/d, so setzt die direkte Nutzung von behandeltem Abwasser eine Mindestausbaugröße von ca. 5 000 EW (entspricht GK 3) voraus. Um das Potenzial kleinerer Klärwerke besser nutzen zu können, bieten sich Systeme an, bei denen auch das behandelte Abwasser außerhalb der Vegetationsperiode längerfristig gespeichert werden kann (Fall 2).

Fall 2 bezieht sich auf die **indirekte Nutzung mit längerfristiger Speicherung.** Als Speicheroptionen kommen sowohl oberirdische Speicherbecken als auch Grundwasserleiter in Frage (siehe Kapitel 6.1.3.3). Längerfristige Speicheroptionen zeichnen sich dadurch aus, dass eine bedarfsgerechte Beregnung leicht zu realisieren ist, da die Entnahme von Bewässerungswasser aus dem jeweiligen Wasserspeicher analog zur konventionellen Bewässerung in Eigenregie der Landwirte stattfinden kann. Auch können verschiedene Wasserquellen (z. B. Regenwasser), oder das Wasser mehrerer kleinerer Klärwerke gesammelt bzw. in denselben Grundwasserleiter infiltriert werden. Bei der Speicherung in Grundwasserleitern und bei der Untergrundpassage sind die besonderen Anforderungen des Grundwasserschutzes zu berücksichtigen. Diese werden an anderer Stelle diskutiert (siehe Kapitel 4). Abbildung 35 zeigt schematisch die indirekte Nutzung von behandeltem Abwasser mit längerfristiger Wasserspeicherung. Unabhängig davon, welche Art der der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser genutzt wird, sind klare

Organisationstrukturen wichtig, in denen die Aufgaben– und Verantwortungsbereiche für alle beteiligten Akteure festlegt sind.

Abbildung 35: Indirekte Nutzung von behandeltem Abwasser mit längerfristiger Speicherung



GWA: Grundwasseranreicherung, SB: Speicherbecken.

An den Standorten Braunschweig und Wolfsburg ist die Verregnung von behandeltem Abwasser historisch gewachsen. Es findet keine Bedarfsberegnung statt. Die jährlich auf die Verbandsfläche aufgebrachte Wassermenge entspricht in Braunschweig ca. 500 mm, in Wolfsburg 250 - 300 mm. Dem stehen eine negative klimatische Wasserbilanz von -162 mm (Zeitraum 1981-2011) und ein Zusatzwasserbedarf von ca. 120 mm gegenüber (LWK Hannover, 2000).

In Wolfsburg entscheiden die Landwirte über die angebaute Fruchtfolge und bewirtschaften die Flächen in Eigenregie. Die Organisation und Durchführung der Abwasserverregnung wird von den Wolfsburger Entwässerungsbetrieben übernommen und findet von Montag bis Freitag im Zweischichtbetrieb statt. Die spezifischen, zusätzlichen Kosten der Abwasserverregnung betragen ca. 0,40 €/m^3. Diese werden auf die zu zahlende Abwassergebühr angerechnet. Die Landwirte bezahlen einen pauschalen Betrag von 75 €/(ha*a).

In Braunschweig wird die Abwasserverregnung vom Abwasserverband Braunschweig übernommen. Der Landwirt muss sich bei der Bewirtschaftung der Flächen auf die Besonderheiten der Abwasserverregnug einstellen. Diese beinhaltet z. B. die Abnahme von Abwassermengen auch in Nassjahren. Obwohl in normalen Jahren die Vorteile der Abwasserverregnung überwiegen, erbringt der Landwirt durch die Zurverfügungstellung seiner Flächen auf diese Weise auch eine gewisse Dienstleistung. Für die Beregnung zahlt der Landwirt ca. 80 €/(ha*a) (LWK Hannover, 2000).

6.3 Risiko- und Qualitätsmanagement

Risiken sind bei Wasserversorgungssystemen jedweder Art nicht auszuschließen. Diese können technischer, hygienischer oder wirtschaftlicher Natur sein. Risikomanagement als Methode wird eingesetzt, um mit Risiken planvoll und angemessen umzugehen und um diese so gut wie möglich zu beherrschen. Wie auch im Trinkwasserbereich durch die Einführung von Water Safety Plans, fordert die Weltgesundheitsorganisation die Anwendung von Risikomanagementmethoden bei der Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung (WHO, 2006). Prinzipiell können Risikomanagementsysteme in die folgenden Schritte unterteilt werden:

- Beschreibung des Gesamtsystems

- Bewertung des Gesamtsystems (Gefährdungsanalyse, Risikobewertung)
- Risikobeherrschung (Maßnahmenimplementierung und Überwachung)
- Verifizierung der Versorgungssicherheit
- Dokumentation
- Periodische Revision.

Vorsorgenden Risikomanagements muss stets das Gesamtsystem im Blick haben, sodass Gefährdungen und daraus resultierende Risiken an verschiedenen Punkten des Systems durch geeignete Maßnahmen erkannt und reduziert werden können.

So können beispielsweise mikrobielle Risiken sowohl durch zusätzliche Desinfektionsstufen als auch durch Anbaubeschränkungen oder die Wahl des Bewässerungssystems reduziert werden. Je nach spezifischem Anwendungsbereich bestimmter Chemikalien können diese bereits innerhalb des Einzugsgebietes des Klärwerks reduziert werden, sodass sie nicht ins kommunale Abwasser gelangen. Tabelle 35 gibt einen Überblick über die wichtigsten Komponenten eines Systems zur landwirtschaftlichen Wiederverwendung von behandeltem Abwasser, Beispiele für zu treffende Maßnahmen sowie potenzielle Zielparameter.

Tabelle 35: Hauptkomponenten und Maßnahmen von Systemen zur Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Systemkomponenten	Mögliche Maßnahmen	Zielparameter/Wirkung der Maßnahme
Einzugsgebiet (städtisch, ländlich, industriell geprägt)	Indirekteinleiterkontrollen (z. B. Braunschweig), Vermeidung industrieller Einleitungen (z. B. Wolfsburg), Vorbehandlung von Krankenhausabwässern	Persistente und (toxische) chemische Verbindungen (spezifisch für bestimmte Industriezweige und Anwendungsgebiete), multiresistente Keime
Abwasserbehandlung (GK 1 - GK 5 + zusätzliche Nachbehandlung)	Einführung zusätzlicher Reinigungsstufen	Desinfektion, Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen, Nährstoffeliminierung
Langfristige/ kurzfristige Speicherung (oberirdische Speicherung, Grundwasseranreicherung)	Gezielte Nutzung biologischer und physikalischer Prozesse zur Reduktion chemischer und mikrobiologischer Belastungen	Hygienische Parameter, biologisch und photolytisch abbaubare Substanzen, Feststoffe
Potenzielle Nachbehandlung	Technische Nachbehandlung nach Speicherung	Einzelfallspezifische Nachbehandlung
Wasserverteilung	Expositionsvermeidung durch Wahl geeigneter Bewässerungsverfahren, Bewässerungssteuerung zur bedarfsgerechten Bewässerung, Mischung mit anderen Wässern	Hygienische Parameter, Vermeidung, gelöste Abwasserbestandteile, Ionentoxizität und Salzgehalt
Landwirtschaftliche Praxis	Wahl der Kulturart und Bewässerungsziel (z. B. Kulturarten für den Rohverzehr, Energie- und Industriepflanzen, Frostschutzbewässerung)	Hygienische Parameter, Salzgehalt durch Wahl salzverträglicher Kulturarten

Systemkomponenten	Mögliche Maßnahmen	Zielparameter/Wirkung der Maßnahme
Ergänzende Maßnahmen	Expositionsvermeidung durch u.a. Schutzhecken, Mindestabstände, Arbeitssicherheit (z. B. Braunschweig)	Hygienische Parameter

6.4 Wirtschaftlichkeit und Kostenkalkulation

Das wesentliche Ziel jeder Bewässerungsmaßnahme ist die Sicherstellung des Ertrages in Trockenphasen (DIN 19655). Ob in Deutschland bewässert wird, ist vor allem eine betriebswirtschaftliche Entscheidung, die jeder Landwirt für seinen Betrieb zu treffen hat. Die Steigerung und Sicherstellung der Qualität und der Erträge der angebauten Kulturarten sowie die Reduktion des Verlustrisikos in Trockenperioden stehen hierbei im Vordergrund (Michel & Sourell, 2014, Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2011).

6.4.1 Bewässerungsbedürftigkeit und Bewässerungswürdigkeit

Bei der Bewertung von Bewässerungsmaßnahmen muss zwischen Bewässerungsbedürftigkeit und Bewässerungswürdigkeit unterschieden werden. Eine Bewässerungsbedürftigkeit besteht, wenn die landwirtschaftliche Produktion einer bestimmten Kulturart und -qualität ohne Bewässerung nicht möglich wäre. Einflussfaktoren sind hierbei vor allem die Niederschlagsmengen, das Wasserhaltevermögen des Bodens sowie die Ansprüche der jeweiligen Kulturart.

Die Beregnungswürdigkeit betrifft die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung. Dabei spielen neben den erzielbaren Mehrerträgen die Gewinne die entscheidende Rolle. Politische Einflussfaktoren, wie die Subventionierung bestimmter Kulturarten (z. B. Energiepflanzen), können diese stark beeinflussen. Sich verändernde Marktpreise für landwirtschaftliche Kulturarten führen dazu, dass Prognosen zur Bewässerungswürdigkeit mit großen Unsicherheiten behaftet sein können.

6.4.2 Kosten-Nutzen-Kalkulation bei konventioneller Feldberegnung

Im Rahmen des Forschungsprojektes KLIMZUG NORD wurde eine detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse aus landwirtschaftlicher Sicht für die Feldberegnung durchgeführt. Als wirtschaftliche Vorteile der Feldberegnung können nutzenseitig die folgenden Faktoren aufgeführt werden (von Haaren & von Haaren, 2014):

- Sicherere und höhere Erträge durch Beregnung im Vergleich zu nicht beregneten Flächen und damit höhere Erlöse durch größere Erzeugung
- Bessere Qualität der Ernteprodukte (z. B. Stärkegehalt von Kartoffeln, Zuckergehalt von Zuckerrüben) und damit höhere Verkaufserlöse
- Beregnung erlaubt den Anbau von hochpreisigen Produkten, wie z. B. Braugerste, Gemüse oder Speisekartoffeln, deren Anbau auf nicht bewässerten Flächen ein unkalkulierbares wirtschaftliches Risiko darstellen würde
- Höhere Effizienz beim Einsatz der Produktionsmittel durch Ausschöpfung des vollen Ertragspotenzials, Reduktion der spezifischen Kosten pro eingesetzter kWh, je Kilogramm Phosphor und Stickstoff, der Pflanzenschutzmittel. Dies bedeutet gleichzeitig eine geringere Umweltbelastung durch Vermeidung von Nitratauswaschung, geringere Treibhausgasemissionen und bessere Humusanreicherung.

Kostenseitig ist zwischen festen und variablen Kosten zu unterscheiden. Zu den Festkosten zählen vor allem die Kosten für den Brunnenbau, Pumpen, Elektroanschlüsse, Schaltkästen, Erdleitungsverlegung, Hydranten, Abgänge und Bögen sowie das gewählte Beregnungssystem. Die genaue Planung hängt dabei stark von den örtlichen Gegebenheiten ab. Durchgeführte Kostenabschätzungen sind abhängig von der Schlaggröße und dem gewählten Bewässerungssystem. Sie variieren zwischen 150 €/ha (Michel & Sourell, 2014) und 230 €/ha (von Haaren & von Haaren, 2014).

Variable Kosten sind Kosten für Arbeitsaufwand, Wasserentnahme, Energiekosten und Instandhaltung. Diese hängen vom gewählten System und den entsprechenden Betriebsparametern ab. Für die Bewässerung von 502 ha mit jährlich 100 mm berechneten Haaren & von Haaren (2014) variable Kosten zwischen 1,10 €/mm für großstrukturierte Bewässerung mittels Liniearberegnungssysteme und 2,20 €/mm für kleinstrukturierte Bewässerung mittels Trommelregner. Dies deckt sich mit den Angaben der Oehnaland Agrar GmbH (1 €/mm bei Kreisberegnungsmaschinen, siehe Kapitel 6.5). Andere Abschätzungen setzen variable Beregnungskosten zwischen 1,50 - 1,80 €/mm für den Einsatz von Trommelregnern an (Michel & Sourell, 2014). Innerhalb des Beregnungsverbands Vorderpfalz beträgt der Preis pro Kubikmeter Wasser derzeit 0,27 €, also 2,70 €/mm.

Addiert man feste und variable Kosten der Feldberegnung und nimmt man eine Bewässerungsmenge von 100 mm an, kann man die Beregnungskosten in Abhängigkeit von den standortspezifischen Gegebenheiten und Umsetzung mit 250 bis 450 €/(ha*a) beziffern.

Eine genaue Prognose der Wirtschaftlichkeit einer Bewässerungsmaßnahme ist vor dem Hintergrund sich verändernder Weltmarktpreise schwierig. Zwar führen Bewässerungsmaßnahmen in der Regel zu Mehrerträgen, jedoch können die Mehrerlöse durch zu hohe Bewässerungskosten wieder getilgt werden. Dass Mehrerträge nicht immer zu einem Mehrerlös führen, zeigt Tabelle 36, in der die Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsabschätzung am Standort Hamersdorf mit reduzierter und intensiver Beregnung dargestellt sind (Fricke & Riedel, 2011). Es zeigt sich, dass zwar die Erträge durch Erhöhung der Bewässerungsgaben in allen Fällen steigen, dies aber nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der beregnungskostenfreien Leistungen führt. Darüber hinaus lassen sich für Kartoffeln als die beregnungswürdigste Kulturart bereits 86 % des Mehrerlöses und 80 % des Mehrertrags durch 55 % der eingesetzten Wassermenge erreichen. Dieser Faktor ist bei einer Investitionsentscheidung bezüglich der Nutzung von behandeltem Abwasser als zusätzlicher Wasserquelle zu berücksichtigen.

Tabelle 36: Wirtschaftlichkeit der Feldberegnung am Versuchsfeld Hamersdorf 2006 - 2010 (Fricke & Riedel, 2011)

	Speisekartoffeln	Winterweizen	Wintergerste	Silomais	Fruchtfolge
Intensive Beregnung ab 50 % nutzbare Feldkapazität (nFK)					
Ertrag (beregnet)	728 dt/ha	79 dt/ha	81 dt/ha	195 dt/ha	
Ertrag (unberegnet)	510 dt/ha	54 dt/ha	62 dt/ha	158 dt/ha	
Mehrertrag im Vergleich zur unberegneten Fläche	218 dt/ha	25 dt/ha	19 dt/ha	37 dt/ha	
Erlöse (beregnet)	10 192 €/ha	1 185/1 422 €/ha ***	972 €/ha	1463 €/ha	
Erlöse* (unberegnet)	6 120 €/ha	783/972 €/ha***	744 €/ha	1185 €/ha	
Zusätzliche Kosten	230 €	30 €	25 €	0 €	
Erlösdifferenz	3 842 €	372/420 €***	203 €	278 €	
Beregnungsmenge	155 mm	136 mm	89 mm	118 mm	125 mm
Kosten bei 1,60 €/mm variable Kosten	248 €	218 €	142 €	189 €	
Variable Beregnungskostenfreie Leistung	3 594 €/ha	154/266 €/ha***	61 €/ha	89 €/ha	974 €/ha
Beregnungskostenfreie Leistung	3 444 €/ha	4/166 €/ha***	-89 €/ha	-61 €/ha	824 €/ha
Reduzierte Beregnung ab 35 % nFK					
Ertragsdifferenz (beregnet)	173 dt/ha	19 dt/ha	11 dt/ha	25 dt/ha	
Beregnungsmenge	85 mm	69 mm	44 mm	61 mm	65 mm
Kosten bei 1,60 €/mm variable Kosten	136 €	110 €	70 €	98 €	
Variable Beregnungskostenfreie Leistung	3 106 €/ha	177 €/ha	49 €/ha	169 €/ha	875 €/ha
Beregnungskostenfreie Leistung**	2 956 €/ha	27 €/ha	-101 €/ha	19 €/ha	725 €/ha

* Unter Annahme der folgenden Preise: 14 bzw.12 €/dt Speisekartoffeln (beregnet/unberegnet); 15 bzw.14,50 €/dt Weizen (beregnet/unberegnet), 12 €/dt Futtergerste, 7,50 €/dt TM Silomais

**Festkosten: Annahme 150 €

***berechnet mit 18 €/dt

6.4.3 Besonderheiten bei der Nutzung von behandeltem Abwasser

Wie bei der konventionellen Bewässerung liegt bei der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser der größte Nutzen des Landwirtes im Wesentlichen im Wasserwert (Höll, 2002, Meyer, 2014). Kosten-Nutzen-Kalkulationen sind somit vom Ansatz her mit denen der konventionellen Feldberegnung vergleichbar.

Unterschiede ergeben sich aus der potenziell notwendigen weitergehenden Abwasserreinigung sowie der Wasserzuleitung und den damit verbundenen Zuleitungskosten. Diese sind dem Bau, dem Betrieb sowie der Ergiebigkeit eines Brunnens gegenüberzustellen. Die spezifischen Kosten

einer weitergehenden Abwasserreinigung hängen vom Aufbereitungsziel, dem gewählten Verfahren bzw. den Verfahrensketten und der Anlagengröße ab.

Zusätzlich zu den benötigten Kosten für die weitergehende Abwassereinigung sind die Investitionskosten für die Wasserzuleitung und die damit verbundenen Zuleitungskosten zu berücksichtigen. Letztere sind bei vergleichbarer Förderleistung der Pumpe(n) vor allem von den topografischen Gegebenheiten, den Druckverlusten im Leitungsnetz sowie dem erforderlichen Einspeisedruck abhängig. Wenn das behandelte Abwasser, wie im Fall Braunschweig, im Freigefälle zugeleitet werden kann, oder wenn Grundwasser nur aus tiefen Schichten gefördert werden kann, könnte die Nutzung von behandeltem Abwasser aus energetischer Sicht vorteilhaft sein.

In einer Kosten-Nutzen-Analyse im Rahmen des Forschungsprojektes KLIMZUG NORD (Meyer, 2014) wurde das Potenzial der landwirtschaftlichen Nutzung von Kläranlageabläufen in Deutschland in verschiedenen Szenarien untersucht. Diese umfassten unterschiedliche Anforderungen an das Aufbereitungsziel sowie unterschiedliche Anteile von behandeltem Abwasser an der Gesamtbewässerungswassermenge.

Unter den getroffenen Annahmen kommt die Studie zu dem Schluss, dass es lohnenswert sei, detaillierte regionsspezifische Rechnungen anzustreben. Fehlende rechtliche Anforderungen an die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser werden als für die Umsetzung erschwerende Faktoren gesehen (Meyer, 2014). Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit werden dem Mehrertrag durch die Bewässerung vor allem die mengenspezifischen variablen Kosten, wie Pumpkosten, Abwasserbehandlung, Abwasserabgaben sowie der Düngeeffekt des Abwassers gegenübergestellt. Zusätzlich benötigte Investitionskosten werden nicht berücksichtigt. Diese müssten im Einzelfall geprüft werden.

6.5 Kostenverteilung, Akzeptanz und Akteure

Die potenziell notwendige zusätzliche Abwasserbehandlung, die Zuleitung, sowie die Investitionskosten für den Bau und die Wartung von Zubringerleitungen und Zwischenspeichern stellen die wesentlichen Unterschiede zur Feldberegnung mit Grundwasser dar. Investitions- und Betriebskosten für die notwendigen Verteilungsnetze und Bewässerungssysteme, inklusive möglicher staatlicher Fördermöglichkeiten, z. B. durch das Agrarinvestitionsförderungsprogramm (AFP), können folglich als vergleichbar angenommen werden.

Bezüglich der Kostenverteilung kann diese analog zu anderen Investitionen im Bereich der landwirtschaftlichen Feldberegnung erfolgen. In Regionen, in denen die Feldberegnung eine große Rolle spielt, sind Bau und Betrieb sowie die Unterhaltung von Speichern und Verteilungsnetzen oft in Beregnungsverbänden organisiert, in denen die beregnenden landwirtschaftlichen Betrieb sowie (je nach öffentlichem Interesse) lokale und regionale Gebietskörperschaften die wichtigsten Mitglieder sind. Bei bereits existierenden großen Infrastrukturmaßnahmen wurden Teile der benötigten Infrastruktur aus EU-Mitteln (z. B. Speicherbecken Stöcken, 30 % EU-Finanzierung) oder durch Fördermaßnahmen der Bundesländer unterstützt (z. B. Beregnungsverband Vorderpfalz: Aufbau des Netzes bis zu 90 % gefördert, Zusatzpumpwerk 2010: 50 % durch Bundesland und EU).

Regelungen müssen außerdem getroffen werden, falls es durch die Nutzung von behandeltem Abwasser zu Veränderungen der Abwasserabgabe kommt, da beispielsweise weniger Nährstoffe in die Gewässer eingeleitet werden. Die Abwasserabgabe wird von den Ländern erhoben. In Braunschweig ist derjenige Teil des Abwassers, welcher zur Bewässerung genutzt

wird, von der Abgabe befreit. Inwieweit diese Kostenreduktion bei der Abwasserbehandlung der Landwirtschaft durch reduzierte variable Kosten oder dem Gebührenzahler zugutekommen, kann im Einzelfall zwischen den beteiligten Akteuren geklärt werden.

In den meisten Bundesländern werden die Landwirte durch unterschiedliche Förderungen aus EU-Mitteln und Förderprogrammen des Bundes oder der Länder beim Ausbau ihrer Beregnungsinfrastruktur bzw. der Bildung von Zweckverbänden unterstützt. Mit der Gemeinschaftsaufgabe zur „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK)[41] werden Investitionen für den Neubau und die Erweiterung von überbetrieblichen Einrichtungen zur Entnahme, Speicherung und Zuleitung für Beregnungszwecke auf Länderebene gefördert. Diese werden u.a. auch mit der AFP der Länder auf einzelbetriebliche Investitionen bezogen.

Neben der Kostenverteilung ist die Akzeptanz der Landwirte entscheidend. Um die Perspektive der Landwirte näher zu beleuchten, wurde ein Interview mit Experten der Oehnaland Agrar GmbH im Niederen Fläming (Brandenburg) durchgeführt (siehe Kasten). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Landwirte die Anbauflächen oft nur gepachtet haben. Erfahrungen am Zentrum für Agrarlandschaftsforschung in Müncheberg haben gezeigt, dass das Ausbringen von behandeltem Abwasser ausschließlich auf privaten Flächen für möglich gehalten wird, nicht jedoch auf Pachtflächen (mdl. Mitteilung P. Zander, S. Preissel, M. Hecker, ZALF). Im Forschungsprojekt KLIMZUG NORD wurde gezeigt, dass die Akzeptanz der Landwirte aufgrund der Produkthaftung erst gegeben ist, wenn eine weitergehende Reinigung des gereinigten Abwassers stattfindet (Meyer & Schulz, 2014). Im Gegensatz dazu ist nach des Abwasserverbands Braunschweig die Akzeptanz bei Landwirten, Abnehmern und Anwohnern im Raum Braunschweig hoch.

Nicht weniger wichtig als die Akzeptanz der Landwirte ist die Akzeptanz der Landesumweltbehörden. Dies wurde vor allem während des Abschlussworkshops zum vorliegenden Projekt deutlich, auf denen die Ergebnisse des vorliegenden Berichts diskutiert wurden. Vor allem hinsichtlich der Bewertung von Mikroverunreinigungen, die vom Kompartiment Oberflächenwasser hin zum System Boden-Grundwasser verlagert werden, gab es große Meinungsunterschiede zwischen Vertretern unterschiedlicher Bundesländer. Auf der einen Seite wurde argumentiert, dass das Einleiten von Mikroverunreinigungen in das Grundwasser durch Bewässerung mit behandeltem Abwasser ein Ausschlusskriterium für diese Art der Bewässerung darstellt und somit eine Erlaubnis nicht erteilt werden darf, wenn ein Eintrag in das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden kann. Auf der anderen Seite wurde betont, dass bereits stattfindende Einträge von Mikroverunreinigungen über Gülle oder als Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln in den Boden und teilweise in das Grundwasser toleriert werden. Der Besorgnisgrundsatz werde folglich unterschiedlich streng angewendet. Maßnahmen sollten zudem eher an der Ursache ansetzen, sodass manche Stoffe erst gar nicht in das Abwasser gelangen können (siehe Tabelle 35). Auch wurde argumentiert, dass mit dem Einsatz von Aktivkohle und Ozon zwar vielversprechende technische Optionen zur Verfügung stehen, diese Verfahren jedoch keine vollständige Entfernung aller Stoffe leisten können. Mikroverunreinigungen sind in ihrer Konzentration noch weiter zu reduzieren. Die Grundproblematik einer unbestimmten Anzahl nichtbewerteter Substanzen im Bewässerungswasser bliebe so bestehen. Einigkeit bestand darin, dass die Nutzung von

41 BMELV: Nationale Rahmenregelung der Bundesrepublik Deutschland für die Entwicklung der ländlichen Räume, 8. Änderung, Stand 11.05.2012.

behandeltem Abwasser in Trinkwasserschutzgebieten und in der Nähe empfindlicher Ökosysteme nicht genehmigt werden sollte.

Wie die Verlagerung von stofflichen Belastungen vom System Oberflächenwasser hin zum System Boden-Grundwasser letztendlich zu bewerten ist, kann rein wissenschaftlich nicht beantwortet werden, sondern setzt eine Abwägung und Priorisierung verschiedener Schutzgüter sowie (umwelt-)politischer und wasserwirtschaftlicher Zielsetzungen voraus. Die Frage nach einem akzeptablen Risiko ist dabei stets eine Frage der gesamtgesellschaftlichen Akzeptanz, dessen Träger die Öffentlichkeit ist bzw. sein sollte.

Oehnaland Agrargesellschaft mbH (Kreis Teltow-Fläming/ Brandenburg):

Die Agrargesellschaft gründete sich 1991 auf der Grundlage des Landwirtschaftsanpassungsgesetzes aus 3 ehemaligen Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften (LPG). Sie bewirtschaftet 4 109 ha landwirtschaftliche Nutzfläche, davon 86 ha Grünland auf der vorherrschenden Bodenart schwach lehmiger Sand (Ackerzahl 37). Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt 500 mm. Häufig kommt es zu einer Vorsommertrockenheit. Im Jahr 2014 wurden 1 744 ha Getreide (42,5 %), 784 ha Mais (19,1 %), 574 ha Kartoffeln (14,0 %), 475 ha Raps (11,4 %) sowie auf insgesamt 349 ha Erbsen, Feldgras und Luzerne angebaut, 6,4 % nehmen Mähweiden ein. Der Tierbestand beläuft sich auf ca. 1 100 Kühe und 6 500 Schweine. Hauptproduktionsrichtungen sind die Milcherzeugung sowie die Mastläuferproduktion. Die Agrargesellschaft besitzt Qualitätszertifikate, u. a. für Milch, für die Rinderzucht, für die Ferkelaufzucht sowie für die Erzeugung von Speisekartoffeln und Getreide.

Seit 1998 werden 1 700 ha mit 27 Kreisberegnungsmaschinen beregnet. Die Beregnungswassermenge beträgt ca. 6 Mio m^3/a. Hauptsächlich werden Kartoffeln, Mais, Feldfutter und Braugerste beregnet. Die Beregnungshöhe beträgt für Kartoffeln und Mais ca. 130 mm, die in 8 Einzelgaben von 15 mm verabreicht wird. Für die anderen Kulturen werden ca. 70 mm beregnet.

Der Einsatz der Beregnungstechnik ist optimiert. Die Aufwendungen belaufen sich auf ca. 1 €/mm bzw. 150 €/ha laufende Kosten und Abschreibungen. Der Mehrertrag bei Kartoffeln liegt bei 100 %.

Die Wasserentnahmerechte gelten für 10 Jahre.

Der Einsatz von behandeltem Abwasser kommt für die Oehnaland Agrargesellschaft generell nicht in Frage, solange die Grundwasservorräte ausreichen und die Beregnungsmenge von der Wasserbehörde freigegeben wird. Dafür gibt es folgende Gründe:

- Die Produkte (Kartoffeln, Getreide) sind QS-zertifiziert. Der Einsatz von gereinigtem Abwasser würde als K.O.-Kriterium für die Zertifizierung gelten
- Die Verantwortung der Firma wäre bei der Herstellung von Marktprodukten zu hoch
- Die Produkte lassen sich nicht verkaufen, da wahrscheinlich die notwendige Akzeptanz in der Bevölkerung fehlt.

Technische Probleme bestehen in der Lage des Klärwerkes zur Fläche sowie in dem vorhandenen zu geringen Volumenstrom des geklärten Abwassers. Dazu folgendes Beispiel: Bei einem Einsatz einer Kreisberegnungsmaschine mit einem Radius von 700 m wird ein Volumenstrom von 200 m^3/h benötigt. Das den Flächen der Oehnaland Agrar GmbH am nächsten gelegene Klärwerk Jüterbog (GK 4) mit 19 409 EW erzeugt einen Volumenstrom von 137 m^3/h. Diese Menge würde nicht ausreichen, um die bereits vorhandene Technik zu nutzen. Eine Umstellung auf andere Beregnungsverfahren, wie z. B. bodennahe Rieselverfahren oder Tropfenbewässerung scheiden bei der derzeitigen Anbaustruktur (Kartoffeln, Mais) aus arbeitsorganisatorischer Sicht aus.

6.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In Kapitel 6 wurden die wesentlichen infrastrukturellen Elemente aufgezeigt, die für die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser benötigt werden und anhand der Standorte Braunschweig und Wolfsburg veranschaulicht. Es wurden Verknüpfungspunkte zwischen der Wasserbereitstellung und -weiterleitung, deren kosteneffiziente Bemessung sowie den Anforderungen an die saisonale Speicherung von behandeltem Abwasser durch die Grundwasseranreicherung dargestellt. Tabelle 37 fasst die erforderlichen infrastrukturellen Komponenten nochmals zusammen.

Tabelle 37: Infrastrukturelle Komponenten bei verschiedenen Optionen der Feldberegnung

Infrastrukturelement	Nur Abwasser	Abwasser und Grundwasser	Grundwasseranreicherung	Feldberegnung aus Grundwasser
Abwasserbehandlung (Stand der Technik)	erforderlich	erforderlich	erforderlich	
Weitergehende Abwasserbehandlung	teilweise erforderlich	teilweise erforderlich	erforderlich	
Zwischenspeicher (kurzfristig)	erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	
Zwischenspeicher (langfristig)	optional	optional	nicht erforderlich	
Hauptpumpwerk	erforderlich	erforderlich	Brunnenpumpe	Brunnenpumpe
Zubringerleitung	erforderlich	erforderlich	teilweise erforderlich	teilweise erforderlich
Versickerungsbecken/-flächen	nicht erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich
Zwischenpumpwerk/ Druckerhöhungspumpwerk	optional	optional	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Verteilungsnetz	erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich
Hydranten	1/80 m	1/80 m	1/80 m	1/80 m
Beregnungssystem	erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich

Viele der bereits heute in der Landwirtschaft, Wasserversorgung und Abwasserbehandlung gängigen Methoden zur Auslegung und Bewirtschaftung von Wasserressourcen lassen sich vergleichsweise leicht auf die Nutzung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung sowie zur Grundwasseranreicherung übertragen. Zudem bilden die Organisationsstrukturen existierender Wasser-, Boden- und Bewässerungsverbände eine solide Grundlage für eine etwaige zukünftige Bewässerung mit behandeltem Abwasser. Erfahrungen für die Einbindung von Akteuren und die Kostenverteilung bei der Wasserwiederverwendung liegen an den Beispielsstandorten in Braunschweig und Wolfsburg vor. Auf diese Erfahrungen kann bei der Planung an neuen Standorten zurückgegriffen werden.

Hinsichtlich der Kosten und des Nutzens liegen die Unterschiede zur konventionellen Bewässerung vor allem bei den Investitions- und Betriebskosten für die Wasserzuleitung, die benötigten Speicherkapazitäten sowie einer etwaigen zusätzlichen Abwasserbehandlung. Durchgeführte Kosten-Nutzen-Analysen im Rahmen des Projektes KLIMZUG NORD kamen zu dem Ergebnis, dass die Bewässerung mit behandeltem Abwasser unter bestimmten Bedingungen eine sinnvolle und wirtschaftliche Option zur Bewässerung darstellen kann. Die Kostenverteilung ist zwischen den beteiligten Akteuren abzustimmen. Auch hier können die beiden Standorte Braunschweig und Wolfsburg als Vorbild dienen.

Durch ein prozessorientiertes Risikomanagement können Risiken systematisch erfasst, offengelegt und durch entsprechende Maßnahmen an verschiedenen Stellen des Gesamtsystems verringert und beherrscht werden. Die Einführung und Anwendung risikobasierter Managementansätze kann als gute Praxis angesehen werden und wird neben dem Einhalten von Wasserqualitätsparametern empfohlen.

Neben der technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Machbarkeit ist die Akzeptanz aller beteiligten Akteure wahrscheinlich die wichtigste Voraussetzung für die Nutzung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung. Hierzu zählen vor allem die landwirtschaftlichen Betriebe sowie die zuständigen Behörden. Das Fehlen einer konkretisierten Formulierung des Besorgnisgrundsatzes sowie Regelungen im Bereich der Produktqualität und -haftung für bislang nicht geregelte Substanzen scheinen im Moment eine der größten Hürden für die Nutzung von behandeltem Abwasser zu sein.

7 Internationale Erfahrungen im Bereich Wasserwiederverwendung

Anders als in Deutschland ist in vielen Regionen der Welt, und auch Europas, der Druck auf die Wasserressourcen deutlich höher - sowohl aufgrund klimatischer Bedingungen als auch wegen höherer Entnahmen für Bewässerungszwecke. Angesichts wiederkehrender Dürren und Wasserknappheit bietet die Verwendung von behandeltem Abwasser die Möglichkeit, steigenden oder existierenden Wasserbedarf zu decken. Dabei reicht das Anwendungsspektrum für behandeltes Abwasser von der landwirtschaftlichen Bewässerung über industrielle Anwendungen bis hin zum Gebrauch im städtischen oder häuslichen Raum (Parkbewässerung, Straßenreinigung, Toilettenspülung) und sogar bis zur gezielten Anreicherung von Trinkwasserressourcen. Eine Übersicht über Standorte und erfolgreiche Anwendungen in Europa und weltweit findet sich u.a. in Lazarova *et al.* (2013), Bixio & Wintgens (2006) und Jimenez & Asano (2008).

Neben der Anwendungspraxis haben sich dabei auch unterschiedliche Ansätze zur Minimierung des gesundheitlichen Risikos und eine Vielzahl an nationalen Regularien etabliert. Im Folgenden werden einige der spezifischen supranationalen und außereuropäischen Regulierungsansätze für die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser erläutert. Dabei werden die Richtliniendokumente der Weltgesundheitsorganisation, Australiens sowie der US-amerikanischen Umweltbehörde (US-EPA) vorgestellt.

Zudem wird ein Überblick über die existierenden Regularien in Europa gegeben, insbesondere hinsichtlich der Wasserqualitätsanforderungen. Eine ähnliche Zusammenstellung wurde kürzlich vom Joint Research Centre der Europäischen Kommission veröffentlicht (EC, 2014).

7.1 Außereuropäische und supranationale Leitlinien und Normen

Der Überblick in diesem Abschnitt beschränkt sich auf supranationale / internationale Leitlinien, also Dokumente, die keine unmittelbare rechtliche Verbindlichkeit besitzen, aber die Entwicklung solcher Vorschriften beeinflussen oder fördern wollen. Zudem wurden nur Dokumente berücksichtigt, die von Organisationen mit Leitlinienkompetenz in den Bereichen Umwelt und Gesundheit verfasst wurden (Umweltbehörden, Ministerräte, Standardisierungsorganisationen).

7.1.1 Leitlinien der Weltgesundheitsorganisation

Die „WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume II Wastewater use in Agriculture (2006)“ zielen darauf ab, die menschliche Gesundheit bei der Verwendung von Abwasser in der Landwirtschaft hinreichend zu schützen. Es wird anerkannt, dass die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser positive Effekte auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt haben kann, falls die Risiken, die damit verbunden sind, durch geeignete Maßnahmen auf ein tolerierbares Maß reduziert werden (WHO, 2006). Die positiven Effekte liegen darin begründet, dass vor allem in trockenen Regionen durch die Nutzung von Abwasser, andere Wasserquellen geschont und so Wasserknappheit begegnet werden kann. Für deutsche Verhältnisse ist dies weniger relevant.

Aus Sicht des Gesundheitsschutzes sieht die Weltgesundheitsorganisation vor allem mikrobielle Gefährdungen im Vordergrund. Existierende qualitative Anforderungen an die chemische Beschaffenheit orientieren sich hingegen oft an den Anforderungen des Grundwasser- und Bodenschutzes sowie der landwirtschaftlichen Ertragssicherheit (WHO, 2006). Die möglichen Gesundheitsrisiken werden als Disability Adjusted Life Years (DALYs) quantifiziert. Mit dieser

Größe soll die Beeinträchtigung des normalen, beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit erfasst werden. Neben der Dauer einer erkrankungsbedingten Einschränkung wird auch die Schwere einer Erkrankung mit berücksichtigt. Das akzeptierbare Risiko wird mit 10^{-6} DALY pro Person und Jahr angesetzt ist.

Die Leitlinien geben selbst keine konkreten Grenzwerte und Anforderungen vor, sondern sollen Entscheidungsträgern als Grundlage dienen ebendiese abzuleiten. Dabei empfehlen sie einen vorbeugenden, risikobasierten Managementansatz zur Reduzierung, und Vermeidung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen der Abwasserwiederverwendung, der auf definierten Gesundheitszielen beruht.

Diese Gesundheitsziele können auf verschiedene Art und Weise spezifiziert werden (WHO, 2006).

1. Wasserqualität: Grenzwerte für spezifische Indikatororganismen (z.B. *E. coli*) oder andere Wasserqualitätsparameter (z. B. Trübung),
2. *Leistungsfähigkeit/Performance*: Anforderungen an spezifische Entfernungsraten, die durch technische und/oder nicht-technische Maßnahmen hinsichtlich spezifischer Parameter erreicht werden müssen (z.B. französische Gesetzgebung, siehe unten).
3. *Technologie-Anforderungen:* (Minimal-)Anforderungen an den Einsatz an eine spezielle Art von Technologie (z.B. Desinfektion, mindestens eine biologische Reinigungsstufe)
4. *Formulierung eines 'Gesundheitsziels':* z.B. die Festlegung einer tolerierbaren Infektionswahrscheinlichkeit für bestimmte Krankheiten, Nicht-Auftreten von bestimmten Krankheiten, Höchstwert an DALYs (disability adjusted life years). Als Basis können epidemiologische Studien, Überwachungsdaten oder quantitative mikrobielle Risikobewertungen dienen (WHO 2006, Section 2.5).

Die Gesundheitsziele können dann durch Kombinationen von Management- und Verhaltensmaßnahmen sowie Qualitätsanforderungen erreicht werden. Mit dem vorgeschlagenen Vorgehen zur Risikobeurteilung sollen Länder in die Lage versetzt werden, ihre eigenen Regularien zu entwickeln. Eine umfassende Revision der Leitlinien ist vorgesehen. Diese soll dem Bedarf an Leitlinien für weitere Anwendungen Rechnung tragen. Dazu zählen beispielsweise die Bewässerung von Parkanlagen, öffentlichem Grün, Industrieanwendungen und letztendlich auch die Trinkwassernutzung.

Zudem bedarf es einer verständlicheren, anwenderfreundlicheren Darstellung des Konzepts der DALYs – (disability adjusted life years) und der Ableitung gesundheitsbasierter Ziele. Insgesamt wird eine umfassende und integrierte Sichtweise auf die Abwasserwiederverwendungsthematik angestrebt sowie gleichzeitig eine Harmonisierung mit den Richtlinien für Trinkwasser und Badegewässer (Fawell, 2014).

7.1.2 Australische Leitlinien

Die “National Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks” bestehen aus einer Reihe von Dokumenten, die sich spezifischen Anwendungen oder Aspekten der Abwasserwiederverwendung widmen, wie in Tabelle 38 zusammengestellt. Die Dokumente wurden gemeinsam von Vertretern aus Umweltrat, Ministerrat für das Management natürlicher Ressourcen und der Australischen Gesundheitsministerkonferenz erarbeitet und beschlossen (Environment Protection and Heritage Council, the Natural Resource Management Ministerial Council and the Australian Health Ministers’ Conference).

Tabelle 38: Übersicht über die Einzeldokumente der Australischen ‚National Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks' (Erscheinungsjahr und Anwendungsgebiete)

Phase 1 – 2006	Phase 2
Verwendung von recyceltem Grauwasser und Abwasser für spezifische Anwendungen • Häusliche Anwendungen (Gartenbewässerung, Autowäsche, Toilettenspülung) • Bewässerung städtischer Erholungs- und öffentlicher Flächen • Bewässerung in Landwirtschaft und Gartenbau. • Brandbekämpfung / Löschwasser • Industrielle Anwendungen (inkl. Kühlwasser) Aus der Perspektive der menschlichen Gesundheit	• Verwendung von aufbereitetem Wasser zur Aufstockung der Trinkwasserversorgung (2008) • Anwendung von Regenwasser zu Bewässerungszwecken (2009) • gezielte Grundwasseranreicherung (2009)

Den Leitlinien gemein ist ein allgemeiner Rahmen, innerhalb dessen Wasserqualität und Anwendungen zu bewirtschaften sind, und der auf Wasserwiederverwendungsprojekte jeder Art angewendet werden kann. Er umfasst zwölf Elemente deren Anwendung und Berücksichtigung letztlich zu Erstellung eines Risikomanagementplans führen soll.

Die Leitlinien propagieren einen Risikobewertungs- und -managementansatz, der die Wasserqualität nach den Erfordernissen der Anwendung und der dabei gegeben Risiken bestimmt. Sie ähneln in dieser Hinsicht den WHO Leitlinien. Es findet keine Klassifizierung von Wasserqualitäten und damit verbundener Anwendungsgebiete statt, wie z.B. die Subsummierung von Anwendungen mit (relativ) hoher Exposition.

Analog zu den Richtlinien der WHO werden mikrobielle Gesundheitsrisiken als Disability Adjusted Life Years (DALYs) quantifiziert, wobei das akzeptierbare Risiko mit 10^{-6} DALY pro Person und Jahr angesetzt ist. Daraus leiten sich dann die nötigen Zielvorgaben für ein bestimmtes Wasserwiederverwendungsprojekt ab.

Für chemische Risiken werden die Zielvorgaben als Grenzwerte formuliert, für mikrobielle Risiken als Zielwerte für die Abtrenn- bzw. Inaktivierungsleistung von Behandlungsverfahren.

Die Australischen Guidelines richten sich an Planer und potenzielle Betreiber von Wasserwiederverwendungsvorhaben und machen konkrete Vorschläge zum Vorgehen bei der Planung und Umsetzung.

7.1.3 Leitlinien der US-amerikanischen Umweltbehörde: US EPA Guidelines for Water Reuse

Der „Leitfaden der Wasserwiederverwendung" der US Umweltbehörde (Environmental Protection Agency, EPA) wurde 2012 neu aufgelegt. Er ist eine umfassende Sammlung von Wissen und Best-Practice Beispielen rund um die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser. Er deckt dabei sowohl technische, finanzielle, rechtliche, institutionelle Aspekte ab, als auch Fragestellungen der Öffentlichkeitsbeteiligung. Es werden zudem die Bedeutung von Abwasserwiederverwendung für ein integrierten Wasserressourcenmanagement und das Konzept der an die Nutzung angepassten Wasserqualität hervorgehoben.

Die vorgeschlagenen Wasserqualitätsanforderungen, Behandlungstechnologien und Überwachungshäufigkeiten beruhen auf den Erfahrungen in den Vereinigten Staaten und anderen Ländern, Forschungs- und Pilotierungsvorhaben, Literatur, bestehenden Gesetzen und Richtlinien zur Wasserwiederverwendung, guter Ingenieurspraxis und dem Multi-Barrieren-

Prinzip. Tabelle 39 gibt einen Überblick über mögliche Nutzungsformen in Abhängigkeit von der Wasserqualität bzw. der Behandlungsstufe (US-EPA, 2012).

Der Anspruch des Leitfadens ist es, die Entwicklung von Wiederverwendungsprogrammen für behandeltes Abwasser und begleitender Regularien zu unterstützen, ohne die vorgeschlagenen Empfehlungen als endgültige Kriterien zu verstehen, die eins zu eins zu übernehmen wären.

Tabelle 39: Zusammenhang zwischen Behandlungsstufe, Nutzungsmöglichkeiten, Gesundheitsrisiken und Kosten der Wasserwiederverwendung (US-EPA 2012)

<table>
<tr><th rowspan="2">Art der Reinigungsstufe</th><th colspan="4">Von links nach rechts zunehmendes Behandlungsniveau</th></tr>
<tr><th>Vorklärung</th><th>Sekundär</th><th>Filtration und Desinfektion</th><th>Weitergehend</th></tr>
<tr><td>Verfahren</td><td>Sedi-mentation</td><td>Biologische Oxidation und Desinfektion</td><td>Chemische Fällung, biologische und chemische Nährstoffelimination , Filtration und Desinfektion</td><td>Aktivkohle, Umkehrosmose, Advanced Oxidation Process, Soil Aquifer Treatment, etc.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Nutzung</td><td rowspan="6">kein Gebrauch empfohlen</td><td>Oberflächenbewässerung von Obstplantagen und Weinbergen</td><td>Landschafts- und Golfplatzbewässerung</td><td rowspan="6">indirekte Trinkwasser-aufbereitung, einschließlich Grundwasser-anreicherung zur Trinkwassergewinnung und Einspeisung in Trinkwassertalsperren</td></tr>
<tr><td>Bewässerung von Nichtnahrungspflanzen</td><td>Toilettenspülung</td></tr>
<tr><td>eingeschränkte Oberflächenaufbringung</td><td>Fahrzeugwäsche</td></tr>
<tr><td>Grundwasseranreicherung außerhalb von Trinkwassergewinnungsgebieten</td><td>Bewässerung zur Nahrungsmittel-produktion</td></tr>
<tr><td>Feuchtgebiete, Lebensräume von Wildtieren, Flussvergrößerungen</td><td>Nutzung als Badegewässer</td></tr>
<tr><td>Kühlwasser</td><td>Industriesysteme</td></tr>
<tr><td>Menschliche Exposition</td><td colspan="4">Von links nach rechts steigende tolerierbare Exposition</td></tr>
<tr><td>Kosten</td><td colspan="4">Von links nach rechts steigende Kosten</td></tr>
</table>

7.1.4 Internationale Normung (ISO)

Auf internationaler Ebene befindet sich derzeit die Ausarbeitung einer Norm in der Entwurfsphase[42]. Die Internationale Organisation für Normung (International Organization for Standardization, ISO) hat sich in den letzten Jahren mit der Erarbeitung eines technischen

[42] Guidelines for Treated Wastewater Use for Irrigation Projects ISO/DIS16075-1-3.

Normenwerkes für die Verwendung von behandeltem Abwasser zu Bewässerungszwecke befasst.

Sie sind an den professionellen Anwender gerichtet (Bewässerungsverbände, Wasserversorger) und gelten gleichermaßen für die landwirtschaftliche Bewässerung wie die Bewässerung von öffentlichen Grünflächen. Die Norm wird aus vier Teile bestehen, welche

(1) die Grundlagen,

(2) die Projektentwicklung,

(3) die Infrastruktur/Komponenten,

(4) das Monitoring

von Wasserwiederverwendungsprojekten umfassen. Die Normen-Teile 1 - 3 stehen kurz vor der Verabschiedung (Stand April 2015). Aspekte des Monitorings werden in Teil 4 behandelt, der sich noch in der Ausarbeitung befindet.

Die zentralen Fragen zur Wasserqualität für verschiedene Anwendungen werden in Teil 2 zur Infrastruktur behandelt.

Behandeltes Abwasser wird in fünf Qualitätsstufen eingeteilt, die die Art und das Niveau der Behandlung, der es unterzogen wurde, widerspiegeln. Dabei erfolgt die Charakterisierung anhand der Parameter BSB_5, AFS, Trübung, thermotolerante Coliforme, und Fadenwürmern. Darauf aufbauend werden für jede Qualitätsklasse mögliche Anwendungen formuliert. Des Weiteren werden eine Reihe von Maßnahmen vorgestellt und bewertet, die als zusätzlich Barriere fungieren können und somit die Verwendung niedrigerer Wasserqualitäten für bestimmte Zwecke ermöglichen sollen.

Der ISO Standard folgt damit klar den Ansätzen zum Multi-Barrieren-Konzept in den WHO und US EPA Guidelines.

7.2 Existierende Regelungen zur Wiederverwendung behandelten Abwassers in EU-Mitgliedsstaaten

Die im vorigen Kapitel benannten Leitlinien haben einen empfehlenden oder anleitenden Charakter hinsichtlich der Rahmenbedingungen und technischen Ausgestaltung von Wasserwiederverwendungsprojekten. Für die tatsächliche Umsetzung und behördliche Genehmigung braucht es aber eine verbindliche rechtliche Grundlage.

Mit der Richtlinie 91/271/EWG[43] wurden europaweit Vorgaben zur Ableitung und Behandlung von kommunalem Abwasser gemacht. Die Richtlinie schreibt sowohl den Anschluss an die Kanalisation als auch Mindestanforderungen an die Abwasserbehandlung vor, die durch Grenzwerte für die Beschaffenheit von Abwasser bei der Einleitung ins Gewässer definiert werden. Gleichwohl fordert Artikel 12 (1): *„Gereinigtes Abwasser soll nach Möglichkeit wiederverwendet werden. Im Verlauf dieser Wiederverwendung sind Belastungen der Umwelt auf ein Minimum zu begrenzen“*. Jedoch werden für diesen Fall keine weiteren Angaben zur angemessenen Wasserqualität oder Definition von „ nach Möglichkeit“ gemacht.

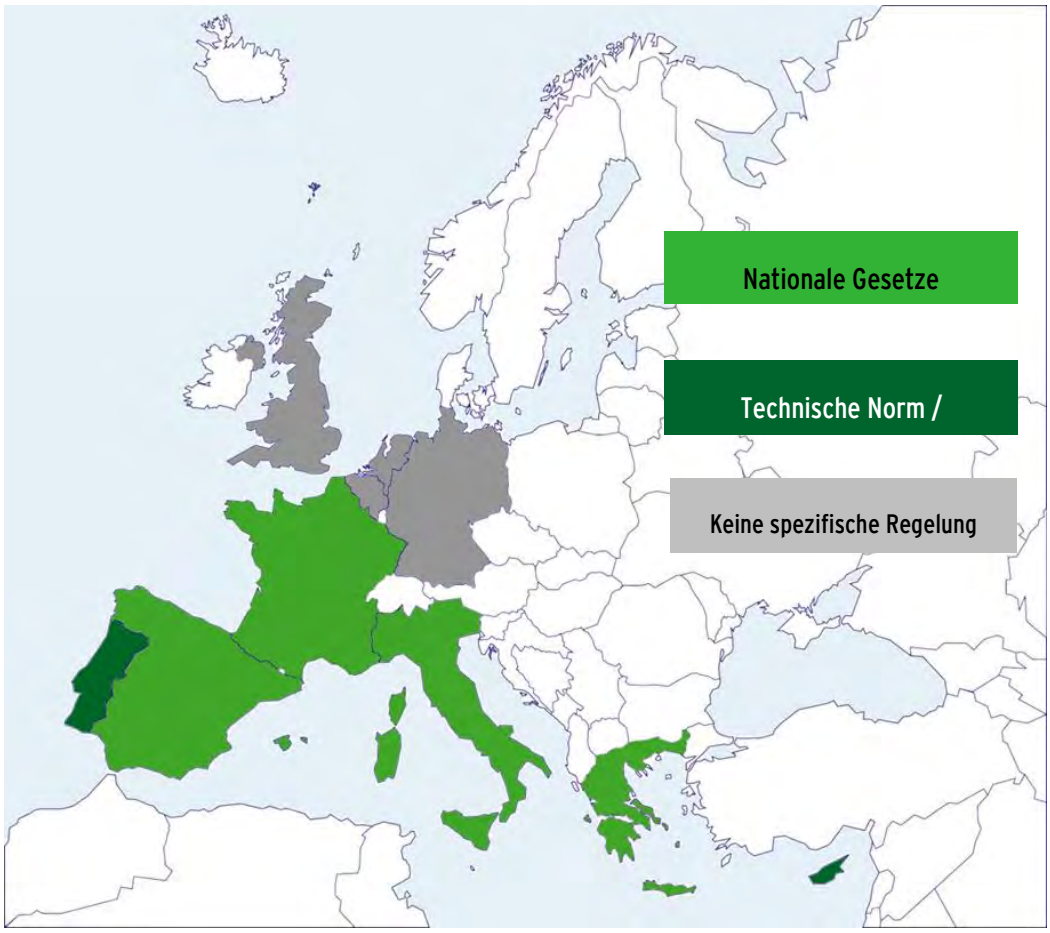
In den südlichen europäischen Staaten ist Wasserwiederverwendung seit Jahrzehnten gängige Praxis, und auch in nördlicheren Regionen wurden einige Projekte verwirklicht (Bixio &

[43] RICHTLINIE DES RATES vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser, 91/271/EWG) (ABl. L 135 vom 30.5.1991, S. 40

Wintgens, 2006). Etwa seit 2000 ist ein Trend zur Verabschiedung nationaler Gesetze zu beobachten, der z.B. in Italien und Spanien, die regionalen Regelungen ersetzt hat. Abbildung 36 gibt den derzeitigen Stand der Regulierungen und Gesetzgebungen wieder, wobei drei Ausgestaltungen zu unterscheiden sind:

- Spezielle nationale Gesetze und Regularien für Abwasserwiederverwendung in denen u.a. die Qualitätsanforderungen für verschiedene Nutzungsarten konkret festgelegt sind
- Abwasserwiederverwendungsspezifische Normen oder Leitfäden, die in Ergänzung zum bestehenden allgemeinen Wasserrecht zur Anwendung kommen
- Einzelfall-basierte Genehmigung von Abwasserwiederverwendung im Rahmen bestehender Gesetze und Vorschriften.

Abbildung 36: Übersicht über den Status von spezifischen Regelungen zur Abwasserwiederverwendung in Europa. Da sich die DIN 19650 allgemein auf Bewässerungswasser bezieht, ist sie hier nicht berücksichtigt



Die verschiedenen nationalen Regularien unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich des gewählten Instruments, sondern auch im Regelungsumfang, d.h. unter anderem in den von ihnen abgedeckten Arten der Abwasserwiederverwendung (vgl. Tabelle 40). Weitere Informationen zu einzelnen landesspezifischen Gesetzen finden sich im Anhang IV.

Tabelle 40: Überblick über die in Regelwerken europäischer Staaten definierten und reglementierten Arten der Abwasserwiederverwendung (FR-Frankreich, ES-Spanien, PT-Portugal, IT-Italien, GR-Griechenland, CY-Zypern)

Art der Wiederverwendung	ES	IT	FR	GR	CY	PT
Landwirtschaftliche Bewässerung	x	x	x	x	x	x
Städtische Anwendungen (z.B. Bewässerung öffentlicher Grünflächen, Straßenreinigung)	x	x	x	x	x	x
Freizeitnutzungen (Bewässerung von Sport- und Golfplätzen)	x	x	x	x	x	x
Häusliche Anwendungen (Toilettenspülung, Bewässerung privater Gärten, Autowäsche)	x			x		
Umweltanwendungen (Feuchtgebiete, Erhöhung des natürlichen Abflusses)	x					
Industrielle Anwendung (z.B. Kühltürme, Wasch- u. Reinigungsprozesse)	x	x		x		
Grundwasseranreicherung	x			x	(x)	

Die Regelungen decken in allen Ländern die Anwendung für die landwirtschaftliche Beregnung ab, sowie die Bewässerung von städtischen Grünflächen und von Golfplätzen. Die Grundwasseranreicherung (Infiltration oder Injektion) ist nur in Spanien und Griechenland explizit als Nutzung vorgesehen und spezifiziert. Allen Gesetzen und Regularien ist gemein, dass sie für die definierten Anwendungen Wasserqualitätsanforderungen in Form von Grenzwerten oder Entfernungsraten festlegen. Der Umfang der zu überwachenden chemisch-physikalischen sowie mikrobiellen Parameter unterscheiden sich dabei allerdings (vgl. Tabelle 41). Auch sind für manche Substanzen und Indikatoren für vergleichbare Anwendungen unterschiedlich hohe Grenzwerte festgelegt.

Tabelle 41: Überblick über regulierte physikalisch-chemische und mikrobielle Parameter in abwasserwiederverwendungsspezifischen Regularien europäischer Staaten (FR- Frankreich, ES- Spanien, PT- Portugal, IT- Italien, GR- Griechenland ,CY- Zypern)

	ES	IT	FR	GR	CY	PT
Physikalisch-chemische Parameter						
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	X	X	X	X	X	X
Trübung	X			X		
CSB	X	X	X			
BSB		X		X	X	
NH_4, N-total	X	X		X		
Elektrische Leitfähigkeit	X	X				X
Salinität / Natrium-Adsorptions-Verhältnis	X	X				X
Bor	X	X		X		X
Schwermetalle	(X)	X		X		X
Prioritäre Stoffe				(X)		
Mikrobiologische Parameter						
E. coli	X	X	X	X		
Fäkalcoliforme					X	X

	ES	IT	FR	GR	CY	PT
Enterokokken			X			
Salmonellen		X				
Sporensulfatreduzierende Bakterien			X			
Legionellen	X					
Phagen			X			
Viren						
Helmintheneier	X		X		X	X

Eine vergleichende Analyse der in spezifischen Wasserwiederverwendungsregularien festgelegten Grenzwerte mit denen in existierenden Richtlinien der EU im Wasserbereich wurde bereits im Rahmen der EU Projekte AQUAREC und Reclaim Water durchgeführt (Wintgens *et al.,* 2005, Hochstrat *et al*., 2008, 2010). Es wurde untersucht, wie sich die Anforderungen unterscheiden und inwieweit europäische Regelungen im Wasserrecht bei der Erstellung und Festlegung von Grenzwerten eine Rolle gespielt haben. Es zeigte sich, dass für die landwirtschaftliche Bewässerung die genaue Herleitung der einzelnen Werte in den Regelwerken selbst nicht beschrieben ist. Ein Vergleich mit verschiedenen Europäischen Richtlinien im Wasserrecht oder anderen, lang etablierten Regelungen in der Abwasserwiederverwendung offenbart jedoch eine Anlehnung an die dort gemachten Vorgaben. Dies gilt insbesondere für die Anforderungen an die chemische Beschaffenheit (Anlehnung an frühere Oberflächengewässerverordnung), oder bei den Schwermetallen teilweise an den Trinkwassernormen.

Seit Regelungen zu den prioritären Stoffen neu gefasst sind, wird auch auf für die festgelegten Umweltqualitätsnormen verwiesen. Die aus landwirtschaftlicher Sicht relevanten Parameter bei der chemischen Zusammensetzung (Substanzen die schlecht pflanzenverträglich sind oder sich nachteilig auf die Bodenfruchtbarkeit auswirken können) orientieren sich zumeist an den Vorgaben der FAO (FAO, 1994) oder an existierenden nationalen Bestimmungen für Bewässerungswasser.

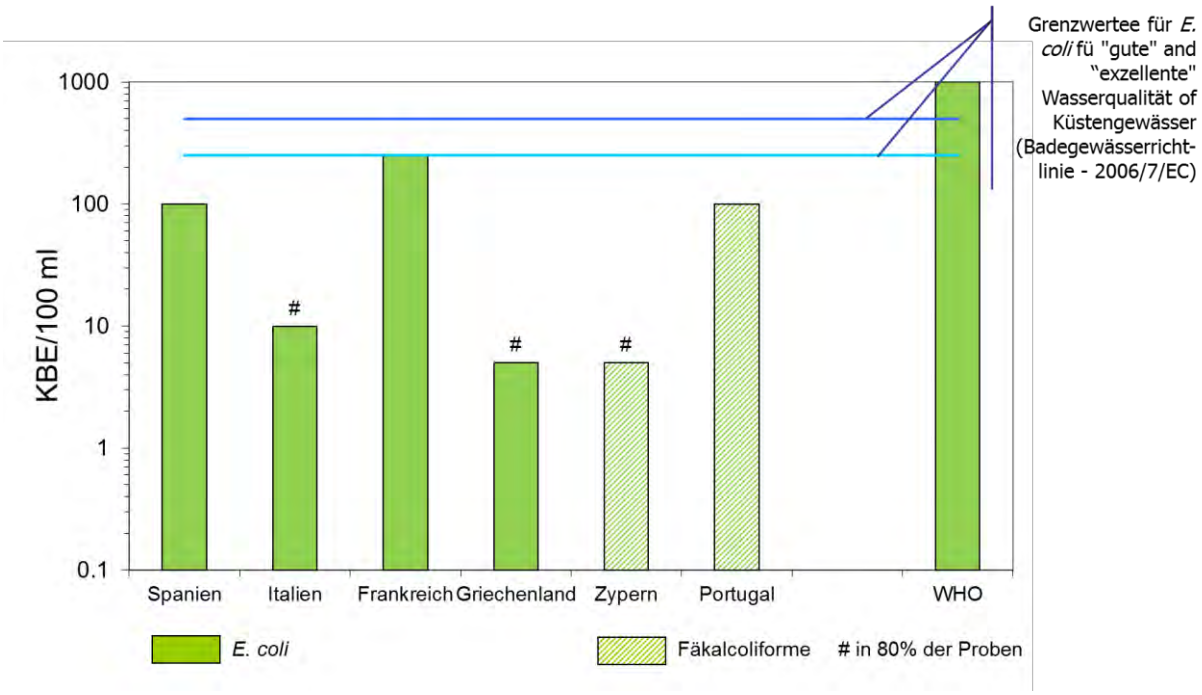
Für mikrobielle Verunreinigungen gibt es hingegen (auf europäischer Ebene) im Wasserbereich nur wenige gesetzliche Vorgaben: die Trinkwasserrichtlinie[44] und die Badegewässerrichtlinie[45].

Als Beispiel sind in Abbildung 37 die Grenzwerte für *E. coli* bzw. Fäkalcoliforme für die Anwendung „uneingeschränkte landwirtschaftliche Bewässerung“ in den Wasserwiederverwendungs-Regularien unterschiedlicher Länder dargestellt. Die Spannweite reicht von 5 KBE/100 ml Fäkalcoliformen in Griechenland bis zu ≤ 250 *E.coli* KBE/100 ml in Frankreich. Die Referenzlinien geben mit 250 bzw. 500 KBE *E. coli*/100 ml die Leitwerte der Badegewässerrichtlinie für exzellente bzw. gute Badegewässerqualität in Küsten und Übergangsgewässern wieder (für Binnengewässer betragen diese Werte 500 bzw. 1 000 KBE/100 ml).

[44] RICHTLINIE 98/83/EG DES RATES vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch

[45] RICHTLINIE 2006/7/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG

Abbildung 37: Vergleich der Grenzwerte für *E. coli* oder Fäkalcoliforme für uneingeschränkte Bewässerung in verschiedenen Regularien



7.3 Schlussfolgerungen

Im vorangegangenen Kapitel wurden existierende Leitlinien und Regularien hinsichtlich der Wiederverwendung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung vorgestellt. Es wurde deutlich, dass diesbezüglich in vielen Ländern innerhalb und außerhalb Europas ein reichhaltiger Erfahrungsschatz vorliegt, der bei einer möglichen Ausgestaltung eines gemeinschaftlichen Europäischen Rahmens als Vorlage dienen kann.

Die Qualitätsanforderungen umfassen die hygienischen Beschaffenheit, den Stickstoffgehalt, die Salinität und die Ionenzusammensetzung sowie abfiltrierbare Stoffe. Darüber hinaus werden organische Summenparameter sowie Schwermetalle geregelt. Anforderungen bezüglich organischer Mikroverunreinigungen existieren bislang nicht.

7.4 Praxisbeispiele

Im Nachfolgenden werden internationale Praxisbeispiele vorgestellt, bei denen Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung wiederverwendet wird. Es werden als Beispiel die technologischen Lösungen sowie einige Kenndaten zur Wasseraufbereitung und -nutzung veranschaulicht. Die hier zusammen gestellten Kostendaten geben sicherlich nur einen groben Anhaltspunkt und sind nicht ohne weiteres vergleichbar, da die zugrundeliegenden Methoden und Rahmenbedingungen in den genutzten Quellen nicht klar nachvollziehbar sind. Zudem beziehen sie sich zumeist auf die gesamte Abwasserbehandlung und bilden nicht ausschließlich die Zusatzkosten für die Aufbereitung zur Wiederverwendung ab.

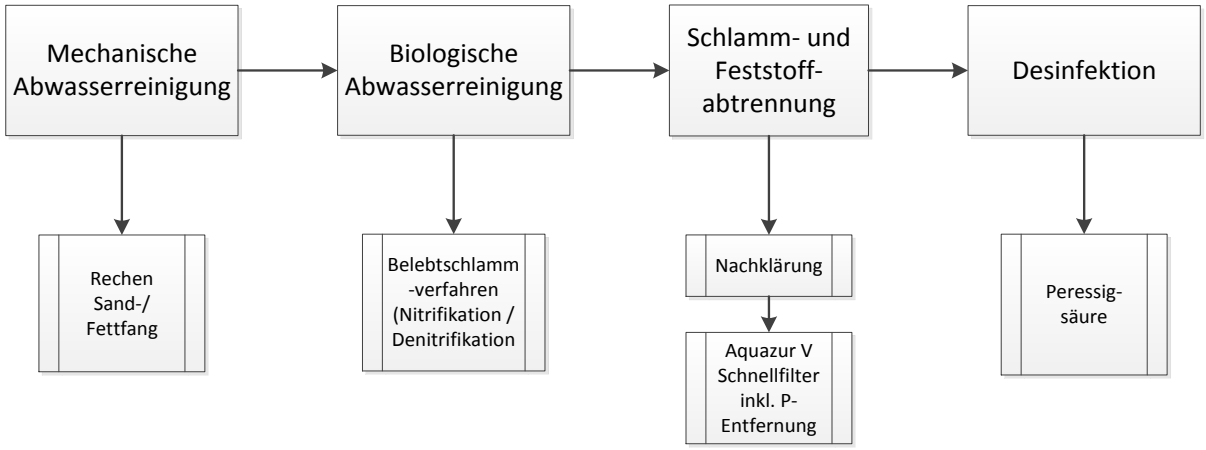
Die zusammengestellten Angaben beruhen größtenteils auf Mazzini *et al.* (2013), Iacovos & Papatheodoulou (2013) und Cikurel & Aharoni (2012).

7.4.1 Mechanische-biologische Abwasserbehandlung in Kombination mit Filtration und Desinfektion

7.4.1.1 Mailand (Italien)

Der größte Teil des Abwassers der Stadt Mailand wird in zwei Kläranlagen behandelt: Nosedo und San Rocco. Die gesamte Abwasserbehandlungsinfrastruktur wurde erst in den frühen 2000er Jahren errichtet und in Betrieb genommen. So wurden von Beginn an die Belange für eine Wiederverwendung des behandelten Abwassers bei der Standort- und Technologieauswahl berücksichtigt, wie z.B: die Nähe zum Nutzer, benötigte Wassermengen und entsprechende Dimensionierung der Verfahrenstechnik).

Als Besonderheit und begünstigende Bedingung ist zu nennen, dass für die Verteilung des behandelten Wassers an die Landwirte, die bereits existierende Infrastruktur (Bewässerungskanäle über die sonst Oberflächenwasser entnommen wird) genutzt werden konnte. In den Sommermonaten kann es zu einer Limitierung der Bewässerungsmenge kommen, da der Mindestabfluss im Vorfluter gewährleistet bleiben muss.

Kläranlage	Mailand, Nosedo, (Vorfluter: Lambro)
Ausbaugröße	1.2 Mio. EW 430 000 – 1 300 000 m^3/d
Behandlungstechnologie	
	Grobrechen, Feinrechen
	Sand- und Fettfang
	Belebtschlammverfahren (D/N) und Nachklärung
	Schnellfilter für weitere Phophorentfernung ($FeCl_3$-Fällung) und TSS Abtrennung (Aquazur V)
Desinfektion	Peressigsäure 2-5 mg/l, (15 %-ige Lösung) Kontaktzeit 30 Minuten Zufluss 5-15 m^3/s
	
Wasserqualität (monatlicher Durchschnitt 2004-2012)	
E. coli	5 KBE/100 ml (max. 25 KBE/100 ml) 80 % Perzentil: 8 KBE/100 ml
TSS	< 2 mg/l

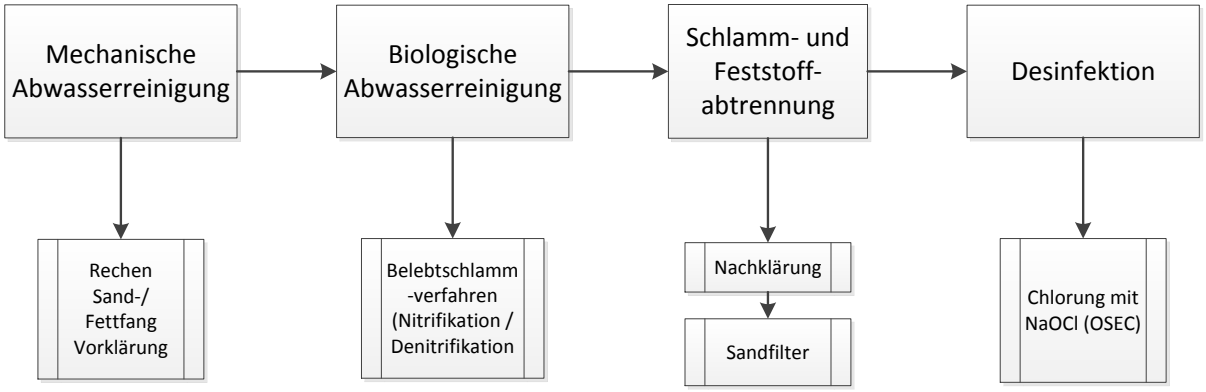
Kläranlage	Mailand, Nosedo, (Vorfluter: Lambro)
Gesamt-Stickstoff	7 mg/l (7,1 – 9,1 mg/l)
Gesamtphosphor	0,8 mg/l (0,3-1,1 mg/l)
Elektr. Leitfähigkeit	< 900 µS/cm
SAR	2,5
Wasserwiederverwendung	
in Betrieb seit	2005
Art der Anwendung	Indirekte landwirtschaftliche Bewässerung, Nutzung des existierenden Bewässerungsnetzwerks von Kanälen und Gräben während April-September
	Mais, Grünland, Reis, Weizen,
Bewässerungstechnik	Sprinklerbewässerung (low-pressure spray), high pressure jet Flutung (Reis, Grünland)
durchschnittlicher Bewässerungsbedarf	1 000 m^3/ha*a (100 mm)
Jährliche wiederverwendete Wassermenge	79 Mio m^3
Kosten	
Investition	150 Mio. Euro (Gesamte Kläranlage)
Betriebskosten	0,139 €/m^3 (Gesamte Kläranlage), 30 % Chemikalien 20 % Energie Desinfektion: 0,013 – 0,015 €/m^3
Preis	Nicht kostendeckender, symbolischer Preis von ca. 1 900 €/a

7.4.1.2 Limassol (Zypern)

Die Abwasserinfrastruktur in Zypern ist weiterhin im Aufbau begriffen, um den Anforderungen der Kommunalen Abwasserrichtlinie der EU zu genügen. So sind neben Anlagenerweiterungen auch Neuerrichtungen geplant. Diese werden im Hinblick auf die vorgesehene Wiederverwendung von behandeltem Abwasser häufig als Membranbioreaktoren mit UV Desinfektion ausgeschrieben (Larnaca, Limassol, Nicosia)

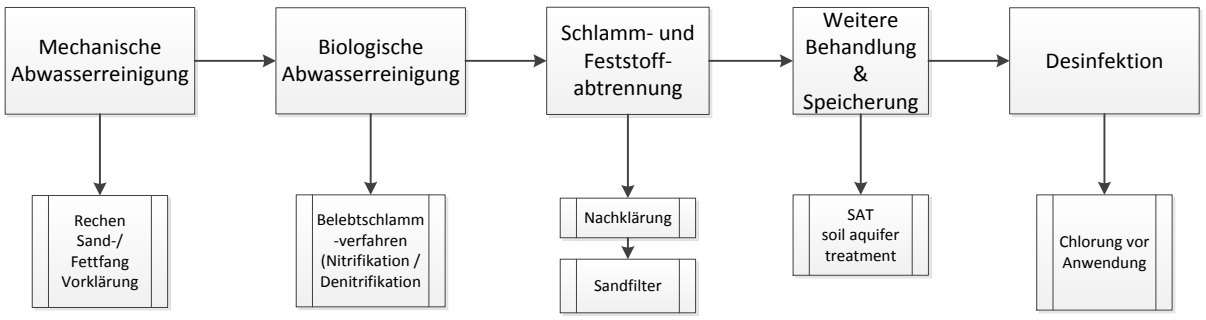
Die bestehenden Anlagen setzen dagegen auf konventionelle Belebtschlammverfahren mit nachgeschalteter Filtration und Desinfektion. Je nach Standort sind die Salzgehalte im Abwasser durch eindringendes Meerwasser sehr hoch, so dass auch das Bewässerungswasser hohe Leitfähigkeiten aufweist (3750 µS/cm). Für die Region Larnaca konnte gezeigt werden, dass die Langzeitbewässerung ohne hinreichende Managementmaßnahmen zu einer Versalzung des Bodens führt (Kathijotes & Panayiotou, 2013).

Kläranlage	Limassol-Amathus in Moni
Ausbaugröße	40 000 m^3/d; 272 000 EW
Behandlungstechnologie	Rechen, belüfteter Sandfang
	Vorklärung
	Belebtschlamm (D/N), (Bio-Denitro-Verfahren), Nachklärung
	Sandfiltration

Kläranlage	Limassol-Amathus in Moni
Desinfektion	Chlorung mit NaOCl, das vor Ort mittels OSEC (on-site electrolytic chlorination) aus NaCl und Wasser erzeugt wird Kontaktzeit: mindestens 30 Minuten
	
Wasserqualität (Durchschnittswert für 2010)	
Gesamtcoliforme	0 KBE/100 ml
TSS	4,2 mg/l
Gesamt-Stickstoff	6,9 mg/l
Gesamtphosphor	2 mg/l
Elektr. Leitfähigkeit	1 640 µS/cm* (Quelle: Cemagref /Aquastress, Master thesis)
SAR	3,79* (Quelle: Cemagref /Aquastress)
Wasserwiederverwendung	
in Betrieb seit	1995
Art der Anwendung	Landwirtschaftliche Bewässerung
	Bewässerung von Sportplätzen und öffentlichen Grünflächen
	Bewässerung von Hotelgrünanlagen
Bewässerungstechnik	Tröpfchenbewässerung; Minisprinkler
durchschnittlicher Bewässerungsbedarf/-menge	Keine Angaben (Bedarf in trockenen Jahren je nach Frucht zwischen 5 000 und 10 000 m^3/ha (500 – 1 000 mm) (Quelle: Cemagref /Aquastress)
Jährliche wiederverwendete Wassermenge	
Kosten	
Investition	unbekannt
Betriebskosten	1,45/1,62/1,58 €/m^3 in den Jahren 2008/2010/2012 (Gesamte Abwasserbehandlung)
Preis	Nutzungsabhängige, volumenbezogene Preise unterhalb des Frischwasserpreises 0,05 – 0,21 €/m^3 Kostendeckung: 88 %

7.4.2 Mechanische-biologische Abwasserbehandlung in Kombination mit SAT (soil-aquifer treatment) (Shafdan, IL)

Zu den etabliertesten und größten Abwasserwiederverwendungsprojekten zählt Shafdan in Israel. Das Abwasser von ca. 2 Mio. Einwohnern im Großraum Tel Aviv wird dort nach einer biologischen Behandlung im Untergrund versickert und nach einer Aufenthaltszeit von 6 - 12 Monaten zur landwirtschaftlichen Bewässerung wieder entnommen. Die Verteilung an die Nutzer erfolgt über ein umfangreiches, über 100 km langes Verteilungsnetz (the third line). So werden bis zu 140 Mio. m^3 pro Jahr für Bewässerung zur Verfügung gestellt.

Kläranlage	Tel Aviv, Dan Region Reclamation Project (Shafdan)
Ausbaugröße	2 Mio. Einwohner ca. 370 000 m^3/Tag
Behandlungstechnologie	
	Rechen, Sandfang, Vorklärung
	Konventionelles Belebtschlammverfahren
	Nachklärung
	SAT soil aquifer treatmet (Boden-Aquifer-Behandlung) Infiltrationsbecken (135 - 140 Mm^3/Jahr) Verweilzeit 6 - 12 Monate
Desinfektion	Vor der Verteilung ins Verteilungsnetz und an verschieden Stellen im Verteilungsnetz (Reservoir)
	
Wasserqualität	(nach Bodenpassage, langjähriger Durchschnitt verschiedener Infiltrationsbecken)
Gesamtcoliforme und *E. coli*	< 2 MPN/100 ml
Fäkalcoliforme	< 2 MPN/100 ml
Streptococcus faecalis	< 2 MPN/100 ml
TSS	0 – 0,25 mg/l
Gesamt-Stickstoff	2 - 5 mg/l (Infiltrationswasser: 5 - 30 mg/l)
Gesamtphosphor	0,02-0,06 mg/l
Elektr. Leitfähigkeit	1 000 – 1 300 µS/cm
SAR	4,2 (nach SAT) um 3,5 (Bewässerungswasser)

Kläranlage	Tel Aviv, Dan Region Reclamation Project (Shafdan)
Wasserwiederverwendung	
in Betrieb seit	Infiltration seit 1977 mit seitdem wechselnden Vorbehandlungstechnologien
Art der Anwendung	Landwirtschaftliche Bewässerung
	Weizen, Orangen, Karotten, Kartoffeln, Salat, Blumen Tomaten, Paprika, Avocado, Mango, Mais, Erdnüsse
Bewässerungstechnik	(Unterirdische) Tröpfchenbewässerung
durchschnittlicher Bewässerungsbedarf	nicht bekannt
Jährliche wiederverwendete Wassermenge	130 Mio. m^3/Jahr
Kosten	
Investition	Baukosten Leitungen und Pumpstationen (KA-Infiltrationsbecken für ein Infiltrationsbecken, Kapazität: 1,75 Mio. m^3/Jahr): 4,9 Mio. EUR
Betriebskosten	0,21 – 0,25 €/m^3 0,5 €/m^3 inkl. Verteilung zum Farmer
Preis	0,2 €/m^3 (für Farmer)

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das vorliegende Projekt hat sich mit den Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung in Deutschland befasst und dabei verschiedene Aspekte analysiert. Daraus wurden die nachfolgenden sachthemenbezogenen Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet.

8.1 Bedarf für eine landwirtschaftliche Bewässerung mit behandeltem Abwasser in Deutschland

- Die Analyse des heutigen Standes der Bewässerungspraxis und des Wasserdargebots ergab, dass derzeitig und auch in naher Zukunft in Deutschland kein flächendeckender Bedarf zur landwirtschaftlichen Bewässerung mit behandeltem Abwasser besteht. Bewässerung mit behandeltem Abwasser kann jedoch bei lokaler Wasserknappheit eine Lösung zur Deckung des Wasserbedarfs darstellen.
- Eine Ausweitung der Bewässerungsflächen ist bei häufigeren und länger andauernden Trockenperioden wahrscheinlich.
- In einigen Regionen sind Grundwasserentnahmen zur Bewässerung aufgrund geringer Grundwasserneubildungsraten und bereits hoher Wasserentnahmen limitiert. Aus Sicht der ansässigen Landwirtschaftsbetriebe wäre eine Erhöhung der Wasserverfügbarkeit in diesen Regionen vorteilhaft. Die Bewässerung mit behandeltem Abwasser wäre dafür eine Option.
- Grundsätzlich sollten mengenmäßig beanspruchte Grundwasserkörper entlastet werden. Dies kann neben reduzierten Entnahmen auch durch Maßnahmen zur Erhöhung der Grundwasserneubildung geschehen, wie z. B. durch Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser oder durch anderweitige Maßnahmen, die zur Veränderung der gebietlichen Wasserbilanz führen (z.B. Waldumbau). Ebenso sind Verfahren zur effizienteren Wassernutzung bei der landwirtschaftlichen Bewässerung zu fördern.
- Es sollten bundesweit einheitliche Bewertungskriterien für den mengenmäßigen Zustand von Grundwasser und Oberflächenwasser entwickelt werden. Dadurch kann die Entscheidungssicherheit der Genehmigungsbehörden über Wasserentnahmen sowie über die Nutzung alternativer Wasserquellen (z.B. behandeltes Abwasser) gestützt werden.

8.2 Wahrung der Schutzziele und Anforderungen an die Wasserqualität

- Bei der Bewässerung mit behandeltem Abwasser sind die Schutzziele für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu wahren. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei dem Grundwasserwasserschutz. Einen speziellen rechtlichen Rahmen für die Verwendung von behandeltem Abwasser gibt es in Deutschland bislang nicht.
- Anforderungen an die hygienische und chemisch-physikalische Qualität von Bewässerungswasser, gleich welchen Ursprungs, werden in Deutschland in den Normen DIN 19650, DIN 19864-10 sowie den Empfehlungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft definiert. Diese sind prinzipiell auch für behandeltes Abwasser anwendbar. Im Zuge der Genehmigung für eine landwirtschaftliche Wiederverwendung von behandeltem Abwasser müssten diesen Normen geprüft und ihren Inhalten ggfs. eine stärkere rechtliche Verbindlichkeit zugeschrieben werden.

- Im Bereich der Hygiene sollte die Auswahl an zu überwachenden Indikatororganismen dahingehend erweitert werden, dass auch die Reduktionsleistung des gewählten Aufbereitungsverfahrens gegenüber humanpathogenen Viren hinreichend gut abgebildet wird. In der Diskussion stehen hier vor allem somatische und F-spezifische Coliphagen.
- Sowohl bei der bedarfsgerechten Beregnung als auch bei der Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser sind Stoffeinträge in das Grundwasser nach Maßgabe der Grundwasserverordnung (GrwV) zu begrenzen oder zu verhindern. Entsprechend wären Schwellenwerte oder Geringfügigkeitsschwellenwerte in die Überwachung mit aufzunehmen und im Grundwasser einzuhalten.
- Dazu sollte bei einer Grundwasseranreicherung bereits das behandelte Abwasser eine Gesamt-Stickstoffkonzentration von < 11 mg /l aufweisen, sodass eine Überschreitung des Schwellenwerts von 50 mg/l Nitrat im Grundwasser aufgrund der Infiltration von behandeltem Abwasser ausgeschlossen werden kann.
- Mikroverunreinigungen werden in der konventionellen Abwasserbehandlung nur teilweise eliminiert. Obwohl auf den meist grundwasserfernen beregnungswürdigen Standorten eine lange Bodenpassage den mikrobiologischen Abbau dieser Substanzen fördern kann, sind Stoffmigrationen in das Grundwasser zu erwarten. Insbesondere gilt das für den Fall der Grundwasseranreicherung.
- Wissenschaftliche Untersuchungen haben die Aufnahme von pharmazeutischen Rückständen in die Pflanze unter definierten Bedingungen nachgewiesen und quantifiziert. Jedoch sind Kenntnisse über tatsächliche Schadwirkungen im Boden, auf die Pflanze oder das Risiko für die menschliche Gesundheit noch lückenhaft. Hierzu gibt es Forschungsbedarf.
- Bei der Bewertung des Risikos sollten andere Quellen und Eintragspfade für Mikroverunreinigungen in den Boden und in das Grundwasser mit berücksichtigt werden, wie z. B. die Aufbringung von Wirtschaftsdünger und Gärresten auf landwirtschaftliche Flächen. Für eine Begrenzung des Flächeneintrages im Rahmen einer bedarfsgerechten Beregnung wären entsprechende Vorkehrungen zu treffen, wie beispielsweise die Festlegung von Überwachungsparametern oder von tolerierbaren Frachten.
- Das Fehlen einer konkretisierten Formulierung des Besorgnisgrundsatzes im Grundwasserschutz für bislang nicht geregelte Substanzen scheint im Moment eine der größten Hürden bezüglich der Nutzung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung zu sein.
- Bei der Beregnung mit behandeltem Abwasser verringern sich die mit dem Klärwerksablauf in Oberflächengewässer eingebrachten eutrophierungswirksamen Nährstoffmengen, vorausgesetzt dass Stoffausträge in das Grundwasser vermieden werden. Damit wäre eine positive Wirkung auf die Oberflächengewässergüte verbunden.
- Stoffausträge durch Versickerung in das Grundwasser und durch Oberflächenabfluss in Fließgewässer- und Standgewässer sind durch ein bedarfsgerechtes Beregnungsmanagement mit einer optimalen Beregnungssteuerung zu verhindern.
- Aus der Sicht des Bodenschutzes lassen sich keine wesentlichen Restriktionen ableiten, wenn die allgemeinen Maßnahmen zur guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft gemäß BBodschG eingehalten werden.

- Ergänzend zur Festlegung von Wasserqualitätsparametern sollte obligatorisch die Einführung eines systematischen und prozessorientierten Risikomanagements erfolgen. Die Umsetzung risikobasierter Managementansätze kann als gute fachliche Praxis angesehen werden und wird empfohlen.

8.3 Nutzung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe

- Abwasser, das in Deutschland nach dem Stand der Technik und den Vorgaben der Abwasserverordnung (Anhang 1 AbwVO) behandelt wurde, insbesondere aus Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5, enthält im Vergleich zum landwirtschaftlichen Nährstoffbedarf geringe Mengen an Stickstoff und Phosphor. Die mit dem Beregnungswasser aufgebrachten Frachten, zumal in mehreren Gaben, sind somit niedrig und leisten nur einen geringen Beitrag zur Deckung des Düngebedarfs.
- Zur Einhaltung von flächenbezogenen Höchstmengen an Stickstoff und Phosphor sind bei der Berechnung des Düngebedarfs diese Frachten jedoch zu berücksichtigen, wie in der Düngeverordnung (DüV) gefordert.
- Um eine pflanzenbedarfsgerechte Düngerdosierung zu ermöglichen, sollten Strategien zur Nutzung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe eher auf die Entwicklung von innovativen Technologien zur Entkoppelung von Wasser- und Nährstoffströmen abzielen.

8.4 Verfahrenstechnische Voraussetzungen

- 96 % des behandelten Abwassers werden derzeit biologisch gereinigt. Dieser Teil des behandelten Abwassers erfüllt bereits die Anforderungen der DIN 19650, um in Eignungsklasse 4 eingestuft zu werden. Dieses Wasser ist für den Nichtnahrungsmittelbereich einsetzbar. Die Nichtnachweisbarkeit von parasitären Dauerstadien wäre zu verifizieren. Sollen hingegen zum Verzehr geeignete Kulturen bewässert werden (Eignungsklassen 1 – 3), ist zum Erreichen der hygienisch-mikrobiellen Anforderungen eine entsprechende Abwasserdesinfektion erforderlich.
- Zur **Desinfektion** von behandeltem Abwasser stehen mit der UV-Bestrahlung, Ozonung und der Ultra- und Mikrofiltration großtechnisch erprobte Optionen als erweiterte Aufbereitungsstufen zur Verfügung. Dabei sind jedoch die unterschiedlichen Wirkungsweisen der Verfahren und die damit einhergehende, je nach Krankheitserreger unterschiedlich starke bzw. schwache Desinfektionswirkung zu berücksichtigen. Lediglich die Ultrafiltration ermöglicht eine weitergehende Abscheidung aller relevanten Krankheitserreger, da die Abscheidung mechanisch erfolgt. Eine Chlorung scheidet wegen der Bildung von schädlichen Desinfektionsnebenprodukten aus und wird daher in Deutschland generell nicht angewendet bzw. empfohlen.
- Zur Entfernung von **Mikroverunreinigungen** stehen mit der Ozonung sowie der Adsorption an Aktivkohle zwei kosteneffiziente Verfahren mit Breitbandwirkung zur Verfügung. Die Elimination ist abhängig von den Stoffeigenschaften. Eine vollständige Abscheidung kann mit beiden Verfahren nicht erreicht werden. Bei der Ozonung, mit nachgeschalteter Filtration, können sowohl Krankheitserreger als auch Mikroverunreinigungen reduziert werden.

- Prinzipiell steht im Bereich der Abwasserbehandlung eine breite Palette an großtechnisch erprobten Aufbereitungsverfahren zur Verfügung, die (potenziell) in der Lage sind, Wasser jedweder Qualität bereitzustellen. Entscheidend ist jedoch eine Abwägung zwischen technischem, wirtschaftlichem und energetischem Aufwand und der damit erzielten Verbesserung der Wasserqualität. Außerdem bedarf es einer Definition geeigneter Zielparameter für bestimmte Stoffgruppen, die durch die erweitere Abwasseraufbereitung zu erzielen sind.

8.5 Infrastrukturelle Anforderungen und Akzeptanz der Landwirte

- Durch kurz- und langfristige Speicherung lassen sich Schwankungen zwischen Wasserbereitstellung durch das Klärwerk und landwirtschaftlichem Bewässerungsbedarf ausgleichen. Die Projektierung ist dabei stark standortabhängig und kann mit den gängigen Methoden zur Planung von Beregnungsanlagen und anderen Wasserversorgungssystemen durchgeführt werden.
- Wirtschaftliche Vorteile aus der Bewässerung mit behandelten Abwasser ergeben sich für Landwirtschaftsbetriebe potenziell dort, wo andere Wasserquellen zur Beregnung bereits stark beansprucht sind oder nicht zur Verfügung stehen, oder dort, wo sehr tiefe Brunnen zur Grundwasserentnahme gebohrt werden müssten.
- Zusätzliche Aufwendungen ergeben sich aus einer zusätzlichen Abwasserbehandlung und der Zuleitungsdistanzen. Wenn das Bewässerungspotenzial großer Klärwerke zu großen Teilen ausgenutzt werden soll, könnten Transportdistanzen über weite Strecken notwendig werden, was mit hohen Transportkosten verbunden ist. Bei dem Großteil der Kläranlagen befinden sich jedoch ausreichend landwirtschaftliche Flächen in räumlicher Nähe (radial 2 – 5 km).
- Die Organisationsstrukturen existierender Wasser-, Boden- und Bewässerungsverbände bilden eine solide Grundlage für eine etwaige zukünftige Bewässerung mit behandeltem Abwasser. Erfahrungen für die Einbindung von Akteuren und die Kostenverteilung bei der Wasserwiederverwendung liegen an den Beispielsstandorten in Braunschweig und Wolfsburg vor. Auf diese Erfahrungen kann bei der Planung an neuen Standorten zurückgegriffen werden.
- Die Akzeptanz aller beteiligten Akteure ist eine der wichtigsten Voraussetzung zur Nutzung von behandeltem Abwasser zur Bewässerung. Hierzu zählen vor allem die landwirtschaftlichen Betriebe sowie die zuständigen Behörden. Etwaige Auswirkungen auf die Produktqualität und damit verbundene Haftungsrisiken können die Akzeptanz bei den Landwirten verringern.

8.6 Allgemeine Empfehlungen

- Angesichts bestehender Unsicherheiten bei der Bewertung des Gefährdungspotenzials einiger Stoffgruppen für Grundwasser, Boden und Mensch wird empfohlen, behandeltes Abwasser nur zur Bewässerung einzusetzen, wenn andere lokale Wasserquellen zur Deckung des Wasserbedarfs nicht verfügbar sind.
- Vor diesem Hintergrund sind Maßnahmen zur Senkung des Wasserbedarfs durch effizienten Wassereinsatz gegenüber der Nutzung von behandeltem Abwasser zunächst zu bevorzugen (z. B. Anbaustrukturen, Bewässerungsmanagement, Beregnungstechnik).

- Grundsätzlich gilt es eine Haltung zu finden, die sich zwischen den Polen Förderung und Verbot einer Wasserwiederverwendungspraxis verorten muss. Dazu ist die Schaffung eines definierten Rahmens wünschenswert, innerhalb dessen Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung verwendet werden darf.
- Dabei sollten, u.a. durch eine Konkretisierung des Besorgnisgrundsatzes im Grundwasserschutz, betroffene Akteure in die Lage versetzt werden, tragfähige und transparente Entscheidungen zu treffen.
- Ein etwaiges Regulativ sollte nutzungsbezogen Wasserqualitätsanforderungen für die Verwendung als Bewässerungswasser bzw. zur Grundwasseranreicherung definieren. Aus diesen würde sich dann die benötigte zusätzliche Abwasserbehandlung ableiten.

Quellenverzeichnis

Abegglen, C., Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigung aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

Addicks, R. (1980): Untersuchungen von Sandfiltration und Mikrosiebung für die weitergehende Reinigung von Abwasser. Bonn: Bundesministerium für Forschung und Technologie.

Alcalde, L., Oron, G., Manor, Y., Gillerman, L., Salgot, M. (2004): Wastewater Reclamation and reuse for agricultural irrigation in arid regions: The experience of the city of Arad, Israel. 2nd Israeli-Palestinian International Conference on Water for Life, 9-12 October 2004, Antalya, Turkey.

Arroja, B., Mosquera-Corra, A., Garrido, J. M., Méndez, R., Ficara, E., Malpei, F. (2005): A membrane coupled to a sequencing batch reactor for water reuse and removal of coliform. Desalination, 179 (1-3), 109 116.

Asano, T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G. (2007): Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications. New York, USA: McGraw-Hill Professional.

Barjenbruch, M. (2007a): Benchmarking of BAF plants: operational experience on 40 full-scale installations in Germany. Water Science and Technology, 55(8-9), 91 - 98.

Barjenbruch, M. (2007b): Verfahren zur Abwasserfiltration - Grundlagen, Auslegung und Betriebserfahrung. Chemie Ingenieur Technik, 79(119), 1861 - 1870.

Beregnungsverband Vorderpfalz (2015): Internetpräsenz Beregnungsverband Vorderpfalz, http://www.beregnungsverband.de/, zugegriffen am 13.01.2015.

Bernhardt, H. (1994): Untersuchungen zur Sicherheit des technischen Einsatzes von UV-Strahlen zur Trinkwasserdesinfektion. Wuppertal: Arbeitsgemeinschaft Trinkwasser Talsperren.

Beschluss des Bundesrates vom 01.02.2013 zur Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Ein Blueprint für den Schutz der Wasserressourcen COM(2012) 673 final, Drucksache 720/12.

Bischoff, A. (2013): Desinfektion von behandeltem Abwasser - Vergleich verschiedener Desinfektionsverfahren. Dissertation, TU Darmstadt.

Bixio, D. & Wintgens, T. (Eds.) (2006): Water Reuse System Management Manual – AQUAREC – , EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Research Directorate I — Environment Unit I.2 — Environment Technologies and Pollution Prevention.

BMU, BMELV (2012): Nitratbericht 2012, Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).

Bnayahu, B.-Y. (2011): Phosphorus. In: Levy, G.J., Fine, P. Asher, B.-T. (Eds): Treated Wastewater in Agriculture. Blackwell publishing Ltd., 166 – 202.

Branch, A., Trinh, T., Carvajal, G., Leslie, G., Coleman, H. M., Stuetz, R. M., Drewes, J. E., Khan, S. J., Le-Clech P. (2016): Hazardous events in membrane bioreactors – Part 3: Impacts on microorganism log removal efficiencies. Journal of Membrane Science 497, 514 -523.

Burns, N. L. (2010): Ozone. In: White´s handbook of chlorination and alternative disinfectants (5th edition). New Jersey, USA: John Wiley & Sons.

Calderón-Preciado, D. Matamoros, V. Savé, R. Muñoz, P., Biel C., Bayona J. M. (2013): Uptake of microcontaminants by crops irrigated with reclaimed water and groundwater under real field greenhouse conditions. Environ Sci Pollut Res (2013) 20, 3629–3638.

Carter, LJ., Harris, E., Williams, M., Ryan, JJ. Kookana,RS., Boxall, A.B.A (2014): Fate and Uptake of Pharmaceuticals in Soil–Plant Systems. J. Agric. Food Chem. 2014, 62, 816-825.

Carvalho, PN., Basto, MCP. Almeida CMR., Brix, H. (2014): A review of plant–pharmaceutical interactions: from uptake and effects in crop plants to phytoremediation in constructed wetlands. Environ Sci Pollut Res (2014) 21, 11729 – 11763.

Castell-Exner, C., Meyer, V. (2010): Das Multi-Barrieren-Prinzip: Basis für eine sichere und nachhaltige Trinkwasserversorgung, energie|wasser-praxis 11/2010.

Chaudhry, R. M., Nelson, K. L., Drewes, J. E. (2015): Mechanisms of Pathogenic Virus removal in a full-scale membrane bioreactor. Environmental science and technology 49, 2815 -2822.

Chrobok, K. (2003): Desinfektionsverfahren in der Schwimmbeckenwasseraufbereitung unter besonderer Berücksichtigung des Elektrochemischen Aktivierungsverfahrens zwecks Verbesserung der Badewasserqualität. *Dissertation*. Universität Bremen.

COM 2012: Europäische Kommission: MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN, Ein Blueprint für den Schutz der europäischen Wasserressourcen COM (2012) 673 final, Brüssel, den 14.11.2012.

Coppola, A., Santini, A., Botti, P., Vacca, S., Comegna, V., Severino, G. (2004): Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behaviour ti irrigation with treated municipal wastewater. Journal of Hydrology 292,114-134.

Cornel, P. (2006): Weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen (A-Kohle, Oxidations-, Desinfektionsverfahren u. a.). DWA WasserWirtschaftsKurs M/2.

Cornel, P., Knopp, G. (2013): Behandlungsverfahren zur Reduktion von Mikroverunreinigungen – ein Überblick. 2.Darmstädter Ingenieurkongress Bau und Umwelt. Technische Universität Darmstadt. 12.-13.03.2013.

Cornel, P., Meda, A. (2008): Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung, GFW Wasser-Abwasser, 149 (2008) Nr. 13.

Cornel, P., Rother, E. (2003): Biofiltration in der Abwassertechnik - Anforderungen und Einsatzgebiete. Verein zur Förderung des Instituts WAR der Technischen Universität Darmstadt.

DECRETO MINISTERIALE 12 giugno 2003, n. 185 «Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152»(G.U. 23 luglio 2003, n. 169).

Die Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

Duek, A., Arkhangelsky, E., Krush, R., Brenner, A., Gitis, V. (2012): New and conventional pore size tests in virus-removing membranes. Water Research, 2505 - 2514.

Düppenbecker, B., Maya, C., Kneidl, S., Meza, C., Lucario, E., Echagüe, V., *et al.* (2013): Removal of helmith eggs by surface filtration. 9th IWA Conference on Water Reuse, 27-31 October 2013, Windhoek, Namibia.

DVGW (2006): Hygienische Sicherheit von Ultrafiltrations- und Mikrofiltrationsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung. Bonn: DVGW - Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.

DWA (2006): Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur Reinigung kommunalen Abwassers. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., DWA-A 262.

DWA (2008): Bewertung von Verfahrensstufen zur Abwasseraufbereitung für die Wasserwiederverwendung. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA (2012): 25. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.

EC-JRC (2014): Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation - A synoptic overview. Authored by Laura Alcalde-Sanz and Bernd Gawlik. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.

Eggers, 2008: Verregnung von geklärtem Abwasser auf 3000 ha landwirtschaftlich genutzten Flächen, GWF, Wasser-Abwasser 149 , Nr.13.

Eischeid, A. C., Meyer, J. N., Linden, K. G. (2009): UV Disinfection of Adenoviruses: Molecular Indications of DNA Damage Efficiency. Applied and Environmental Microbiology, 75(1), 23 - 28.

Engelhardt, N. (2006): Die Membranbelebungsanlage Nordkanal (Bd. 195). Wiener Mitteilungen.

FAO (1994): Water Quality for agriculture FAO Irrigation and Drainage, Papers – 29.

Fatta-Kassinos, D., Kalavrouziotis I.K., Koukoulakis P.H., Vasquez M.I. (2011): The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. Sci Total Environ 409(19), 3555–3563.

Fawell, John (2014): WHO Guidelines for Wastewater Reuse. Presentation at CIS Working Group Programme of Measures, 25 March 2014, Brussels - Belgium.

Fick, J., Lindberg, R.H., Kaj, L., Brorström-Lundén (2011): Results from the Swedish National Screening Programme 2010. Subreport 3 - Pharmaceuticals.

Flannery J, Keaveney S, Rajko-Nenow P, O'Flaherty V, Doréa W (2012): Concentration of Norovirus during Wastewater Treatment and Its Impact on Oyster Contamination Appl. Environ. Microbiol. 78(9), 3400 - 3406.

Francy, D.S., Stelzer, E.A., Rebecca N., Bushon R.N., Brady A.M.G., Williston A.G., Riddell, K.R., Borchardt M.A., Spencer S.K., Gellner T.M. (2012): Comparative effectiveness of membrane bioreactors, conventional secondary treatment, and chlorine and UV disinfection to remove microorganisms from municipal wastewaters. Water Research 46, 4164 - 4178.

Frechen, F. B. (2006): Leistung und Kosten des Membranbelebungsverfahrens. DWA WasserWirtschafts-Kurs M/2 vom 11. - 13. Oktober 2006.

Fricke und Riedel (2011): Erträge durch Beregnung absichern. LWK Niedersachsen

GDNRW, Geologischer Dienst NRW, Informationssystem Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50 000, Krefeld.
http://www.wms.nrw.de/gd/bk050?VERSION=1.1.1&SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities Internetzugriff: April 2014.

Gnirss, R., Lüdicke, C., Beraktschjan, M., Renner, P., Feuerpfeil, I., Dizer, H., Szewzyk, R., Selinka, H.-P. (2015): Abwasserdesinfektion – Verfahrensvergleich in Bezug auf Indikatororganismen. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2015 (62), Nr.3.

Goldstein M, Shenker M, Chefetz B (2014): Insights into the Uptake Processes of Wastewater-Borne Pharmaceuticals by Vegetables. Environ. Sci. Technol. 48, 5593-5600.

Gomez, M., de la Rua, A., Garralón, G., Plaza, F., Hontoria, E., Gómez, M. A. (2006a): Urban wastewater disinfection by filtration technologies. Desaliniation, 16 - 28.

Gómez, M., Plaza, F., Garralón, G., Pérez, J., Gómez, M. A. (2006b): A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process nd macrofiltration-ultrafiltration technologies. Desalination, 202(1-3), 369 - 376.

Gottschalk, C., Libra, J., Saupe, A. (2010): Ozontion of water and waste water, A practical guide to understanding ozone and its applications. Weinheim: Wiley VCH.

Grabbe, U. (1998): Untersuchungen zur weitergehenden Abwasserreinigung mit Hilfe textiler Filtermedien - Tuchfiltration und Mikrosiebung. Dissertation, Universität Hannover.

Graham, D. M. (2000): Ozone as an Antomicrobial Agent for the Treatment, Storage and Processing of Foods in Gas and Aqueous Phases. Palo Alto, USA: Electric Power Research Institute (EPRI).

Grassi M., Rizzo L., Farina A. (2013): Endocrine disruptors compounds, pharmaceuticals and personal care products in urban wastewater: implications for agricultural reuse and their removal by adsorption process. Environ Sci Pollut Res 20(6): 3616 – 3628.

Grünheid, S., Amy, G., Jekel, M. (2005): Removal of bulk dissolved organic carbon (DOC) and trace organic compounds by bank filtration and artificial recharge. Water Research Volume 39, Issue 14, September 2005, 3219 – 3228.

Günder, B. (2001): Das Membranbelebungsverfahren in der kommunalen Abwasserbehandlung, Kommunale Kläranlagen (2. Ausg.). Technische Akademie Esslingen : Expert Verlag.

Haas, C. N., Rose, J. B., Gerba, C. B. (1999): Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley & Sons, Inc.

Hannappel, S., Limberg, A. (2007): Ermittlung des Flurabstands des oberflächennahen Grundwassers in Berlin. Brandenburg. geowiss. Beitr. 14, 65 - 74.

Heberer, T., Mechlinski, A., Fanck, B., Knappe, A., Massmann, G., Pekdeger, A., Fritz, B. (2004): Field Studies on the Fate and Transport of Pharmaceutical Residues in Bank Filtration. Ground Water Monitoring & Remediation 24, 70–77. DOI: 10.1111/j.1745-6592.2004.tb00714.x

Herklotz, P.A., Gurung, P., Van den Heuvel, B., Kinney C.A. (2010): Uptake of human pharmaceuticals by plants grown under hydroponic conditions. Chemosphere 78, 1416 – 1421.

Hijnen, W. A., Beerendonk, E. F., Medema, G. J. (2006): Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. Water Research, 40(1), 3 - 22.

Hochstrat, R., Wintgens, T., Kazner,C., Jeffrey, P., Jefferson, B., Melin, T. (2010): Managed aquifer recharge with reclaimed water – approaches to a European guidance framework. Water Science and Technology, 62(6), 1265 - 1273.

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

Höll, K. (2002): Wasser-Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung, 8. Völlig neu bearbeitete Auflage, Hrsg.: A Grohmann; Walter de Gruyter Verlag, Berlin; New York 2002 ISBN: 3-11-012931-0.

Huang, H., Young, T. A., Schwab, K. J., Jacangelo, J. G. (2012): Mechanisms of virus removal from secondary wastewater effluent by low pressure membrane filtration. Journal of Membrane Science, 1 – 8.

Huber C., Bartha B., Harpaintner R., Schröder, P. (2009): Metabolism of acetaminophen (paracetamol) in plants—two independent pathways result in the formation of a glutathione and a glucose conjugate. Environ Sci Pollut Res 16: 206 – 213.

Huber C., Bartha B., Schröder, P. (2012): Metabolism of diclofenac in plants – Hydroxylation is followed by glucose conjugation. Journal of Hazardous Materials 243: 250 – 256.

Huber, S., Popp, W. (2005): Schlussbericht Überprüfung der Abtötung bzw. Inaktivierung ausgewählter Krankheitserreger in Abwasser durch UV-Strahlung im Vergleich zur Reduktion von Fäkalindikatorbakterien und Untersuchungen zur Wiederverkeimung; Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Hundesa, A., Maluquer de Motes, C., Bofill-Mas, S., *et al* (2006): Identification of human and animal adenoviruses and polyomaviruses for determination of sources of fecal contamination in the environment. Appl. Environ. Microbiol. 72:7886 – 7893.

Iacovos, P., Papatheodoulou, A. (2013): Integration of water reuse for the sustainable management of water resources in Cyprus. In: Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., Anderson, J. (Eds.): Milestones in Water Reuse – The best success stories. IWA Publishing London, 75 - 82.

IRC (2004): Waste stabilization ponds for wastewater treatment. International Water And Sanitation Centre.

Jimenez, B. (2007): Helminth ova removal from wastewater for agriculture and aquaculture reuse. Water Science and Technology, 55(1-2), 485 - 493.

Jimenez, B. Asano, T. (2008): Water Reuse - An International Survey of current practice, issues and needs.IWA Publishing, London, UK.

Jimenez, B., Chavez, A., Leyva, A., Tchobanoglous, G. (2000): Sand and synthetic medium filtration of advanced primary treatment effluent from Mexico City. Water Research, 34(2), 473 - 480.

Jimenez, B., Maya, C. (2007): Helminths and Sanitation. In: Méndez-Vilas (Ed.) Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology, . Badajoz, Spain, Formatex, 60 – 71.

Joss, A., Zabczynski, S., Göbel, A., Hoffmann, B., Löffler, D., McArdell, C. (2006): Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment: Proposing a classification scheme. Water Research, 1686 - 1696.

JRC (2014): European chemical Substances Information System (ESIS), Joint Research Center, Institute for Health and Consumer Protection (IHCP).

Jungfer, C. (2006): Einfluss der UV-Desinfektion auf molekulare Reparaturmechanismen bei Bakterien im Trinkwasser. Institut für Technische Chemie, Bereich Wasser- und Geotechnologie, Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik. Forschungszentrum Karlsruhe.

Kabbe, K., Bäger, D., Mancke, R. (2014): Phosphorpotenziale im Land Berlin. Kompetenzzentrum WasserBerlin, Abschlussbericht, 2014: 42 S.

Kartieranleitung, H. (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung, Geologisches Jahrbuch, Reihe G, Band G. 2. Aufl. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Kathijotes, N., Panayiotou, C. (2013): Wastewater reuse for irrigation and seawater intrusion: evaluation of salinity effects on soils in Cyprus. Journal of Water Reuse and Desalination, 3 (4), 392 - 401.

Kemmesies, O., Euler, B. (2008): BMBF-Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“: Vergleich der Transportmodelle - Abschlussbericht, 132 S., TZW.

Kerschberger, M., Hege, U., Jungk, A. (1997): VDLUFA Standpunkt: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Eigenverlag Darmstadt.

Kerwick, M. I., Reddy, S., Chamberlain, A., Holt, D. (2005): Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? Electrochimica Acta, 50, 5270 - 5277.

Kistemann, T., Rind, E., Rechenburg, A., Koch, C., Claßen,T., Herbst, S., Wienand, I., Exner, M. (2008): A comparison of efficiencies of microbiological pollution removal in six sewage treatment plants with different treatment systems. Int. J. Hyg. Environ. Health 211, 534 – 545.

Kneissl, M., Kolbe, T., Würtele, M., Hoa, E. (2010): Development of UV-LED Disinfection. Berlin: TECHNEAU Report within WP2.5: Compact Units for Decentralised Water Supply.

Knieling, N. B. (2005): Gekoppelte fluidmechanische Modelle für Desinfektionsvorgänge und deren Effizienz in UV-Reaktoren. Dissertation, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik.

Kobylinski, E. A., Bhandari, A. (2010): Chlorination of Wastewater, Disinfection of Wastewater. In B. a. Corporation, White´s handbook of chlorination and alternative disinfectants (5th edition) New Jersey: John Wiley & Sons.

Koutchma, T. N., Forney, L. J., Moraru, C. I. (2009): Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications. Boca Raton, USA: CRC Press.

Kowalski, W. (2009): Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.

Kraft, A., Blaschke, M., Kreysig, D., Sandt, B., Schröder, F., Rennau, J. (1999): Electrochemical water disinfection. Part II: Hypochlorite production from potable water, chlorine consumption and the problem of calcareous deposits. Journal of Applied Electrochemistry, 29, 895 - 902.

Kreisverwaltung Ludwigshafen a. Rh. (1999): Umweltbericht des Landkreises Ludwigshafen.

Kümmerer, K. (2010): Neuartige Spurenstoffe im Wasser, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 54 (6), 349-359.

Kunkel, R., Eisele, M., Wendland, F. (2008): Assessing necessary nutrient reduction for measurement planning in groundwater bodies. Water Science and Technology, 58 (12), 2295 - 2302.

Kuo, D.H.W., Simmon,s F.J., Blair, S., Hart, E., Rose, J.B., Xagoraraki, I. (2010): Assessment of human adenovirus removal in a full-scale membrane bioreactor treating municipal wastewater. Water Research 44 (2010) 1520 - 1530.

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2013): Präsentation zum Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013, Geschäftsbereich Landwirtschaft FB 3.12.

Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz (2009): Landwirtschaftlicher Fachplan Rheinpfalz 2009.

LAWA — Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2004): Workshop LAWA-EUF BONN III „Bestandsaufnahme nach WRRL: Vorgehensweise und Ergebnisse“ am 26. / 27. April 2004 in Siegburg.

LAWA (2004a): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

Lazarova, V., Asano, ., Bahri, A., Anderson, J. (eds) (2013): Milestones in Water Reuse. The best success stories. IWA Publishing, London.

LfL (2008): Bewässerung im Ackerbau und Gärtnerischen Freilandkulturen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising.

LfU — Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005): Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken - Grundlagen, Ermittlung und Beispiele.

LHW Sachsen-Anhalt — Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (2004): Grundwassergütebericht Sachsen-Anhalt 1997-2001.

Linden, K. G., Thurston, J., Schaefer, R., Malley, J. P. (2007): Enhanced UV inactivation of adenoviruses under polychromatic UV lamps. Applied and Environmental Micobiology, 73, 7571 - 7574.

LUNG Mecklenburg-Vorpommern — Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (2012): Zwischenbericht zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Mecklenburg-Vorpommern.

LWK Hannover (2000): Gutachten zur Überprüfung der tragbaren Belastung der landwirtschaftlichen Mitglieder des Abwasserverbandes Braunschweig, Landwirtschaftskammer Hannover, Bezirksstelle Braunschweig.

LWK Niedersachsen (2011): Kartoffelanbau: Düngung für Ertrag und Qualität, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.

LWK NRW (2012): Stickstoffdüngung im Getreide, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Referat 31.7: Stand: April 2012.

Madaeni, S. S., Fane, A. G., Grohmann, G. S. (1995): Virus removal from water and wastewater using membranes. Journal of Membrane Science 102, 65-75.

Magesan, G.N., Williamson, J.C., Sparlin, G.P., Schipper, L.A., Lloyds-Jones, A.R.H. (1999): Hydraulic conductivity in soils irrigated with wastewater of different strengths: field and laboratory studies. Australian Journal of Soil Research 37, 391 - 402.

Malchi, T., Maor, Y., Tadmor, G., Shenker, M., Chefetz, B. (2014): Irrigation of Root Vegetables with Treated Wastewater: Evaluating Uptake of Pharmaceuticals and the Associated Human Health Risks. Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 9325 −9333.

Massmann, G., Dünnbier, U., Heberer, T., Taute, T. (2008). Behaviour and redox sensitivity of pharmaceutical residues during bank filtration - Investigation of residues of phenazone-type analgesics. Chemosphere. 2008 Apr;71(8):1476-85. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.12.017. Epub 2008 Feb 14.

Maya, C., Chávez, A., Lucario, E., Hernández, E., Jiménez, B. (2012): Resistance of a wide spectrum of microorganisms to diverse disinfection systems to produce safe reuse water.Proceedings of IWA Conference on Disinfection and Inactivation for Water, Wasterwater and Sludge,Mexico City, Mexico.

Mazzini, R., Pedrazzi, L., Lazarova, V. (2013): Production of high quality recycled water for agricultural irrigation in Milan. In: Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., Anderson, J. (Eds.) Milestones in Water Reuse – The best success stories. IWA Publishing London, 179 - 190.

Meda, A. (2012): Einsatz von Biofiltern für die Wasser- und Nährstoffwiederverwendung und für die weitergehende Abwasserreinigung zur Spurenstoffentfernung. Dissertation. TU Darmstadt.

Meda, A., Müller, K., Cornel, P. (2010): Untersuchungen der Randbedingungen für die Wasserwiederverwendung und Kernprojektkoordinierung. Institut IWAR. TU Darmstadt.

Meng, Q. S., Gerba, C. P. (1996): Comparative inactivation of enteric adenoviruses, polioviruses and coliphages by ultraviolet irradiation. Water Research, 30(11), 2665 - 2668.

Mersch (2011): Leitfaden für die Substitution von Grundwasser für die Feldberegnung, Projekt klimazwei, Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

Meyer, W. (2014): Potentialotenzial der landwirtschaftlichen Nutzung von Kläranlageablauf in Deutschland, gwf-Wasser/Abwasser, 3/2014.

Meyer, W.; Schulz, E. (2014): Bereitstellung von Beregnungswasser durch Klarwasserversickerung. In: Klimawandel in der Lüneburger Heide. Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus dem KLIMZUG-NORD Modellgebiet. Band 6:30 - 33.

Michel, R., Sourell, H. (2014): Bewässerung in der Landwirtschaft, ERLING Verlag GmbH & Co.KG, ISBN: 978-3-86263-089-9.

Miret, M., Vilanova, E., Molinero, J. (2012): Decision trees for MAR impact evaluation, DEMEAU project deliverable D12.1, www.demeau-fp7-eu.

Mirschel, W., Wieland, R. (2013): Zusatzwasserbedarf durch Beregnung. In: Gutzler, C., Helming, K. (ed.): Folgenabschätzung von Szenarien der landwirtschaftlichen Produktion in Brandenburg 2025, ZALF, 40 - 43.

MKULNV (2011): Schlussbericht Phase 1 „Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen“, (Teilprojekt 6) im Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Abwasser zum Themenschwerpunkt Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren, Vergabenummer 08-058/1, Bezug: IV-7-042 600 001F. Autoren: Grünebaum *et al.*

MKULNV (2013): Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Substanzen - Phase I. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.).

MKULNV (2014): Arge Spurenstoffe NRW, Teilprojekt 6. Abschlussbericht zur Phase 2 (Januar 2012 bis Juni 2013) „Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen“. Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Abwasser zum Themenschwerpunkt Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren Vergabenummer 08-058/1.

MUGV (2010): Positionspapier Verwendung von gereinigtem Abwasser für Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes. Potsdam.

MUGV Brandenburg — Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2009): Mittlere Abflussspende für die Zeitreihe 1976-2005 (Abimo 2.1). http://www.mugv.brandenburg.de/lua/gis/wh_abimo.zip. aufgerufen am 08.04.2014.

MURL (1999): Handbuch - Energie in Kläranlagen. Düsseldorf: MURL - Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW.

Mutschmann Johann, Stimmelmayr, Fritz (2007): Taschenbuch der Wasserversorgung, 14. Auflage, Friedr. Vieweg& Sohn Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, ISBN 978-3-8348-0012-1.

Negreanu,Y., Pasternak, Z., Jurkevitch, E., Cytryn, E. (2012): Impact of Treated Wastewater Irrigation on Antibiotic Resistance in Agricultural Soils. Environ. Sci. Technol. 46, 4800 – 4808.

Neumann, J., Wycisk, P. (2003): Mittlere jährliche Grundwasserneubildung. Erarbeitet im Auftrag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. - BMUNR (Hrsg.): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), 3. Lfg., Tafel 5.5. Bonn/Berlin.

Nwachuku, N., Gerba, C. P., Oswald, A., Mashadi, F. D. (2005): Comparative Inactivation of Adenovirus Serotypes by UV Light Disinfection. Applied and Environmental Microbiology, 71(9), 5633 - 5636.

NWQMS (2006): Australian Guidelines for Water Recycling, National Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 1), November 2006 Environment Protection and Heritage Council, National Health and Medical Research Council, Natural Resource Management Ministerial Council (http://www.environment.gov.au/topics/water/publications-and-resources#quality)

Ottoson, J., Hansen A., Björlenius, B., Norder, H., Stenström T.A. (2006): Removal of viruses, parasitic protozoa and microbial indicators in conventional and membrane processes in a wastewater pilot plant. Water Research 40 , 1449 – 1457.

Paraskeva, P., Graham, N. (2002): Ozonation of Municipal Wastewater Effluents. Water Environmental Research, 74(6), 569 - 581.

Persson, E., Ljunggren, M., la Cour Jansen, J., Strube, R., Jönsson, L. (2006): Disc filtration for separation of flocs from a moving bed bio-film reactor. Water Science and Technology, 53(12), 139 -147.

Prasse, C., Wagner, M., Schulz, R., Ternes, T.A. (2012): Oxidation of the Antiviral Drug Acyclovir and Its Biodegradation Product Carboxy-acyclovir with Ozone: Kinetics and Identification of Oxidation Products. Environmental Science & Technology 46(4), 2169 - 2178.

Prasuhn, Volker (2014): Grundwasserqualität und Bewässerung, Eine Lysimerterstudie zur Schadstoffverfrachtung ins Grundwasser, Aqua&Gas 4, 54 - 58.

Qara-Fallah, R. (2008): Auswirkung von Klimaänderungen auf hydrometeorologisch relevante Parameter; Dissertation, Universität Rostock.

Qinzaños, S., Dahl, C., Strube, R., Mujeriego, R. (2008): Helminth eggs removal by microseeving for water reclemation and reuse. Water Science and Technology, 57(5), 715 -720.

QS (2015): Leitfaden QS-GAP Erzeugung Obst, Gemüse, Kartoffeln (Version 3.0) https://www.q-s.de/dokumentencenter/dc-qs-gap.htmlVersion: 01.01.2015.

Remy, C. (2013): Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of tertiary treatment schemes, Project acronym: OXERAM 2, Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH.

Richardson, S. D., Plewa, M., Wagner, E., Schoeny, R., DeMarini, D. (2007): Occurence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfectin by-products in drinking water: A review and roadmap for research. Mutation Research, 636, 178 - 242.

Roeske, W. (2007): Trinkwasserdesinfektion.Oldenbourg Industrieverlag, Münschen.

Rühmland, S., Barjenbruch, M. (2013): Insights on Design and Operation from a Study about Seven Constructed Wetlands and Ponds for Disinfection of Treated Wastewater. 9th IWA International Conference on Water Reuse, 27 - 31 October 2013, Windhoek, Namibia.

Ruhrverband (1992): Seminar über Schönungsteiche am 19. November 1992 beim Ruhrverband in Essen.

Sanz, J., Strube, R., Quinzaños, S., Dahl, C. P., Montoliu, I., Gracenea, M. *et al.* (2009): Helminth eggs removal in water reclamation: disc filtration as an effective barrier. In Proceedings of the International Desalination Association World Congress (S. 1 - 14). Dubai, United Arabic Emirates: International Desalination Association.

Scheffer, F., Schachtschabel P.(2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag GmbH.

Scheffer, F., Schachtschabel P.(2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag GmbH.

Scherer, U., Fuchs, S. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS, Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Umweltbundesamt ISSN 1862-4804.

Schijven, J., Hssanizadeh, S.M. (2000): Removal of Viruses by Soil Passage: Overview of Modeling, Processes, and Parameters.

Schleypen, P. (2005): Isar-Badegewässerqualität. Vortrag beim Wasserwirtschaftlichen Kolloquium an der Universität der Bundeswehr München.

Schmitt, W. (2003): Biofilter als biologische Hauptstufe - Beispiel KA Wiesbaden-Biebrich (System Biopur). 70. Darmstädter Seminar Abwassertechnik: Biofiltration - Renaissance eines Verfahrens durch erhöhte Anforderungen im In- und Ausland, Institut IWAR, TU Darmstadt.

Schütze, G., T. Spranger (2002): Expert Meeting on Critical Limits for Heavy Metals and Methods for their Application. Berlin, Umweltbundesamt.

Selinka, H.-C., Botzenhart, K., Feuerpfeil, I, Puchert, W., Schmoll, O., Szewzyk, R., Willmitzer, H. (2011): Nachweis von Viren im Rohwasser als Grundlage einer Risikoabschätzung. Bundesgesundheitsblatt 49, 159 – 162.

Shang, N. C., Yu, Y., Ma, H., Chang, C., Lion, M. (2006): Toxicity measurements in aquaeous solution during ozonation of monochlorophenols. Journal of Environmental Management, 78(3), 216 - 222.

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

Sima, L.C., Schaeffer, J., Le Saux, J.C., Parnaudeau, S., Elimelech, M., Guyader, F.S. (2011) Calicivirus Removal in a Membrane Bioreactor Wastewater Treatment Plant Applied and Environmental Microbiology, 77 (15), 5170 – 5177.

Simmons, F.J., Kuo, D.H.W., Xagoraraki, I. (2011): Removal of human enteric viruses by a full-scale membrane bioreactor during municipal wastewater processing. Water Research 45, 2739 - 2750.

Simmons, F.J., Xagoraraki, I. (2011): Release of infectious human enteric viruses by full-scale wastewater utilities. Water Research 45, 3590 - 3598.

Sommer, R. (2006): Anforderungen an die UV-Desinfektion von Trinkwasser. Klinisches Institut für Hygiene und Medizinische Mikrobiologie. Medizinische Universität Wien, Österreich.

Stalter, D., Magdeburg, A., Weil, M., Knacker, T., Oehlmann, J. (2009): Toxication or detoxication? In vivo toxicity assessment of ozonation as advanced wastewater treatment with the rainbow trout. Water Research, 44(2), 439 - 448.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2011): Regionale Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010, Statistisches Landesamt Baden-Würtemberg, Stuttgart, 2011.

Statistische Landesämter (2011-2012): Statistische Berichte zur Landwirtschaftszählung 2010 bzw. persönliche Mitteilung.

Statistisches Bundesamt (2011) - „Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente - Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM)“, Fachserie 3, Heft 5 – 2010, Statistische Landesämter 2011-2012).

Statistisches Bundesamt. (2013): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserversorgung - Öffentlich Abwasserbehandlung und -entsorgung -2010. Wiesbaden, Deutschland: Statistisches Bundesamt. Fachserie 19 Reihe 2.1.2 – 2013.

Strohmeier, A. (1998): Filtrationsanlagen, Kommunale Kläranlage. Technische Akademie Esslingen: Expert Verlag.

Stuyfzand, P.J., Segers, W., van Rooijen, N. (2007): Behaviour of pharmaceuticals and other emerging pollutants in various artificial recharge systems in the Netherlands. Proceedings of the 6th International Symposium on Managed Aquifer Recharge, ISMAR6, Phoenix, Arizona, USA, 2007, 231-245.

Szewzyk, R., Lopez-Pila, J.M., Feuerpfeil, I. (2006): Entfernung von Viren bei der Trinkwasseraufbereitung – Möglichkeiten einer Risikoabschätzung. Bundesgesundheitsblatt 49, 159 – 162.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. (2003): Wastewater Engineering - Treatment and Reuse. New York, USA: Metcalf & Eddy Inc., McGraw Hill Science/Engineering/Math.

Ternes, T.A. (2014): Bedeutung von Transformationsprodukten für den Wasserkreislauf. DWA Themenband T 4/2014, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (1. August 2014).

Ternes, T.A., Bonerz, M., Herrmann, N., Teiser, B., Andersen, H.R. (2007): Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany: An option to remove pharmaceuticals and musk fragrances. Chemosphere 66: 894 - 904.

Ternes, T.A., Bonerz, M., Herrmann, N., Teiser, B., Rasmus Andersen, T. (2007): Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany: An option to remove pharmaceuticals and musk fragrances. Chemosphere, 66, 894 – 904.

Ternes, T.A., Janex-Habibi, M. -L., Knacker, T., Kreuzinger, N., Siegrist, H. (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. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt POSEIDON (EVK1-CT-2000-00047)..

Thøgerson, T., Hansen, R. (2000): Full scale parallel operation of a biological aerated filter (BAF) and activated sludge (AS) for nitrogen removal. Water Science and Technology, 41(4-5), 159 - 168.

Thurston-Enriquez, J. A., Haas, C. N., Jacangelo, J., Riley, K., Gerba, C. P. (2003): Inactivation of feline calicivirus and adenovirus type 40 by UV irradiation. Applied and Environmental Microbiology, 577 - 582.

TLL (2004): Albrecht, M. und Pfleger, I. (1997, 1999, 2004): Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Fruchtarten in Thüringen. Thür. Landesanstalt für Landwirtsch. Jena, 1. bis 3. Auflage, Eigenverlag, 21 S.

TLL (2010): Bewässerungswasserqualität, Hygienische und chemische Belange, Themenblatt-Nr.: 52.06, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010.

UBA (2013): Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 2: Gewässergüte, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stand November 2013.

UBA (2015): Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer, Hrsg. Umweltbundesamt, Fachgebiet II 2.1.

Umweltbundesamt (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. 45/2010.

Urase, T., Yamamoto, K., Ohgaki, S. (1996): Effect of pore structure of membranes and module configuration on virus retention. Journal of Membrane Science 115, 21-29.

US EPA (2012): Guidelines for Water Reuse 2012. Report EPA/600/R-12/618 | September 2012.U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.US EPA (1999): Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.van Houtte, E., Cauwenberghs, J., Weemaes, M., Thoeye, C. (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.

von Gunten, U. (2003): Ozonation of drinking water: Part 1: Oxidation kinetics and product formation. Water Research, *37*(7), 1443 - 1467.

Von Gunten, U., Hoigné, J. (1994): Bromate Formation during Ozonation of Bromide-Containing Waters: Interaction of Ozone and Hydroxyl Radical Reactions. Environmental Science and Technology, 28, 1234 - 142.

Von Haaren, J. & von Haaren, M. (2014): Planung von Beregnungssystemen zur Anpassung an den Klimawandel, Konzept zur ökonomischen Bewertung verschiedener Beregnungssysteme, Projekt KLIMZUG-NORD, Hrsg. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.

Wagner, M., Brumelis , D., Gehr, R. (2002): Disinfection of wastewater by hydrogen peroxide or peracetic acid: development of procedures for measurement of residual disinfectant and application to a physicochemically treated municipal effluent. Water Environment Research 74(1), 33 - 50.

Weber S, Khan, S., Hollender, J. (2006): Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation. Desalination 187, 53 – 64.

Wedi, D., Wild, W., Resch, H. (2005): Betriebsergebnisse der MBR Monheim - Abwaserreinigung und Erhalt der Permeabilitäten mittels chlorfreier chemischer Reinigung. In: Melin, J., Pinnekamp, T., Dohmann, M. (Hrsg.), Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung - Perspektiven, Neuentwicklungen und Betriebserfahrungen im In- und Ausland. Aachen: 6. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik.

WHG (2007): Wasserhaushaltsgesetz - Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts., Deutschland.

WHO (2006): Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization.

WHO (2006): WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II Wastewater use in Agriculture.

WHO (2011): Guidelines for Drinking-water Quality (Bd. Fourth Edition). Genf, Schweiz: WHO Press.

Wintgens, T. Melin, T., Hochstrat, R., Jeffrey, J., Salgot, M. (2005): Political and legislative framework conditions for wastewater reclamation and reuse in Europe. In: 20th Annual WaterReuse Symposium, Denver, USA, 18-21.09.2005.

Wraschke, D. (2008): Behandlung von Membrankonzentraten mittels induzierter Fällung: Phosphatentfernung und Verringerung des Scaling-Potentialotenzials, Projektarbeit, Technische Universität Berlin.

Wu, C., Spongberg, A.L., Witter, J. Fang, M., Czajkowski, K.P. (2010): Uptake of Pharmaceutical and Personal Care Products by Soybean Plants from Soils Applied with Biosolids and Irrigated with Contaminated Water. Environ. Sci. Technol., 44, 6157 – 6161.

Yin, Z., Volodymyr, V. T., Xagoraraki, I. (2015): Human adenovirus removal by hollow fiber membranes: Effect of membrane fouling by suspended and dissolved matter. Journal of Membrane Science 482, 120 -127.

Zimmermann, S.G., Schmukat, A., Schulz, M., Benner, J., von Gunten, U. and Ternes, T.A. (2012): Kinetic and Mechanistic Investigations of the Oxidation of Tramadol by Ferrate and Ozone. Environmental Science & Technology 46(2), 876-884.

Zuehlke, S., Duennbier, U., Heberer, T., Fritz, B. (2004): Analysis of Endocrine Disrupting Steroids: Investigation of Their Release into the Environment and Their Behavior During Bank Filtration, Ground Water Monitoring & Remediation 24, 78 - 85.

Regionaldatenbank Deutschland:

https://www.regionalstatistik.de (© Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014). aufgerufen am 08.04.2014.

Öffentliche Wasserentnahmen 2010: Öffentliche Wasserversorgung - Wassergewinnung, Wasserversorgungsunternehmen – Jahressumme (Tabelle 514-31-4).

Nichtöffentliche Wasserentnahmen 2010: Nichtöffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (Tabelle 518-34-4).

Kommunale Abwassermengen 2010: Öffentliche Abwasserbeseitigung - Jahresabwassermenge – Jahressumme (Tabelle 516-32c-4).

Deutsche Gewässerkundliche Jahrbücher:

Donaugebiet - Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Rheingebiet, Teil I, Hoch- und Oberrhein - Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Rheingebiet, Teil II, Main - Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Rheingebiet, Teil III, Mittel- und Niederrhein mit deutschem Issel- und Maasgebiet - Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

Weser- und Emsgebiet - Hrsg.: Niedersächsischer Landebetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz.

Elbegebiet, Teil I, von der Grenze zur CR bis zur Havelmündung - Hrsg.: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt.

Elbegebiet, Teil II, Havel mit deutschem Odergebiet - Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg.

Elbegebiet, Teil III, Untere Elbe ab der Havelmündung - Hrsg.: Freie und Hansestadt Hamburg, Hamburg Port Authority.

Küstengebiet der Nordsee - Hrsg.: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein.

Küstengebiet der Ostsee - Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.

Anhang I: Rechtliche Anforderungen

Abwasserverordnung

Tabelle 42: Anforderungen an häusliches und kommunales Abwasser für die Einleitstelle (Abwasserverordnung, 2007)

Proben nach Größenklassen der Abwasser-behandlungsanlagen	Chemischer Sauerstoff-bedarf (CSB)	Biochemischer Sauerstoff-bedarf in 5 Tagen (BSB_5)	Ammonium-stickstoff (NH4-N)	Stickstoff, gesamt, als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstick-stoff (N_{ges})	Phosphor gesamt (P_{ges})
	Qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden-Mischprobe				
Größenklasse 1 (kleiner als 60 kg/d BSB_5 (roh))	150 mg/l	40 mg/l	-	-	-
Größenklasse 2 (60 bis 300 kg/d BSB_5 (roh))	110 mg/l	25 mg/l	-	-	-
Größenklasse 3 (größer als 300 bis 600 kg/d BSB_5 (roh))	90 mg/l	20 mg/l	10 mg/l	-	-
Größenklasse 4 (größer als 600 bis 6 000 kg/d BSB_5 (roh))	90 mg/l	20 mg/l	10 mg/l	18 mg/l	2 mg/l
Größenklasse 5 (größer als 6 000 kg/d BSB_5 (roh))	75 mg/l	15 mg/l	10 mg/l	13 mg/l	1 mg/l

Badegewässerrichtlinie

Tabelle 43: Überwachungsparameter und Perzentilwerte zur Einstufung der Badegewässerqualität nach Badegewässerverordnung

	A	B	C	D	E
	Parameter	Ausgezeichnete Qualität	Gute Qualität	Ausreichende Qualität	Referenzmethode
	Binnengewässser				
	Intestinale Enterokokken (KBE/100 ml)	200 (*)	400 (*)	330 (**)	ISO 7899-1 or ISO 7899-2
	Escherichia coli (KBE /100 ml)	500 (*)	1 000 (*)	900 (**)	ISO 9308-3 or ISO 9308-1
	Küsten- und Übergangsgewässer				
	Intestinale Enterokokken (KBE/100 ml)	100 (*)	200 (*)	185 (**)	
	Escherichia coli (KBE /100 ml)	250 (*)	500 (*)	500 (**)	

(*) Auf der Grundlage einer 95-Perzentil-Bewertung

(**) Auf der Grundlage einer 90-Perzentil-Bewertung.

DIN 19684-10

Die Norm nimmt eine Einstufung in jeweils drei Eignungsstufen vor. Die Beschaffenheit des Bewässerungswassers und sein Massenanteil an Inhaltsstoffen werden hinsichtlich der Boden- und Pflanzenverträglichkeit bewertet. Stoffe die sich in höheren als im Lebensmittelgesetz festgelegten Konzentrationen im Erntegut anreichern sind ebenso unzulässig wie Stoffe die zu einer Gefahr für das Grundwasser führen können (DIN 19684-10, Nr. 4.1).

Tabelle 44: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach der Salzkonzentration und der elektrischen Leitfähigkeit, bezogen auf die Salzverträglichkeit der Kulturpflanzenart sowie unter Berücksichtigung der Bodenbehandlung DIN 19684-10

Bewertung nach Salzverträglichkeit	Elektrische Leitfähigkeit	Salz-Massenkonzentration	Bodenbehandlung
Gering (z.B. Bohne, Zwiebel, Salat)	< 300 µS/cm	<0,2 g/kg	Ggf. Salzauswaschung
Mittel (z. B. Tomate, Spinat, Mais)	300 – 800 µS/cm	0,2 - 0,5 g/kg	Salzauswaschung
Hoch (z.B. Rübe, Gerste, Spargel)	800 - < 1 600 µS/cm	0,5 - 1 g/kg	Zusätzliche Salzauswaschung
EC =Anm. 1mS/cm entspricht etwa 0,6 g/kg			

Tabelle 45: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach dem höchstzulässigen Natrium Anteil an der Gesamt-Salzkonzentration (SP-Wert) und Natriumadsorptionskoeffizienten (SAR), bezogen auf die Salzverträglichkeit der Kulturart DIN 19684-10

Bewertung nach Salzverträglichkeit	SP	SAR
Gering	< 60 mmol/l	< 6 mmol/l
Mittel	60 - 75 mmol/l	6 - 10 mmol/l
Hoch	> 75 mmol/l	> 10 mmol/l

Tabelle 46: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach seiner Chloridkonzentration und der daraus resultierenden Schadwirkung bei Kulturpflanzen bezogen auf die Chloridverträglichkeit der Kulturpflanzenart

Schadwirkung	Bewertung des Wassers	Chlorid in mmol/l	Chlorid in mg/l
Gering	Geeignet für nahezu alle Pflanzenarten	< 2	< 70
Mittel	Geeignet für chloridverträgliche Pflanzenarten	2 - 8	70 - 280
Hoch	Geeignet nur für extrem chloridverträgliche Pflanzenarten, im Allgemeinen ungeeignet, z	> 8	> 280

Tabelle 47: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers nach seiner Borkonzentration und der daraus resultierenden Schadwirkung bei Kulturpflanzen bezogen auf die Borverträglichkeit der Kulturpflanzenart

Schadwirkung	Bewertung des Wassers	Bor-Konzentration
Gering	Geeignet für nahezu alle Pflanzenarten	0,3 - 1 mg/l
Mittel	Geeignet für borverträgliche Pflanzenarten (z.B. Kohl, Sellerie)	1 - < 2 mg/l
Hoch	Geeignet nur für extrem borverträgliche Pflanzenarten (Spargel, Zuckerrübe)	2 - 4 mg/l

Tabelle 48: Toleranzbereiche verschiedener Metalle und Halbmetalle für Bewässerungswasser (DIN 19684-10)

Inhaltsstoff	DIN 19684-10 (Richtwerte für Phytotoxizität)
Blei	100 µg/l
Cadmium	10 µg/l
Chrom	50 µg/l
Eisen	10 000 µg/l
Kupfer	1 000 µg/l
Mangan	1 000 µg/l
Nickel	
Quecksilber	2 µg/l
Zink	2 000 µg/l
Aluminium	0,5 mg/l
Arsen	0,1 mg/l
Bor	0,3 mg/l
Molybdän	0,01 mg/l

DIN 19650

Siehe Tabelle 8

Empfehlungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 49: Hygienische Anforderungen an die Qualität von Bewässerungswasser (TLL 2010)

Eignungs-klasse (EK)	Anwendungsbereiche für Fruchtarten	Einschränkungen/Hinweise	Nicht-anwendung	Biologische Kenngrößen		
				Fäkal-strepto-kokken je 100 ml	E. Coli je 100ml	Salmonellen je 1000ml[1)]
1	Alle Gewächshaus und Freilandkulturen			Nicht nachweis-bar	Nicht nach-weisbar	Nicht nach-weisbar
2[2)]	Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr			100	200	Nicht nachweis-bar
3[2)]	Nicht zum Verzehr bestimmte Gewächshauskulturen		Für Gewächshaus-kulturen und Rohverzehr in den Karenzzeiten	100 - 400	200 - 2 000	Nicht nachweis-bar
	Freilandkulturen für den Rohverzehr (Gemüse und Obst)	Gemüse bis zwei Wochen vor der Ernte				
	Gemüse und Obst zur Konservierung und Lagerung					

Eignungs-klasse (EK)	Anwendungsbereiche für Fruchtarten	Einschränkungen/Hinweise	Nicht-anwendung	Biologische Kenngrößen		
				Fäkal-strepto-kokken je 100 ml	E. Coli je 100ml	Salmonellen je 1000ml[1)]
	Heil- und Gewürzpflanzen					
	Alle anderen Freilandkulturen					
4[2)3)] (TLL, 2004)	Kartoffeln, Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut	Bis 2 Wochen vor der Ernte	Für Gewächshaus-kulturen und Rohverzehr in den Karenzzeiten	> 400[5)]	> 2 000[5)]	Nicht nachweis-bar
	Heil- und Gewürzpflanzen	Bis 2 Wochen vor der Ernte				
	Wein- und Obstkulturen	Frostschutzberegnung				

1) Salmonellen und potenziell infektiöse Stadien von Mensch- und Haustierparasiten dürfen nicht im Bewässerungswasser in 1000 ml nachweisbar sein.
2) Wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist, entfällt eine Einschränkung nach hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen.
3) Bei der Beregnung muss durch Schutzmaßnahmen sichergestellt werden, dass Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden nehmen.
4) Richtwert, der analog der TrinkwV § 2 Abs. 3 [3] so weit unterschritten werden sollte, „wie dies nach dem Stand der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles möglich ist".
5) Die 10-fache Menge sollte nicht überschritten werden

Tabelle 50: Toleranzbereiche verschiedener Ionen und Schwermetalle des Bundeslandes Thüringen an die Qualität von Bewässerungswasser (TLL 2010)

Chemische und weitere Kenngrößen		Schwermetalle	
Kalium	≤ 200 mg/l	Blei	≤ 100 µg/l
Natrium	≤ 100 mg/l	Cadmium	≤ 4 µg/l
Chlorid	250/500 mg/l*)	Chrom	≤ 100 µg/l
Sulfat	≤ 1 200 mg/l	Eisen	≤ 1 500 µg/l
Nitrat	≤ 300 mg/l	Kupfer	≤ 100 µg/l
pH-Wert	5,0-9,5	Mangan	≤ 1 500 µg/l
Wasserhärte	30/60 °dH	Nickel	≤ 40 µg/l
Leitfähigkeit	2 000/3 000 µS/cm*)	Quecksilber	≤ 0,5 µg/l

*) salzempfindliche / salzunempfindliche Pflanzen

1) bei 200 mm Zusatzwasser pro Jahr in Folge.

QS-Fachgesellschaft Obst Gemüse Kartoffeln GmbH

Tabelle 51: Hygienische Anforderungen der QS-Fachgesellschaft Obst Gemüse Kartoffeln

Wasserverwendung	Enterokokken KBE/100 ml	*Escherichia coli (E. coli)* KBE/100 ml
Qualität Anzuchtwasser Sprossen und Keimlinge bei Produktion in Keimgefäßen Untersuchung jährlich an der Entnahmestelle	0	0
Beregnung und Bewässerung		
Bei Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr / Benetzung der für den Rohverzehr geeigneten Pflanzenteile gestattet	< 400	< 1 000
Wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist	Keine Beschränkungen	
Die erforderlichen Untersuchungen für die Einstufung des Wassers sind vorzunehmen. Dazu können Analysen, die im Rahmen von Trink-, Bade- oder Oberflächenwasserüberwachungen vorliegen (z. B. im Rahmen von Gewässergüteuntersuchungen) herangezogen werden.		

US-Environmental Protection Agency

Tabelle 52: Empfehlung der amerikanische Umweltbehörde US-EPA hinsichtlich potenzieller Bewässerungseinschränkungen aufgrund des Salzgehaltes

Potenzielles Bewässerungsproblem		Einheiten	Grad der Bewässerungseinschränkung		
			keine	leicht bis mäßig	schwer
Salzgehalt					
	LF_w	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
	TDS	mg/l	< 450	450 – 2 000	> 2 000
					Infiltration
SAR	0 - 3	und LF_w =	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
	3 - 6		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
	6 - 12		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
	12 - 20		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
	20 - 40		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
					Spezifische Ionentoxizät
	Natrium (Na^+)				
	Oberflächenbewässerung	SAR	< 3	3 - 9	> 9
	Sprinklerbewässerung	meq/l	< 3	> 3	
	Chlorid (Cl^-)				
	Oberflächenbewässerung	meq*/l	< 4	4 - 10	> 10

Potenzielles Bewässerungsproblem		Einheiten	Grad der Bewässerungseinschränkung		
	Sprinklerbewässerung	meq*/l	< 3	> 3	
	Bor (B)	mg/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Sonstige Effekte					
	Nitrat (NO_3-N)	mg/l	< 5	5 -30	> 30
	Hydrogencarbonat (HCO_3^-)	meq*/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
	pH		**Normaler Bereich 6,5 - 8,4**		

*milliequivalent [meq]: Einheit für elektrische Ladung, entspricht für einwertige Ionen 1 mmol

Tabelle 53: Vorschläge für Wasserqualitätsanforderungen und weitere Kriterien für verschiedene Kategorien der Wasserwiederverwendung (US EPA guidelines for water reuse - Auszug)

Wiederverwendungs-kategorie und Beschreibung	Behandlung	Wasserqualität des aufbereiteten Wassers [2]	Monitoring des aufbereiteten Wassers	Abstände [3]	Kommentar
Landwirtschaftliche Wiederverwendung					
Nahrungspflanzen [(15)] Die Verwendung von wiederaufbereitetem Abwasser zur Oberflächen oder Sprüh-Bewässerung von Nahrungspflanzen für den menschlichen Verzehr, Rohverzehr,	Sekundär-behandlung [(4)] Filtration [(5)] Desinfektion [(6)]	pH = 6,0-9,0 ≤ 10 mg/l BSB [(7)] ≤ 2 NTU [(8)] Keine Fäkalcoliforme nachweisbar pro 100 ml [(9,10)] 1 mg/l Cl_2 residual (min.) [(11)]	pH – wöchentlich BSB - wöchentlich Trübung - kontinuierlich Fäkalcoliforme - täglich Restchlor– kontinuierlich	50 ft (15 m) zu Trinkwasser-brunnen; erhöht auf 100 ft (30 m) wenn es sich um poröse Medium/ Untergrund handelt [(18)]	Siehe Table 3-5 (der US EPA Guidelines 2012) für weitere empfohlene Grenzwerte für chemische Bestandteile bei der Bewässerung Chemische Zusätze (Koagulanzien und/oder Polymer) vor der Filtration kann erforderlich sein, um den Wasserqualitätsanforderungen zu genügen. In dem behandelten Abwasser sollten keine Pathogene messbar sein [(12)] Höhere Restchlorgehalte und/oder längere Kontaktzeiten können nötig sein, um Viren und Parasiten zu inaktivieren oder abzutöten. Hohe Nährstoffgehalte können sich für manche Feldfrüchte während bestimmter Wachstumsphasen ungünstig auswirken. Siehe Abschnitt 3.4.3 der 2004- Leitlinien für empfohlene Anforderungen an die Behandlungs-Zuverlässigkeit.

Wiederverwendungs-kategorie und Beschreibung	Behandlung	Wasserqualität des aufbereiteten Wassers [2]	Monitoring des aufbereiteten Wassers	Abstände [3]	Kommentar
Verarbeitete Nahrungspflanzen [15] Die Verwendung von aufbereitetem Abwasser für die Oberflächenbe-wässerung von Nahrungspflanzen, für den menschlichen Verzehr, industriell weiterverarbeitet **Nicht-Nahrungspflanzen** Die Verwendung von aufbereitetem Abwasser für die Bewässerung von Nutzpflanzen, die nicht zum menschlichen Verzehr bestimmt sind einschließlich Futter-, Faser- und Saatpflanzen, oder für Weideland, Baumschulen and Rasenfarmen.	Sekundär-behandlung (4) Desinfektion (6)	pH = 6,0-9.0 ≤ 30 mg/l BSB (7) ≤ 30 mg/l TSS ≤ 200 Fäkalcoliforme /100 ml (9,13, 14) 1 mg/l Restchlor (min.) (11)	pH – wöchentlich BSB - wöchentlich TSS - täglich Fäkalcoliforme - täglich Restchlor – kontinuierlich	300 ft (90 m) u Trinkwasserbrunnen 100 ft (30 m) zu Flächen, die für die Öffentlichkeit frei zugänglich sind)	Siehe Table 3-5 (der US EPA Guidelines 2012) für weitere empfohlene Grenzwerte für chemische Bestandteile bei der Bewässerung. Bei Sprühbewässerung können AFS von < 30 mg/l nötig sein, um das Verstopfen/Zusetzen der Verregnerköpfen zu vermeiden. Hohe Nährstoffgehalte können sich für manche Feldfrüchte während bestimmter Wachstumsphasen ungünstig auswirken. Vgl. Abschnitt 3.4.3 der Leitlinien aus dem Jahr 2004 für Anforderungen und die Zuverlässigkeit der Behandlung Milchgebendes Vieh sollte15 Tage nach Beendigung der Bewässerung nicht zur Beweidung zugelassen werden. Wird diese Karenzperiode nicht eingehalten, sollte ein höheres Maß an Desinfektion erfolgen, um < 14 Fäkal coliforme/100 ml einzuhalten.
Grundwasseranreicherung – Nicht-Trinkwasser-Anwendungen					

Wiederverwendungs-kategorie und Beschreibung	Behandlung	Wasserqualität des aufbereiteten Wassers [2]	Monitoring des aufbereiteten Wassers	Abstände [3]	Kommentar
Die Verwendung von aufbereitetem Abwasser zur Anreicherung von Grundwasser, welches nicht zur Trinkwassergewinnung genutzt wird.	Abhängig von lokalen Gegebenheiten und anwendungs-spezifisch; mindestens mechanische Abwasser-behandlung bei Infiltration; mindestens biologische Abwasser-behandlung bei direkter Injektion	Standort- und nutzungsspezifisch	Abhängig von Behandlung und Endanwendung	Standortspezifisch	Anlage ist so zu planen, dass kein aufbereitetes Abwasser Trinkwassergrundleiter erreicht Mehr Informationen finden sich in Kapitel 3 (der US EPA Guidelines) und Abschnitt 2.5 der Leitlinien aus dem Jahr 2004. Für Injektionsprojekte kann Filtration und Desinfektion nötig sein, um Clogging zu verhindern. Für Infiltrationsprojekte kann Sekundärbehandlung nötig sein, um Clogging zu verhindern. Siehe Abschnitt 3.4.3 der 2004 Leitlinien für empfohlene Anforderungen an die Behandlungszuverlässigkeit.

(1) Diese Leitlinien basieren auf der Wasseraufbereitungs- und – wiederverwendungspraxis in den USA und sind speziell an Staaten gerichtet, die keine eigenen Regularien oder Leitlinien entwickelt haben. Die Leitlinien sollten für viele Gebiet außerhalb der Staaten nützlich sein, jedoch können lokale Gegebenheiten die Anwendbarkeit in einigen Ländern beschränken (s. Kapitel 9). Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die direkte Anwendung der vorgeschlagenen Leitlinien nicht von USAID als striktes Finanzierungskriterium verwendet wird.
(2) Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich empfohlenen Grenzwerte für aufbereitetes Abwasser auf den Punkt des Ablaufes der Behandlungsanlage.
(3) Abstände sind empfohlen, um Trinkwasserresourcen vor Kontamination und Personen vor unnötigen Gesundheitsrisiken aufgrund von Exposition gegenüber wiederaufbereitetem Abwasser zu schützen.
(4) Sekundärbehandlungsprozesse umfassen Belebtschlammverfahren, Tropfkörper, rotierende biologische Kontaktoren und Stabilisierungsteiche. Sekundärbehandlung sollte zu BSB und AFS Werten von maximal 30 mg/l führen.
(5) Filtration bedeutet; den Durchgang von Abwasser durch natürliche, ungestörten Boden oder Filtermedien wie z.B: Sand und/oder Anthrazit; oder den Durchgang von Abwasser durch Mikrofilter oder andere Membranprozesse.
(6) Desinfektion bedeutet die Zerstörung, Inaktivierung oder Entfernung von pathogenen Mikroorganismen (Krankheitserregern) mittels chemischer, physikalischer oder biologischer Verfahren. Desinfektion kann erreicht werden durch Chlorung, Ozonung, andere chemische Desinfektionsmittel, UV-Strahlung , Membranverfahren oder andere Verfahren.
(7) Wie im 5-tägigen BSB-Test bestimmt.

(8) Die empfohlene Trübung sollte vor der Desinfektion eingehalten sein. Die durchschnittliche Trübung sollte auf einer 24 Stunden Periode basieren. Die Trübung sollte zu keinem Zeitpunkt 5 NTU übersteigen. Wenn AFS anstelle von Trübung verwendet wird, sollte der durchschnittliche AFS Wert nicht über 5 mg/l liegen. Im Falle der Verwendung von Membranen für den Filtrationsprozess, sollten durchschnittliche Trübung nicht mehr als 0.2 NTU betragen und der durchschnittliche AFS-Wert nicht über 0,5 mg/l liegen.
(9) Soweit nicht anders vermerkt sind empfohlene Grenzwerte für Coliforme Medianwerte aus den bakteriologischen Tests der letzten 7 Tagen, für die Analysen vorliegen. Es können entweder Membranfiltertechnik oder Inkubationsröhrchentechnik verwendet werden.
(10) Die Zahl der Totalcoliforme oder Fäkalcoliforme (welche auch immer in der Tabelle für das Monitoring angeraten wird,) sollte in keiner Probe 14/100 ml übersteigen.
(11) Diese Empfehlung gilt nur, wenn Chlor als Erstdesinfektionsmittel verwendet wird. Der Gesamtrestchlorgehalt sollte nach einer tatsächlichen Mindestkontaktzeit von 90 Minuten eingehalten werden, es sei denn es wurde nachgewiesen, dass auch mit einer geringeren Kontaktzeit eine gleichwertige Entfernung von Indikatororganismen und Pathogenen erreicht wird. Die tatsächliche Kontaktzeit sollte keinesfalls weniger als 30 Minuten betragen.
(12) Es ist angeraten, vor Einführung eines Wiederverwendungsprogrammes das aufbereitete Wasser umfassend hinsichtlich seiner mikrobiologischen Qualität zu charakterisieren.
(13) Die Zahl der Fäkalcoliformen sollte in keiner Probe 800/100 ml übersteigen
(14) Einige Stabilisierungsteichsysteme können diesen Coliformengrenzwert möglicherweise ohne Desinfektion einhalten.
(15) Industriell verarbeitete Nahrungspflanzen sind solche, die vor dem Verkauf an die Öffentlichkeit oder Andere, eine chemische oder physikalische Behandlung erfahren haben, die ausreicht, Pathogene abzutöten.
(16) Weitergehende Abwasserbehandlungsprozesse umfassen chemische Klärung, Aktivkohleadsorption, Umkehrosmose und andere Membranprozesse, Advanced Oxidation, Strippung, Ultrafiltration und Ionenaustauscher.
(17) Das Monitoring sollte anorganische und organische Bestandteile umfassen oder Stoffklassen, die bekanntermaßen oder mutmaßlich giftig, karzinogen, teratogen oder mutagen sind und nicht den Trinkwassernormen enthalten sind.
(18) Siehe Abschnitt 4.4.3.7 für weitere Vorkehrungen, die getroffen werden können, wenn ein Abstand von 100 ft (30 m) zu Trinkwasserbrunnen in porösem Untergrund nicht einhaltbar ist.

Anhang II: Kostenrechnung verschiedener Bewässerungssysteme

Tabelle 54: Kosten Nutzen Analyse verschiedener Beregnungssysteme nach von Haaren & von Haaren (2014)

	Variante 1	Variante 2		Variante 3		Variante 4	
	Unberegnet, kleinstrukturiert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, kleinstrukturiert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, großstrukturiert, Trommelberegnung	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, großstrukturiert, Linearberegnung
durchschnittliche Schlaggröße (ha)	5,3	5,3	5,3	18,6	18,6	45	45
Anteil Hackfrucht (%)	28		32		28		
Deckungsbeitrag (€/ha)	**537**	100 Schläge	**1 880**	28 Schläge	**1 880**	11 Schläge	**1 924**
Arbeitskosten-einsparung aufgrund veränderter Schlaggrößen (€)	**537**	5 ha-Schläge	**1 880**	18,6 ha-Schläge, 10 % höherer DB	**2 068**	45 ha-Schläge, 20 % höherer DB	**2 116**
DB (LF des Gebietes) (€)	269 842,50	502,5 ha	944.700	502,5 ha	1 039 170	502,7 ha	1 063 914
Investitionen (Beregnung) (€)	0,00	29 Trommelregner	640 500	20 Trommelregner	550 850	11 Linearanlagen	616 000
Fixkosten Hydranten und Straßenpressungen (€/Stück)	0,00	500 Stück	14,67	450 Stück	12,91	20 Stück	2,39

	Variante 1	Variante 2		Variante 3		Variante 4	
	Unberegnet, kleinstruktu-riert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, kleinstrukturiert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, grußstrukturiert, Trommelberegnung	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, großstrukturiert , Linearberegnung
Fixkosten Brunnen 80 m tief inkl. Kabel 500 m (€/ha*a)	0,00	8 Tief- und 3 Flachbrunnen	27,06	8 Tief- und 3 Flachbrunnen	27,06	8 Tief- und 3 Flachbrunnen	27,06
Fixkosten Unterwasser-motorpumpen, elektrisch (€/Stück)	0,00	11 Stück	21,55	11 Stück	21,55	11 Stück	21,55
Fixkosten Zuleitungen (€/ha)	0,00	15 120 m	32,6	12 300 m	25,5	2 350 m á 200 mm	6,82
Fixkosten Regnersystem	0,00	29 Regenmaschinen	131,84	20 Regenmaschinen	113,39	11 Anlagen	126,67
Fixkosten gesamt	**0,00**		**227,72**		**200,41**		**184,49**
Variable Kosten Hydranten und Straßen-pressungen (Reparatur und Wartung) (€/Stück)	0,00	140 Stück	7,23	110 Stück	5,48	20 Stück	3,42
davon Straßen-pressungen	0,00						10 Stück

	Variante 1	Variante 2		Variante 3		Variante 4	
	Unberegnet, kleinstrukturiert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, kleinstrukturiert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, grußstrukturiert, Trommelberegnung	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, großstrukturiert, Linearberegnung
Variable Kosten Brunnen (€)	0,00	Reparatur	1,57	Reparatur	1,57		1,23
Variable Kosten Pumpen (Wartung und Reparatur) (€)	0,00	ohne Energie	9,65	ohne Energie	9,65	11 Pumpen	24,82
Variable Energiekosten (€/ha)	0,00	11 Pumpen, hoher Druck	112,5	11 Pumpen, hoher Druck	112,5	11 Pumpen, Niederdruck	56,31
Variable Kosten Zuleitungen (€)	0,00	15.120 m	2,79	12.300 m	2,19	2 350 á 200 mm	0,58
Variable Kosten Regnersystem 4x 25 mm	0,00	29 Regenmaschinen Reparatur	15,92	20 Regenmaschinen Reparatur	13,12	4 x 20 mm Reparatur	24
Arbeitskosten-erledigung (€/ha)	0,00	bei vier Gaben á 25 mm und 20 €/h	61,81	bei vier Gaben á 25 mm	31,34	bei vier Gaben á 20 mm, Kontrolllauf	2,22
Wasserkosten (Wasserpfennig)	0,00	0,005 €/m³ 1 000 m³	5,00	0,005 €/m	5,00 (1 000 m³)	0,005 €/m³ 1 000 m³	5,00
Variable Beregnungs-kosten gesamt (€/ha)	**0,00**		**216,47**		**180,85**		**114,2**

	Variante 1	Variante 2		Variante 3		Variante 4	
	Unberegnet, kleinstrukturiert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, kleinstrukturiert	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, grußstrukturiert, Trommelberegnung	Berechnungs-grundlagen	Beregnet, großstrukturiert, Linearberegnung
Gesamt Festkosten und variable Kosten Beregnung (€/ha)	**0,00**	**444,19**		**381,26**		**298,69**	
Beregnungs-kostenfreie Leistung (€/ha)	**537**	**1 435,81**		**1 686,74**		**1 817,71**	

Anhang III: Reduktionsleistung verschiedener Behandlungsstufen

Tabelle 55: Entfernungsraten von Indikatororganismen und Pathogenen in ausgewählten Abwasserbehandlungsverfahren

Behandlungstechnologie / Verfahrensschritt / Kläranlage				Entfernungsrate in logarithmischen Stufen Parameter / Indikator / Pathogen																		
Primär	Sekundär	Tertiär		*E. coli*	Coliforme (MPN)	Gesamtcoliforme	Fäkalcoliforme	Enterokokken	Fäkalstreptokokken	*Clostridium perfringens*	Campylobacter spp.	Salmonella ssp.	*Giardia lamblia / ssp.*	*Cryptosporidium spp.*	somatische Coliphagen	F-spezifische Coliphagen	Humane Adenoviren	Humane Polyomaviren	Enteroviren	Enterische Viren	Norovirus	culturable virus	Quelle
X	X		Tropfkörperanlage KA Heimerzheim	3,5	2,5				3,0	2,6			2,3										(1)
X	X		BSV, KA Loch	2,5	1,6				2,3	1,4			0,9										(1)
X	X		BSV, KA Hilberath	2,1	2,3				2,6	1,7			2										(1)
X	X		BSV, KA Duisburg Vierlinden, DE	2,0				1,9									0,1	1,1	4,3				(2)
X	X		BSV, KA Bad Sassendorf, DE	2,8				2,7									1,4	0,4	0,1				(2)
X	X		BSV, KA Schwerte, DE	2,7				3,1									0,7	n,b	0,5				(2)
X	X		BSV, KA Reutlingen, DE	2,0											2,1	2,4			2,1	1,5			(4)
X	X		BSV, KA Heidelberg, DE	1,7											1,9	1,4			1,9	1,2			(4)
X	X		BSV, KA Tübingen, DE	1,5											1,4	2,0			1,8	1.,2			(4)
X	X		BSV, Kommunale KA, IE	1,5												2,1					0,8		(5)
X	X		BSV, verschiede KA, US	3,0			2,9	3,1							2,5	4,2	2,6		1,5		1,4	1,8	(7)
X	X		BSV, KA Guelph, CA			2,3	2,8								2,3	2,7							(9)
X	X	X	BSV + SF, KA Starnberg, DE			2,7	3,3		2,3	2,5					1,8								(3)

Behandlungstechnologie / Verfahrensschritt / Kläranlage				Entfernungsrate in logarithmischen Stufen Parameter / Indikator / Pathogen																		
X	X	X	BSV + Flockungsfiltration GKW Flerzheim	3,3	3,2				3,4	2,7			3									(1)
X	X	X	BSV + Flockungsfiltration KA Rheinbach, DE	3,8	3,8				3,6	3,1			3,5									(1)
X	X	X	BSV + SF, KA Miel, DE	3,5	3				3,6	2,7			2,9									(1)
X	X	X	BSV & Rotating biological contactor & SF & Chlorination KA Guelph, CA			5,1	5,0								4,1	3,7						(9)
		X	Sandfiltration, KA Bad Tölz, DE										1,8	1,0								(3)
Membrananlagen																						
X	X	X	Ultrafiltration Pilotanlage (Inge Kappilarmembranen) KA Taranto, IT	4,2		4,2																(6)
X		X	MBR Pilotanlage (Kubota Plattenmodule)	6,1			6,7	6,3							3,2	5,1	3,7		3,4		3,0	2,5	(7)
X	X	X	MBR getauchte HF (Zenon) KA Guelph, CA			5,3	6,2								4,1	4,1						(9)
X	X	X	MBR, Traverse City, Michigan, US														5					(10)
X	X	X	Gesamte Abwasserbehandlung MBR, Traverse City, Michigan US														3		3,6		4,7		(8)
	X	X	MBR Anlage Traverse City, Michigan US														5,5		5,1		3,9		(8)
X	X	X	MBR (Kubota Plattenmodule) Kommunale KA, FR	5																	4,5		(11)
Wirksamkeit von Desinfektionsverfahren																						

Behandlungstechnologie / Verfahrensschritt / Kläranlage				Entfernungsrate in logarithmischen Stufen Parameter / Indikator / Pathogen																		
		X	UV nach Biologie und Sandfilter KA Bad Tölz, DE			4,3	4,6		3,6	0,8					4,5	2,1						(3)
		X	UV nach MBR	0			0,3	0							2,2	0	n.b.		n.b.		n.b.	n.b.	(7)
		X	UV nach konventioneller biologischer Stufe	3,8			3,9	3,4							3	1,2	0,2		n.b.		n.b.	n.b.	(7)
		X	Chlor nach konventioneller biologischer Stufe	2,6			2,3	1,2							1,7	0,7	0,8		n.b.		n.b.	n.b.	(7)

(1) Kistemann *et al.* (2008), (2) MKULNV (2013), (3) Huber & Popp (2005), (4) Fleischer *et al.* (2000), (5) Flannery *et al.* (2012), (6) Falsanisi *et al.* (2010), (7) Francy *et al.* (2012), (8) Simmons *et al.* (2011), (9) Zhang *et al.* (2007), (10) Kuo *et al.* (2010), (11) Sima *et al.* (2011), BSV – Belebtschlammverfahren, MBR – Membranbioreaktor, KA- Kläranlage, n.b. nicht bestimmbar, SF – Sandfilter.

Anhang IV: Gesetzgebung zur Wiederverwendung von behandeltem Abwasser in Europa

Spanien

Die „Königliche Verordnung 1620/2007 über die Errichtung eines juristischen Rahmens für die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser“ wurde im Dezember 2007 verabschiedet (REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas). Sie definiert die zulässigen Anwendungen samt zugehöriger Grenzwerte für die Wasserqualität. Details zur Monitoringhäufigkeit und anzuwendende Methoden sowie die Probenahmepunkte (points of compliance). Es werden des Weiteren Konzessions- und Genehmigungsverfahren geregelt. Der Gesetzestext wurde vom Spanischen Umweltministerium im Jahr 2010 durch einen Anwendungsleitfaden ergänzt (Guía para la Aplicación del R,D, 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas).

Frankreich

Seit 2010 ist eine Verordnung über die Wiederverwendung von Abwasser zur Bewässerung von Kulturpflanzen und Grünflächen in Kraft (Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts). Die Kriterien lehnen sich an die WHO Leitlinien an, beschreiben aber auch weitere Parameter wie Fäkalenterokokken, F-specific spezifische RNA Phagen und Sporen von anaeroben Bakterien (Tabelle 56). Bei der Wasserqualität werden nach chemischen und mikrobiellen Parametern vier Kategorien unterschieden (A, B, C, und D) und mögliche Verwendungsarten festgelegt. Auch die französischen Regularien sehen weitere Maßnahmen im Sinne von Barrieren vor. So sind die Mindestabstände zu anderweitig genutzten Flächen (offene Gewässer, Viehweiden etc.), der Wassergehalt des Bodens, sonstige Bodeneigenschaften und die Bewässerungsmethode mit zu berücksichtigen.

Tabelle 56: Qualitätskategorien und – parameter der französischen Gesetzgebung

Parameter	Qualitätskategorie			
	A	B	C	D
Abfiltrierbare Stoffe (mg/l)	< 15	Entsprechend den Abwasserbehandlungs standards, die außerhalb der Bewässerungssaison gelten,		
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) (mg/l)	< 60			
Fäkalenterokokken (log-Entfernung)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
ARN F-spezifische Phagen (log-Entfernung)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Sporen sulphatreduzierender anaerober Bakterien (log-Entfernung)	≥ 4	3	≥ 2	≥ 2
Escherichia coli (KBE/100 ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	
	1 / Woche	1/ 15 Tage	1 / Monat	
Die Einordnung nach Kategorien hängt maßgeblich von dem dabei angenommenen Gesundheitsrisiko ab, von uneingeschränkter Bewässerung von roh verzehrten Früchten (Kategorie A) zu eingeschränkter Bewässerung von Waldflächen (Kategorie D)				

Portugal

Für die Wiederverwendung von Abwasser für Bewässerungszwecke existiert in Portugal eine technische Norm (NP 4434) aus dem Jahr 2005, welche entsprechenden Anforderungen an die Wasserqualität beschreibt. Sie definiert zudem anzuwendende Bewässerungstechniken und Vorgehensweisen, um mögliche Auswirkungen auf Boden, Erntegut und Grundwasser zu vermeiden und zu überwachen.

Tabelle 57: Qualitätskategorien und – parameter für landwirtschaftliche und sonstige Bewässerung der portugiesischen Norm NP 4434

Kategorie		Parameter und Grenzwert		Behandlungs-anforderungen	Anmerkungen
		Fäkalcoliforme [MPN oder KBE/100ml]	Intestinale Parasiten (z.B. Helminthen)		
A	Roh verzehrte Gemüse	100	< 1 Ei/l	Biologische oder /weitergehende Abwasserbehandlung → Filtration →Desinfektion	UV Desinfektion* oder O_3 sind einer Chlorung vorzuziehen* Unterflur oder Tröpfchenbewässerung
B	Öffentliche Parks, Gärten, Sportplätze, öffentlich zugängliche Wälder	200	< 1 Ei/l	Biologische oder /weitergehende Abwasserbehandlung → Filtration →Desinfektion	UV Desinfektion* oder O_3 sind einer Chlorung vorzuziehen, Bewässerung muss Kontakt mit Menschen vermeiden
C	Gemüse die gekocht verzehrt werden, Futterpflanzen, Weinberge, Obstplantagen	1000	< 1 Ei/l	Biologische oder /weitergehende Abwasserbehandlung → Filtration →Desinfektion oder Abwasserlagunen (3 oder mehr Teichen mit Aufenthaltszeit ≥ 25 d)	UV Desinfektion* oder O_3 sind einer Chlorung vorzuziehen; bei Bewässerung von Weinbergen und Obstbäumen dürfen Früchte nicht in Kontakt mit den Bewässerungswasser kommen; herabgefallene Früchte sollten nicht eingesammelt werden
D	Getreide (außer Reis), industriell verarbeitete Gemüse/Pflanzen (z.B. Faserpflanzen für die Textilindustrie), Ölsaaten, Wälder und Rasen bei beschränktem oder kontrolliertem Zugang für die Öffentlichkeit	10 000	< 1 Ei/l	Biologische Abwasserbehandlung Schönungsteich (Aufenthaltszeit ≥ 10 d) oder biologische Abwasserbehandlung → Filtration →Desinfektion	UV Desinfektion* oder O_3 sind einer Chlorung vorzuziehen, Bewässerung muss Kontakt mit Menschen vermeiden

* Selbstreinigende UV Lampe

Italien

Italien hat sich mit der Ministerialverordnung vom 12 Juni 2003 nr. 185 verhältnismäßig strenge Regularien für die Wiederverwendung von Abwasser gegeben (DECRETO MINISTERIALE 12 giugno 2003, n. 185 „Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152" (G.U. 23 luglio 2003, n. 169).

Die Liste der zu überwachenden Parameter umfasst 55 chemisch-physikalische Eigenschaften, Einzelstoffe und Summenparameter sowie zwei mikrobielle Indikatororganismen (*Escherichia coli* und *Salmonella*), Die Verordnung fordert für alle Bewässerungsanwendungen die Einhaltung des Grenzwerts für *E. coli* von 10 KBE/100 ml (in 80 % der Proben) mit maximal zulässigen Werten von 100 KBE/100 ml. Die Anforderung an in Lagunen und Pflanzenkläranlagen behandeltes Abwasser ist mit 50 bzw. 200 KBE/100 ml ebenfalls streng begrenzt und ist durch diese Technologien ebenfalls schwierig zu erreichen. Die Grenzwerte für viele Metalle entsprechen denen der EU-Trinkwasserverordnung.

Griechenland

Im Jahr 2011 hat auch Griechenland spezielle Vorschriften zur Verwendung von wiederaufbereitetem Abwasser erlassen. Es sind drei Qualitätsklassen definiert, denen verschiedene Nutzungsarten zugeordnet sind. Für Anwendung im städtischen Umfeld sind die Grenzwerte für Indikatororganismen mit < 2 KBE/100 ml Gesamtcoliforme festgelegt. Auch für Anwendungen mit geringerer Exposition sind die Werte für *E. coli* mit < 200 KBE/100 ml als vergleichsweise niedrig anzusehen. Des Weiteren ist eine Überprüfung auf prioritäre Stoffe vorgesehen.

Zypern

Die Regelungen in Zypern sehen Grenzwerte von 5 KBE/100 ml *E. coli* (bzw. 5 MPN/100 ml Fäkalcoliforme) vor. Mit Wasser dieser Qualität dürfen alle Feldfrüchte bewässert werden, ausgenommen Blatt- und Knollengemüse, die roh verzehrt werden. Weniger strenge Werte gelten für Futterpflanzen und Ölsaaten, insbesondere, wenn die Kläranlage < 2 000 EW hat.