



Fraunhofer Institut
System- und
Innovationsforschung

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung

Dr. Christian Sartorius
Christiane Klobasa

Delphi-Befragung zu nachhaltigen wasserwirtschaftlichen Innovationen im Rahmen des Projektes Wasser 2050

In Zusammenarbeit mit:

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung (BDZ)

Karlsruhe, Oktober 2008

Die vorliegende Studie entstand im Rahmen des Projektes "Wasser 2050. Nachhaltige wasserwirtschaftliche Systemlösungen – künftige Chancen für die deutsche Wasserwirtschaft". Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung dieses Vorhabens (Fkz 02WT0820).

Inhalt

1	Die Delphi-Umfrage im Kontext von Wasser 2050	5
2	Ausrichtung der Delphi-Umfrage	7
3	Auswahl der Themenfelder und Generierung der Thesen	9
4	Auswertung der Delphi-Umfrage	11
4.1	Statistische Rahmendaten	11
4.2	Inhaltliche Ergebnisse.....	14
4.2.1	Versorgung mit Wasser	14
4.2.2	Abwasserbeseitigung und -behandlung.....	20
4.2.3	Rückgewinnung von Ressourcen aus Abwasser	26
4.2.4	Bewässerung	30
4.2.5	Bereichsübergreifende Innovationen	32
5	Zusammenfassung.....	36

1 Die Delphi-Umfrage im Kontext von Wasser 2050

Weltweit sind im Kontext der Wasserver- und Abwasserentsorgung eine Reihe von Herausforderungen festzustellen, die einerseits die Innovativität von in der Wasserwirtschaft tätigen Unternehmen auf die Probe stellen, andererseits aber auch ein gewaltiges wirtschaftliches Potenzial für die Lieferanten problemlösender Innovationen eröffnen, das sich auf volkswirtschaftlicher Ebene in Wachstum und einer Zunahme der Arbeitsplätze niederschlagen kann. Soll dieses Potenzial, wie im Projekt "Wasser 2050"¹ angestrebt, tatsächlich realisiert werden, dann ist es wichtig, im Rahmen einer Technologievorausschau wesentliche zukünftige Entwicklungslinien zu erfassen und zu identifizieren. Im Anschluss können diese Entwicklungslinien in Zukunftsbilder eines Wassertechnologiemarktes im Jahr 2050 übersetzt und dazu verwendet werden, das Innovationsverhalten der Technologieanbieter so auszurichten, dass letztere optimal auf die zukünftigen Herausforderungen ausgerichtet sind.

Wie groß der Innovationsdruck und das daraus resultierende wirtschaftliche Potenzial tatsächlich ist, lässt sich aus der Größenordnung der anzugehenden Probleme abschätzen. So hat sich die Staatengemeinschaft mit Blick auf die Entwicklungsländer im Rahmen der "Millennium Development Goals" das Ziel gesetzt, bis 2015 den Anteil der Weltbevölkerung ohne Zugang zu sauberem Wasser und hygienisch einwandfreier Abwasserentsorgung zu halbieren. Schon aus diesem Anlass soll es auf dem globalen Markt für Wasser- und Abwassertechnik zu Umsatzsteigerungen auf bis zu 400 Mrd. Euro im Jahr 2010 kommen.

Kaum geringer sind die Herausforderungen im Bereich sich schnell entwickelnder, stark wachsender Regionen bspw. in Südostasien, speziell China, sowie Indien und Brasilien, wo eine Wasser- und Abwasserinfrastruktur vor allem in Städten häufig zwar vorhanden ist, sich aber oft in einem schlechten Zustand befindet und angesichts eines rasanten Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums völlig überlastet ist.

Wieder anders stellen sich die Probleme in vielen wohlhabenden Industrieländern dar, wo die Wasserver- und Abwasserentsorgung häufig ein hohes Qualitätsniveau erreicht hat, sich aber angesichts demographischer Veränderungen (Schrumpfung und Alterung der Bevölkerung) die Frage stellt, ob diese technischen Errungenschaften mit vertretbarem Aufwand haltbar sind. So nehmen bspw. die Aufwendungen zum Erhalt

¹ Das Projekt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt "Wasser 2050. Nachhaltige wasserwirtschaftliche Systemlösungen – künftige Chancen für die deutsche Wasserwirtschaft" (FKZ 02 WT 0820) ist ein Verbundprojekt des Instituts für Sozialökologische Forschung (ISOE; Koordination), des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) und des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ).

und zur Wartung der teilweise sehr langlebigen Wasserinfrastruktur tendenziell zu, wogegen die Auslastung eher abnimmt.

Übertroffen werden alle diese Herausforderungen durch den Klimawandel, der gerade die Wasserwirtschaft in vielerlei Hinsicht beeinflusst. Steigende Temperaturen und eine deutliche Tendenz zu ungleichmäßigerer Verteilung der Niederschläge laufen einer Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität zuwider, die notwendig wäre, die unterschiedlichen, in jedem Fall aber steigenden Ansprüche hinsichtlich der Grundernährung einer wachsenden Weltbevölkerung, steigendem Fleischkonsum und zusätzlicher Bereitstellung erneuerbarer (d. h. pflanzlicher) Energieträger zu erfüllen. Auch in Siedlungsgebieten führen unregelmäßigere Regenzeiten oder vermehrte Starkniederschläge zu häufigeren und stärkeren Überlastungen insbesondere der Abwasserinfrastrukturen.

2 Ausrichtung der Delphi-Umfrage

Vor diesem Hintergrund ist es das Anliegen der vorliegenden Delphi-Befragung, herauszufinden, durch welche technischen und auch organisatorischen Innovationen die Wasser- und Abwasserwirtschaft weltweit in die Lage versetzt werden könnte, die dargestellten Herausforderungen zu bewältigen. Dabei stehen angesichts eines Zeithorizontes bis zum Jahr 2050 nicht so sehr einzelne, inkrementelle Verbesserungen innerhalb der bestehenden Infrastruktursysteme im Fokus des Interesses. Im Bewusstsein, dass nicht nur zwischen Wasserver- und Abwasserentsorgung, sondern auch im Verhältnis zu anderen Ver- und Entsorgungssektoren wie bspw. Energie bzw. Abfall eine Vielzahl von Wechselwirkungen besteht, geht es vielmehr um die Identifikation nachhaltiger Systeminnovationen, die diesen Wechselwirkungen Rechnung tragen und dabei auch unterschiedliche wirtschaftliche, institutionelle und soziale Rahmenbedingungen berücksichtigen. Der nachhaltige Charakter dieser Systemlösungen findet in diesem Zusammenhang u. a. durch die Einbeziehung ihrer längerfristigen ökonomischen und ökologischen Folgen Berücksichtigung, wobei im Einzelnen folgende Aspekte betrachtet werden:

- Ressourcenschonung bei der Wassergewinnung, wobei nicht nur die Inanspruchnahme des Wasserdargebots, sondern auch andere Ressourcen (z. B. Energie) zu berücksichtigen sind,
- an die jeweiligen Nutzungszwecke (z. B. Bewässerung) angepasste, differenzierte Aufbereitung des Rohwassers,
- Effizienz der Wassernutzung i. S. der Erzielung des größtmöglichen Nutzens aus einer gegebenen Menge Wasser für einen vorgegebenen Verwendungszweck,
- Mehrfachnutzung einer gegebenen Wassermenge ggf. nach Teil- bzw. Zwischenreinigung für den gleichen Verwendungszweck oder im Sinne einer Kaskadennutzung auf abnehmenden Reinheitsniveaus,
- Vermeidung oder Wiedernutzung von Nebenprodukten der Abwasserentsorgung oder -behandlung (z. B. Wärme, Phosphat),
- Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Systemen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung durch fehlerresistente bzw. -tolerante Mess-, Steuer- und Regeltechnik bzw. Reduzierung von Eingriffsmöglichkeiten und -wirkung,
- Erhöhung der Anpassungsfähigkeit von Wasser- bzw. Abwasserinfrastrukturen durch strukturelle Änderungen hinsichtlich Langlebigkeit und räumlicher und funktionaler Flexibilität.

Sind die relevanten nachhaltigen wasserwirtschaftlichen Systemlösungen auf der Grundlage der Delphi-Umfrage identifiziert, so ist es zunächst möglich herauszufinden, ob deutsche Unternehmen als wettbewerbsfähige Anbieter für diese Technologien in Frage kommen. Wo Letzteres nicht der Fall ist, können Maßnahmen getroffen werden, um die technische Leistungsfähigkeit und damit die Wettbewerbsfähigkeit den Erfordernissen anzupassen.

3 Auswahl der Themenfelder und Generierung der Thesen

Die Herleitung von relevanten Themenfeldern im Kontext des Projekts Wasser 2050 erfolgte in mehreren aufeinander folgenden Schritten. Zunächst wurden wasserbezogene Problemlagen sowie die Herausforderungen identifiziert, die sich aus diesen Problemlagen ergeben und zu deren Lösung die Industrie mit innovativen Lösungen beitragen kann. Beispielhaft sei hier die Problemlage der ungeordneten Urbanisierung genannt, die den Aufbau einer anpassungsfähigen Infrastruktur erfordert, welche wiederum den grundlegenden Bedürfnissen an eine gesundheitlich unbedenkliche Wasserver- und Abwasserentsorgung Rechnung trägt. Diese Problemlage kann insbesondere den schnell wachsenden Städten Südamerikas und Asiens zugeordnet werden.

In einem zweiten Schritt wurden Themenfelder und darin relevante Technologielinien identifiziert, die in der Lage sind, zur Lösung der Problemlagen beizutragen. Beispielhaft kann hier das Themenfeld "Meerwasserentsalzung" genannt werden, in dem z. B. mittels der Membrantechnik Trinkwasser gewonnen wird, das zur Trinkwasserversorgung großer Städte genutzt werden kann. Insgesamt wurden auf diese Weise folgende zehn Themenfelder identifiziert:

- Wasserversorgung,
- Regen- und Grauwassernutzung,
- Meerwasserentsalzung,
- Grundwasser,
- Kanalisation,
- Abwasserbehandlung,
- Düngergewinnung aus Abwasser,
- Energiegewinnung aus Abwasser,
- Bewässerung,
- bereichsübergreifende Innovationen.

Für jedes Themenfeld wurden dann Arbeitspapiere erarbeitet, in denen zunächst der Stand der Technik der jeweiligen relevanten Technologielinien untersucht und dargestellt wurde. Darauf aufbauend wurden Innovationspotenziale der Technologielinien bis zum Jahr 2050 abgeschätzt. Dabei wurden insbesondere solche Technologielinien verfolgt, die Charakteristika nachhaltiger Systemlösungen aufweisen (vgl. Kapitel 2). Schließlich wurden für diese Technologielinien Zukunftsvisionen formuliert, die die Grundlage für eine erste, vorläufige Thesensammlung für die Delphi-Befragung bildeten.

Diese vorläufige Thesensammlung wurde anschließend einer Überarbeitung unterzogen, bei der der Fokus noch einmal auf nachhaltige Systemlösungen gelegt wurde. Inhaltlich ähnliche Thesen wurden zusammengefasst und weniger wichtige Thesen gestrichen, so dass einerseits die Zahl der Thesen pro Themenfeld nicht zu stark voneinander abwich. Andererseits sollte eine Gesamtzahl von 35 Thesen nicht überschritten werden, damit der Fragebogen von den Adressaten der Delphi-Befragung in – wie wir hoffen – angemessener Zeit bearbeitet werden konnte.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Beschränkung in der Gesamtzahl der Thesen sowie die Art der Thesengenerierung, insbesondere die Ausrichtung auf den Aspekt der nachhaltigen Systemlösungen, zur Folge hat, dass fachkundige Leserinnen und Leser dieses Reports möglicherweise bestimmte, auch perspektivisch aussichtsreiche Innovationen vermissen werden. Wir bitten für diese durch die Ausrichtung der Befragung bedingte Selektivität um Verständnis.

4 Auswertung der Delphi-Umfrage

4.1 Statistische Rahmendaten

Insgesamt wurden in der ersten Runde 543 Fragebögen in deutscher bzw. englischer Sprache versendet, davon 116 ins Ausland (Tabelle 1). Zieht man davon die nicht zustellbaren sowie zurückgesendeten aber unbeantworteten Fragebögen ab, so beträgt die Basis der ersten Runde der Delphi-Befragung 522 Fragebögen.

Tabelle 1: Anzahl der ins Ausland versendeten Fragebögen

Australien	6	Israel	1	Schweden	3
Bangladesch	1	Italien	2	Schweiz	16
Belgien	1	Kolumbien	1	Spanien	2
Brasilien	1	Mexiko	1	Süd Afrika	2
Kanada	3	Neuseeland	1	Thailand	2
China	1	Niederlande	29	Tschechische Republik	1
Dänemark	2	Norwegen	1	Türkei	2
Finnland	1	Österreich	4	USA	9
Frankreich	3	Portugal	2	Vereinigtes Königreich	16
Indien	1	Saudi Arabien	1		

Insgesamt wurden in der ersten Runde 122 Fragebögen beantwortet zurückgesendet, davon 16 (d. h. 13,2 Prozent) aus dem Ausland. Die Gesamtrücklaufquote (Basis = 522 Fragebögen) liegt damit bei 23,4 Prozent.

In der zweiten Runde der Delphi-Befragung ging es grundsätzlich darum, die befragten Experten in Kenntnis der Ergebnisse aus der ersten Runde noch einmal mit den Thesen zu konfrontieren, um ihnen Gelegenheit zu geben, ihre eigenen Einschätzungen vor dem Hintergrund der Voten aller Experten ggf. zu revidieren. Das Ziel dieser Vorgehensweise war es, eventuell vorhandene nicht eindeutige Voten zur Konvergenz zu bringen. Ein Beispiel für eine uneindeutige Einschätzung liegt bspw. dann vor, wenn einige Experten einen Realisierungszeitraum bis 2015 angeben, ebenso viele für bis 2050 votieren, aber kaum jemand bis 2030. Wir haben in der zweiten Runde der Befragung nur die 11 Thesen (von 35 in der ersten Runde) noch einmal unverändert zur Bewertung vorgelegt, die tatsächlich uneindeutige Einschätzungen aufwiesen. Fünf weitere Thesen der zweiten Runde wurden von entsprechenden Thesen der ersten Runde abgeleitet, aber aufgrund von Kommentaren, die die Experten in der ersten

Runde zu diesen Thesen machten, modifiziert. Schließlich wurden ebenfalls auf Hinweise der Experten hin vier Thesen ganz neu in den Fragebögen der zweiten Runde aufgenommen. Modifizierte Thesen wurden im Fragebogen und werden im vorliegenden Report mit einem "*" kenntlich gemacht, gänzlich neue Thesen mit einem "+" gekennzeichnet.

In der zweiten Runde wurden insgesamt 110 Fragebögen an den deutschsprachigen Kreis der antwortenden Experten der ersten Runde versendet. Davon wurden 73 Fragebögen zurückgesendet, dies entspricht einer Rücklaufquote von 66 Prozent.

In beiden Befragungsrunden wurden die Experten gebeten, im Zusammenhang mit jeder These Angaben zu den folgenden Aspekten zu machen:

- Da unabhängig vom jeweiligen Fachgebiet einheitliche Fragebögen an alle Fachleute geschickt wurden, wurden die Beantwortenden zunächst um eine Selbsteinschätzung ihrer **Fachkenntnis** entsprechend den Kategorien „hoch“, „mittel“ und „fachfremd“ gebeten. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Fachkenntnis der Experten für die verschiedenen Thesen. Bei der zusammenfassenden Auswertung der Fragebögen in Abschnitt 4.2 wurden die Antworten entsprechend dieser Einschätzung einer Gewichtung unterzogen, wobei die Antworten von Experten mit hoher Fachkenntnis

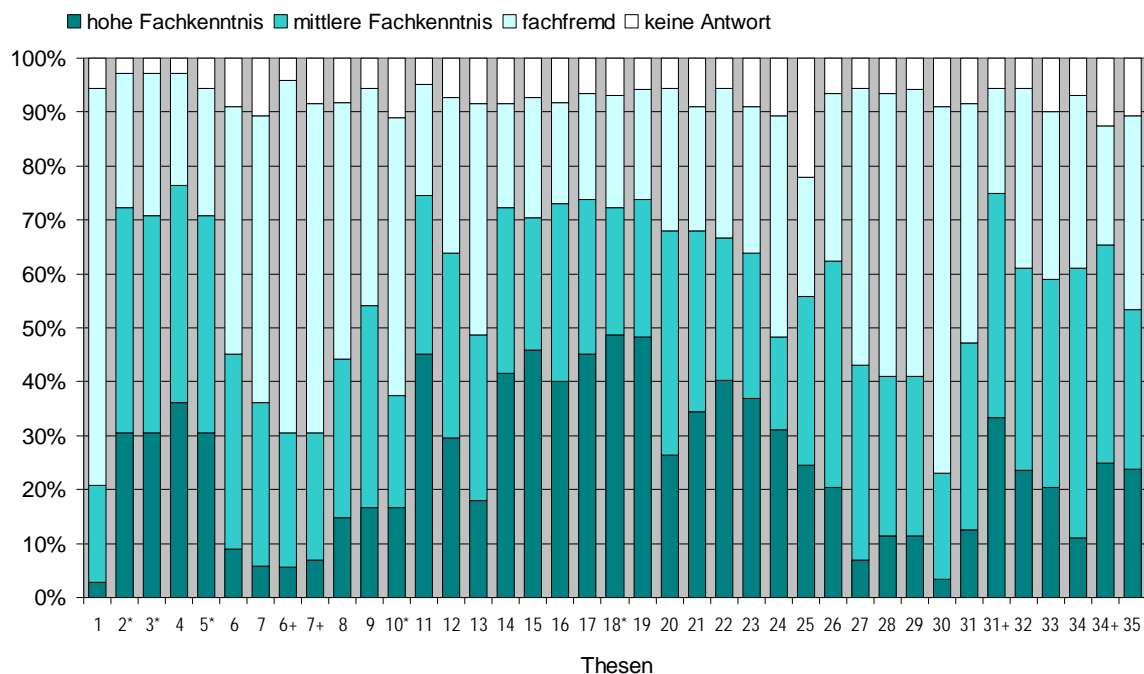


Abbildung 1: Fachkenntnis der Experten für alle Thesen

mit dem Faktor 1, von Experten mit mittlerer Fachkenntnis mit dem Faktor 0,5 und von fachfremden Experten mit dem Faktor 0,25 gewichtet wurden.²

- Hinsichtlich des **Realisierungszeitraums** konnten die Experten differenzieren, ob sie eine Realisierung der These bis 2015, bis 2030, bis 2050 oder nie für wahrscheinlich hielten. „Nie“ sollte auch dann gewählt werden, wenn eine Realisierung deutlich nach 2050 für wahrscheinlich gehalten wurde.³
- Das **Marktpotenzial** sollte dann als „hoch“ angegeben werden, wenn der insgesamt weltweit erzielbare Umsatz mit allen Produkten, die aus der Realisierung der betreffenden These hervorgehen würden, auf über 500 Mio. € geschätzt wurde, als „klein“, wenn er auf weniger als 50 Mio. € geschätzt wurde, und „mittel“, wenn er voraussichtlich dazwischen liegen würde. Konnte das Marktpotenzial nicht in Geldwerten beziffert werden, dann war das Marktpotenzial als „groß“, „mittel“ oder „klein“ einzustufen, wenn der globale Verbreitungsgrad der jeweiligen Experteneinschätzung zufolge über 50 Prozent, zwischen 10 und 50 Prozent bzw. unter 10 Prozent lag.
- Als alternative **Zielländergruppen**, aus denen mehrere ausgewählt werden konnten, waren Industrieländer, Osteuropa, Schwellenländer und Entwicklungsländer vorgegeben, wobei Brasilien, Russland, Indien und China als Beispiele für Schwellenländer explizit genannt waren.
- Die Zielregionen wurden außerdem **klimatisch** differenziert, und zwar nach trockenen (=ariden), feuchten (=humiden) und solchen Gebieten, die ausgeprägte saisonale Unterschiede zwischen Trockenheit und Niederschlägen (=arid/humid) aufwiesen.
- Hinsichtlich der **Marktführerschaft** war zwischen „Deutschland“, „übriges Europa“, „Nordamerika“, „Südostasien“ und „anderen“ zu unterscheiden, wobei Südostasien auch Japan und China umfasste.³

² Im gesamten Text werden alle Personen, die in den Fragebögen ihre Bewertungen abgegeben haben, als Experten bezeichnet unabhängig davon, ob ihre tatsächliche Fachkenntnis in der jeweiligen These hoch, mittel oder gering war.

³ Der Realisierungszeitraum und vor allem die Marktführerschaft sind die beiden Bereiche, in denen sich die Einschätzungen deutscher und ausländischer Experten signifikant unterscheiden. Häufig zeigten die ausländischen Experten eine Tendenz zu kürzeren Realisierungszeiträumen. Wichtiger ist jedoch die stärkere Ausprägung deutscher Technologieführerschaft seitens der deutschen Experten, die vor allem in den Bereichen Wasseraufbereitung, Grundwasser, Kanalisation, Abwasser und Membranen zum Tragen kam. Daraus resultierende grundlegende Unterschiede der Einschätzungen sind bei den inhaltlichen Ergebnissen vermerkt.

Schließlich hatten die Experten die Möglichkeit, ihre Antworten zu jeder These zu kommentieren und zusätzlich am Ende jedes Themenfeldes bei Bedarf zusätzliche Thesen zu formulieren, die sie für wichtig erachteten.

4.2 Inhaltliche Ergebnisse

4.2.1 Versorgung mit Wasser

4.2.1.1 Wasserrecycling

Kernelement nachhaltiger Systeminnovationen, die im Zentrum des Projektes Wasser 2050 stehen, ist die Wiedernutzung von Wasser. Auf Haushaltsebene, die im vorliegenden Zusammenhang im Vordergrund steht, bedeutet dies die Wiedernutzung des anfallenden Grauwassers sowie des Regenwassers. Semi- bzw. dezentrale Anlagen zur Aufbereitung von Regenwasser und Grauwasser sind bereits auf dem Markt verfügbar und werden in Deutschland auch in relativ breiter Anwendung eingesetzt. Allerdings finden sich Anwendungsbeispiele überwiegend in der Industrie und im Gewerbe, z. B. in der Hotelbranche. Hinsichtlich einer individuellen Nutzung von Grau- und Regenwasser auf Haushaltsebene und der breiten Anwendung von Grau- und Regenwasseraufbereitungsanlagen in neuen bzw. kernsanierten Gebäude gaben die Experten in der Delphi-Befragung folgende Einschätzung ab (Thesen 2 und 3).

Semi- oder dezentrale Anlagen zur Aufbereitung von Regenwasser für die Nutzung im Haushalt (z. B. Toilettenspülung, Waschmaschine, Hausreinigung) werden nicht nur hierzulande in der Mehrzahl aller neuen und kernsanierten Gebäude installiert (These 2*)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	Industrie und Schwellenländer, insbes. Osteuropa	aride sowie arid/humide bzw. humide Regionen	Deutschland und Europa

Semi- oder dezentrale Anlagen zur Aufbereitung von Grauwasser für die individuelle Nutzung im Haushalt (z. B. Toilettenspülung, Waschmaschine, Hausreinigung) werden nicht nur hierzulande in der Mehrzahl aller neuen und kernsanierten Gebäude bzw. Wohnviertel installiert (These 3*)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	Industrie und Schwellenländer	arid/humide bzw. aride Regionen	Deutschland und Europa

Offensichtlich sehen die Experten also im Hinblick sowohl für die Regen- als auch für die Grauwasseraufbereitung und -nutzung mittelfristig ein großes Potenzial vor allem in entwickelten Ländern, wobei Deutschland und Europa als Technologieführer angesehen werden.⁴

Durch die Kombination von Grau- bzw. Regenwasseraufbereitung und einer Membranfiltration kann Wasser einer noch höheren Qualität bis hin zu Trinkwasser gewonnen werden. Voraussetzung für eine weitere Verbreitung dieser Technologien ist jedoch, dass eine ausreichende Bereitschaft zur Nutzung von Grau- bzw. Regenwasseraufbereitung als hochwertiges Brauch- oder sogar Trinkwasser erreicht werden kann (These 4). Die Experten scheinen, wie aus der Tabelle ersichtlich, überzeugt zu sein, dass die Aufbereitung von Regen- und Grauwasser bis hin zu Trinkwasser kurz- bis mittelfristig zunehmend Akzeptanz und damit ein mittleres bis großes Marktpotenzial vor allem in den entwickelten Ländern erzielen kann.

Eine weitergehende Reinigung von Grau- und Regenwasser mittels Membranfiltration wird zu einer deutlichen Erhöhung der Akzeptanz des Filtrats zur Nutzung als hochwertiges Brauch- oder gar Trinkwasser und damit zu dessen weiterer Verbreitung führen (These 4)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2015 bis 2030	mittel bis groß	Industrie und Schwellenländer	arid/humide bzw. aride Regionen	Deutschland und Europa, Nordamerika, Südostasien

In Regionen, in denen heute keine Wasserinfrastruktur vorhanden ist oder in Gebieten mit mangelhafter Infrastrukturversorgung kann eine autarke Wasserversorgung auf Haushaltsebene vorteilhaft sein. Dabei könnten, so These 5, semi- bzw. dezentrale leistungsfähige Wasseraufbereitungsverfahren zusammen mit einer effizienten Nutzung von Wasser und Regenwasser den Bau wasserautarker Wohnhäuser oder Wohnviertel ohne Anschluss an die zentrale Trinkwasserversorgung ermöglichen. Wie die Tabelle zu These 5 zeigt, beurteilen die Experten diese Möglichkeit eher skeptisch, indem sie ihr höchstens langfristig ein eher kleines Potenzial einräumen.

⁴ Im Bereich des Wasserrecyclings sehen deutsche Experten die deutsche Industrie im Vorteil, wogegen die ausländischen Experten das übrige Europa vor Deutschland ansiedeln.

Semi- bzw. dezentrale leistungsfähige Wasseraufbereitungsverfahren zusammen mit hoch-effizienter Wassernutzung und der Nutzung von Regenwasser ermöglichen wasserautarke Wohnhäuser oder Wohnviertel ohne Anschluss an zentrale Trinkwasserversorgung (These 5*)				
Realisierungs- zeitraum	Marktpotenzial			Technologie- führer
	Größe	Zielländer	Klima	
2050	eher klein	Industrie und Schwellenländer	arid/humide bzw. aride Regionen	Deutschland und Europa

Eine autarke Versorgung mit Wasser kann neben der Nutzung von Regenwasser durch die Gewinnung von Trinkwasser aus der Luft unterstützt werden. Innovative Verfahren zur Trinkwassergewinnung aus der Luft zielen auf den Einsatz neu entwickelter, an die jeweiligen klimatischen Verhältnisse angepasster Adsorbentien ab, die gemeinsam mit der heute bereits weit verbreiteten Kondensation eine breitere Diffusion der dezentralen Trinkwasserversorgung ermöglichen (These 1). Offensichtlich sehen die Experten auch in diesem Fall allenfalls auf lange Sicht ein kleines Potenzial.

Die Gewinnung von Trinkwasser aus der Luft mit Hilfe neu entwickelter, an die jeweiligen klimatischen Verhältnisse angepasster Adsorbentien ermöglicht zusammen mit der heute bereits weit verbreiteten Kondensation eine breite Anwendung der dezentralen Trinkwasserversorgung (These 1)				
Realisierungs- zeitraum	Marktpotenzial			Technologie- führer
	Größe	Zielländer	Klima	
2050	klein	Entwicklungs- und Schwellenländer	aride Regionen	Deutschland und Europa, Nordamerika, Südostasien

4.2.1.2 Meerwasserentsalzung

Neben der Nutzung von Regen- und Grauwasser als Wasserressource wird in zunehmendem Maße entsalztes Meerwasser für die Wasserversorgung privater Haushalte, der Industrie und der Landwirtschaft genutzt. Anlagen zur Meerwasserentsalzung werden heute im großtechnischen Maßstab betrieben. Der Betrieb dieser Anlagen ist mit einem hohen energetischen Aufwand verbunden und technisch anspruchsvoll.

In der aktuellen Forschung und Entwicklung werden hinsichtlich des Energieaufwands zwei Verbesserungen angestrebt. Zum einen geht es um die Erhöhung der Energieeffizienz von Umkehrosmoseanlagen, die eine Meerwasserentsalzung auf der Basis regenerativer Energiequellen ermöglicht (These 6). Hier sehen die befragten Experten mittelfristig ein großes Marktpotenzial insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern arider Regionen. Aber auch in Industrienationen sehen die Experten durchaus Zielländer energieeffizienter Meerwasserentsalzungsanlagen.

Die Erhöhung der Energieeffizienz von Umkehrosmoseanlagen ermöglicht die Meerwasserentsalzung in ariden Ländern auf der Basis regenerativer Energiequellen (These 6)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Industrieländer	aride Regionen	Europa, Deutschland und Nordamerika

Zum anderen geht es um die Nutzung bisher ungenutzter Energiequellen, bspw. der Abwärme aus Kraftwerken zur Meerwasserentsalzung durch Niedertemperatur-Vakuum-Verdampfung, wodurch der Verbrauch von Primärenergie reduziert werden kann (These 6+). Auch hier schätzen die Experten die Größe des Marktpotenzials für die bereits genannten Zielländer kurz- bis mittelfristig als groß ein. Allerdings ist dieses Ergebnis mit Unsicherheit behaftet, weil nur eine kleine Zahl von fachkundigen Experten diese These bewertete (vgl. Abb. 1).

Meerwasserentsalzungsanlagen mit Niedertemperatur-Vakuum-Verdampfung unter Nutzung von Abwärme z. B. aus Kraftwerken stellen eine nachhaltige Technologie der Meerwasserentsalzung dar, da keine Primärenergie benötigt wird (These 6+)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2015-2030	mittel bis groß	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Industrieländer	aride Regionen	Deutschland und Europa, Nordamerika

Neben der Frage einer verbesserten Energieeffizienz bzw. -nutzung spielen Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte beim Verbleib des Entsalzungsretentats eine große Rolle. In diesem Zusammenhang können abwasserfreie Meerwasserentsalzungsanlagen die Verwertung der festen Filtrationsrückstände nach einer Konditionierung ermöglichen. Zu beseitigende Rückstände bilden dann den kleineren Rest. Dadurch entfällt die Ableitung umweltbelastender Konzentrate (These 7). Den Realisierungszeitraum für solche abwasserfreien Meerwasserentsalzungsanlagen sehen die Experten allerdings nur mittel- bis langfristig, wobei die Größe des Marktpotenzials durchaus als groß eingeschätzt wird. Als Zielländer werden insbesondere Schwellenländer arider Regionen genannt. Die Technologieführerschaft liegt bei europäischen respektive deutschen Unternehmen. Auch hier ist die Einschätzung wegen der kleinen Zahl sehr fachkundiger Experten als etwas unsicher anzusehen.

Es werden abwasserfreie Meerwasserentsalzungsanlagen entwickelt, bei denen die festen Rückstände der Filtration nach einer Konditionierung überwiegend verwertet werden. Als Abfall zu beseitigende Rückstände bilden den kleineren Rest. Dadurch entfällt die Ableitung umweltbelastender Konzentrate (These 7)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 bis 2050	mittel bis groß	insbes. Schwellen- aber auch Industrie- und Entwicklungsländer	aride Regionen	Europa, Deutschland und Nordamerika

Der überwiegende Teil der heutigen Meerwasserentsalzungsanlagen wird im großtechnischen Maßstab betrieben. Das dabei gewonnene Trinkwasser wird zentral an die Verbraucher weitergeleitet. Gegenwärtig sind jedoch auch kleinere Anlagen zur Meerwasserentsalzung auf dem Markt verfügbar, die einen semi- bzw. dezentralen Betrieb ermöglichen. Zu einer allgemeinen Verwendung solcher Kompaktanlagen für die Meerwasserentsalzung kommt es, so These 7+, wenn sie weiter optimiert und in Serienproduktion hergestellt werden. Nach Einschätzung der Experten kann dies bereits kurz- bis mittelfristig realisiert werden, wobei sie ein mittleres bis großes Marktpotenzial sehen. Als Zielländer werden vorwiegend Schwellenländer in ariden und arid-humiden Regionen gesehen. Die Technologieführerschaft messen die Experten deutschen und europäischen Unternehmen zu, eine gewisse Rolle wird aber auch bei nordamerikanischen sowie südostasiatischen Technologieherstellern gesehen.

Durch Optimierung und Serienproduktion werden Kompaktanlagen zur semizentralen Meerwasserentsalzung allgemein verwendet (These 7+)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2015 bis 2030	mittel bis groß	insbes. Schwellen- und Entwicklungsländer, aber auch Industrieländer	aride und aride/humide Regionen	insbes. Deutschland und Europa, aber auch Nordamerika und Südostasien

4.2.1.3 Grundwasser

Neben den innovativen Rohwasserquellen Grauwasser und Regenwasser ist Grundwasser auch weiterhin eine wichtige konventionelle Ressource der Trinkwassergewinnung. In Regionen, in denen Trinkwasser aus Grundwasser gewonnen wird, stellt neben der Übernutzung der Grundwasserressourcen die Verunreinigung der Grundwasserleiter ein massives Problem in der Trinkwasserversorgung dar. Im vorliegenden Themenfeld liegt der Fokus daher auf der Quantifizierung von Schadstoffgehalten im Boden und Grundwasser, die dabei helfen soll, Grundwasserleiter auch zukünftig, ggf.

nach erforderlichen Sanierungen, für die Trinkwassergewinnung zu erhalten. Dabei kommen zunehmend innovative Verfahren zum Einsatz, und es wird erwartet, dass zukünftig direkt anzeigende (Online-)Messsysteme die klassischen Labormethoden zur Quantifizierung von Schadstoffgehalten in Boden und Grundwasser weitestgehend ersetzen (These 8). Die befragten Experten sehen eine solche Substitution mittelfristig, schätzen das Marktpotenzial dieser Messsysteme allerdings tendenziell klein ein.

Direktanzeigende (Online-)Messsysteme (z. B. Rapid Optical Screening Tool und direkt anzeigende Gaschromatographie) ersetzen weitestgehend die klassischen Labormethoden zur Quantifizierung von Schadstoffgehalten im Boden und Grundwasser (These 8)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	klein bis mittel	insbes. Industrieländer; auch Schwellenländer und Osteuropa	aride/humide bzw. humide Regionen	insbes. Deutschland und Nordamerika; übriges Europa

Wurde nach einer Grundwasseranalyse eine Verunreinigung festgestellt, so muss zur Erhaltung und Rehabilitation der Grundwasserressourcen eine Schadstoffbehandlung vorgenommen werden. Der in-situ-Einsatz von reaktiven Materialien ermöglicht dabei eine gezielte Reduktion von Schadstoffen in Schadensbereichen im Grundwasser (These 9). Den Realisierungszeitraum für den Einsatz solcher Materialien schätzen die Experten tendenziell kurzfristig ein mit einem mittleren Marktpotenzial in Industrie- aber auch in Schwellenländern. Insbesondere Deutschland und Nordamerika werden in diesem Zusammenhang als Technologieführer benannt.⁵

Der in-situ-Einsatz von reaktiven Materialien (z. B. Katalysatoren in Verbindung mit Nanomaterialien) ermöglicht eine gezielte Reduktion von Schadstoffen (z. B. CKWs) in Schadensbereichen im Grundwasser (These 9)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 und früher	mittel	insbes. Industrieländer; auch Schwellenländer und Osteuropa	aride/humide bzw. humide Regionen	insbes. Deutschland und Nordamerika; übriges Europa

Die Rehabilitation von Böden und Grundwasserleitern kann sich insbesondere dann als problematisch erweisen, wenn die Zusammensetzung der Schadstofffrachten im Zeit-

⁵ Im Gegensatz zu den deutschen Experten sehen die ausländischen Experten die Technologieführerschaft im Bereich der Grundwassersanierung vorrangig beim übrigen Europa und Nordamerika

verlauf wechselt oder stark schwankende Schadstoffkonzentrationen vorliegen. Neuere Prinzipien der Boden- und Grundwassersanierung, bei denen unterschiedliche technische Verfahren in flexibler Kombination durch modulare Bauweise zum Einsatz kommen, erlauben die zielgerichtete on-site-Behandlung solcher Schadstoffverunreinigungen (These 10*). Auch hier sehen die Experten die Möglichkeit einer tendenziell kurzfristigen Realisierung bei einem mittleren Marktpotenzial insbesondere in Industrie- und Schwellenländern. Als mögliche Technologieführer werden ebenfalls Deutschland und Nordamerika, aber auch das übrige Europa genannt.

Die flexible Kombination unterschiedlicher technischer Verfahren zur zielgerichteten on-site-Behandlung schadstoffbelasteter Grundwässer in modularer Bauweise wird so weiterentwickelt, dass sie bei wechselnder Zusammensetzung und stark schwankenden Konzentrationen von nicht von vorneherein vollständig bekannten Schadstoffströmen zum Einsatz kommt ("Treatment Train" Prinzip) (These 10*)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 und früher	mittel bis groß	insbes. Industrieländer; auch Osteuropa und Schwellenländer	aride/humide bzw. humide Regionen	Deutschland und Nordamerika

4.2.2 Abwasserbeseitigung und -behandlung

4.2.2.1 Kanalisation

Die Entstehung und Entwicklung der heute in den Industrieländern betriebenen zentralen Infrastruktursysteme der Wasserver- und Abwasserentsorgung begann Mitte des 19. Jahrhunderts. Zweifelsohne trugen der Bau und die Ausdehnung dieser Wasserinfrastruktursysteme zu deutlichen Verbesserungen der damaligen Lebensumstände und hygienischen Grundbedingungen bei. Nach Erweiterungen um Anlagen der Abwasseraufbereitung konnte drängenden ökologische Problemen wie massiven Verunreinigungen von Oberflächengewässern und Böden entgegengewirkt werden. Heute zeigt sich allerdings, dass diese konventionellen, zentral ausgerichteten Wasserinfrastruktursysteme zahlreiche Probleme aufwerfen. Beispielhaft sei hier die Vermischung von häuslichen und industriell-gewerblichen Abwässern genannt, die einer unterschiedlichen Aufbereitung bedürften. Problematisch sind außerdem die enormen Investitionssummen, die von Seiten der Wasser- und Abwasserentsorger in die Rehabilitation der Wasserinfrastruktur investiert werden mussten. Auch zukünftig werden Aspekte der Teilstrombehandlung sowie der Sanierung und Instandhaltung bei der Bewirtschaftung und dem Betrieb der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme eine wichtige Rolle spielen.

Bei Rohrleitungsbau- und Sanierungsmaßnahmen kommen bereits heute grabenlose Rohrleitungsbau- und Sanierungsverfahren zum Einsatz. Die Weiterentwicklung dieser Verfahren ermöglicht den standardmäßigen Einsatz beim Neubau aller Infrastrukturleitungen (These 12). Diese Möglichkeit sehen die Experten relativ kurzfristig realisiert. Zudem wird das Marktpotenzial in Industrieländern, aber auch in Osteuropa sowie in Schwellenländern hoch eingeschätzt. Als Technologieführer sehen die Experten Deutschland und andere europäische Länder vorn.⁶

Gabenlose Rohrleitungsbau- und -sanierungsverfahren werden weiterentwickelt und beim Neubau aller Infrastrukturleitungen standardmäßig eingesetzt (These 12)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 und früher	groß	Industrieländer; auch Osteuropa und Schwellenländer	aride/humide bzw. humide Regionen	insbes. Deutschland; Europa

Eine neuere Entwicklung im Bereich des Rohrleitungsbaus sind vorgefertigte Infrastrukturkanäle mit begehbaren Schächten, in die Leitungen mittels Winden eingezogen werden können. Vor dem Hintergrund der hohen Investitionssummen, die in den letzten Jahren von Seiten der Wasser- und Abwasserentsorger in die Rehabilitation der Wasserinfrastruktur investiert wurden, sind diese Kanäle vorteilhaft, da sie Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen ohne fortwährende und kostspielige Eingriffe in die Straßensubstanz ermöglichen. In Deutschland gibt es derzeit eine Anwendung dieser innovativen Infrastrukturkanäle, an der Realisierung dieser Technologie wird weitergearbeitet. In Zukunft, so These 13, werden solche vorgefertigten Infrastrukturkanäle standardmäßig sowohl bei der Neuerschließung wie auch im Zuge der Sanierung und Modernisierung von größeren leitungsgebundenen Ver- und Entsorgungsleitungen eingesetzt. Dafür sehen die Experten jedoch einen langfristigen Realisierungszeitraum bei einem nur kleinen bis mittleren Marktpotenzial. Zielländer für vorgefertigte Infrastrukturkanäle sind nach Meinung der Experten insbesondere Industrieländer, in denen bereits zentrale Infrastruktursysteme installiert sind, aber auch Länder in Osteuropa werden als potenzielle Importeure dieser Technologie genannt.

⁶ Im Bereich der Kanalisationen liegen den ausländischen Experten zufolge das übrige Europa und teilweise auch Nordamerika noch vor Deutschland.

Vorgefertigte Infrastrukturkanäle mit begehbaren Schächten, in die Leitungen mittels Winden eingezogen werden können, werden standardmäßig sowohl bei der Neuerschließung wie auch im Zuge der Sanierung und Modernisierung von größeren leitungsgebundenen Ver- und Entsorgungsleitungen eingesetzt (These 13)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2050	klein bis mittel	insbes. Industrieländer; auch Osteuropa; Schwellenländer in geringem Umfang	aride/humide bzw. humide Regionen	insbes. Deutschland; Europa

Die Herausforderungen des konventionellen Wasserinfrastruktursystems, die aus der Vermischung von häuslichem und industriell-gewerblichen Abwasser erwachsen, werfen die Frage auf, ob die heute existierenden Mischkanalisationssysteme nach einer Übergangszeit vollständig durch Trennsysteme ersetzt werden, bei denen das Regenwasser dezentral oder semizentral gesammelt, aufbereitet und versickert bzw. in Gewässer eingeleitet wird (These 11). Die Einschätzung der Experten ist hier zweideutig. So sehen sie zwar in der Substitution der Mischkanalisation durch Trennsysteme ein großes Marktpotenzial. Dessen Realisierungszeitraum ist aber langfristig angesetzt bzw. es wird nicht von einer Realisierung ausgegangen.

Mischkanalisationssysteme werden nach einer Übergangszeit vollständig durch Trennsysteme ersetzt, bei denen das Regenwasser dezentral oder semidezentral gesammelt, aufbereitet und versickert bzw. in Gewässer eingeleitet wird (These 11)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2050 / nie	groß	insbes. Industrieländer; auch Osteuropa und Schwellenländer	aride/humide bzw. humide Regionen	insbes. Deutschland; Europa

4.2.2.2 Abwasserbehandlung

An die Abwasserableitung sollte sich i. d. R. eine Abwasserbehandlung anschließen. Diese wird heute überwiegend in zentralen Kläranlagen mit Belebtschlammverfahren als zentralem Reinigungselement durchgeführt. Dieses Verfahren weist einen hohen Energiebedarf für die Belüftung und ein hohes Aufkommen an Klärschlamm auf, der wiederum mit teilweise hohem Aufwand entsorgt werden muss. Als Alternative dazu bieten sich neue Verfahren zur anaeroben Abwasserreinigung an, die aufgrund ihrer positiven Energiebilanz und ihres geringeren Klärschlammaufkommens geeignet sein könnten, die konventionellen aeroben Verfahren der Abwasserbehandlung zu verdrängen (These 14). Die Experten räumen dieser Möglichkeit der Substitution erst mittel-

bis langfristig ein mäßiges Potenzial ein, wobei vor allem Industrieländer als Zielländer gesehen werden.

Neue Verfahren zur anaeroben Abwasserreinigung verdrängen aufgrund ihrer positiven Energiebilanz und ihres geringeren Klärschlammaufkommens konventionelle aerobe Verfahren der Abwasserbehandlung (These 14)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 bis 2050	mittel	insbes. Industrieländer; Schwellenländer, Osteuropa, Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	Deutschland und Europa

Aufgrund der besseren Möglichkeiten zur Rückhaltung von Mikro-Schadstoffen, der besseren Hygienisierung des Kläranlagenablaufs und der Möglichkeit zum Einsatz leistungsfähiger biologischer Verfahren könnten vermehrt membranbasierte Kläranlagen eingesetzt werden (These 15). Den Experten zufolge ist das Potenzial dafür, dass die Membranfiltration zum Standardverfahren in kommunalen Kläranlagen wird, mittel- bis längerfristig vor allem in weiterentwickelten Regionen groß.

Wegen ihrer besseren Rückhaltewirkung, der besseren Hygienisierung des Ablaufs und der Möglichkeit zum Einsatz leistungsfähigerer biologischer Verfahren werden membranbasierte Kläranlagen zum Standardverfahren im kommunalen Bereich (These 15)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 bis 2050	groß	insbes. Industrieländer; auch Osteuropa, Schwellen- und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	insbes. Deutschland auch Europa und Nordamerika

Der Behandlung von Mikro-Schadstoffen wird zukünftig eine immer größere Bedeutung zufallen. Verfahren zur Entfernung unerwünschter Spurenstoffen aus dem Abwasser (unter Einbeziehung von z. B. Advanced Oxidation Processes oder der Ultrafiltration) könnten mit Vorrang weiterentwickelt und standardmäßig in der Abwasserreinigung eingesetzt werden (These 19). Schon mittelfristig wird sich hier nach Meinung der Experten ein großes Potenzial vor allem in Industrie- und Schwellenländern, aber auch in Entwicklungsländern eröffnen. Vor allem Deutschland übernimmt offensichtlich die Führungsrolle in dieser Technologiesparte.⁷

⁷ Bei der Abwasserbehandlung sehen auch die ausländischen Experten das übrige Europa vor Deutschland. Auch Nordamerika spielt hier (insbesondere bei den Thesen 15 und 18*) eine nennenswerte Rolle.

Verfahren zur Entfernung unerwünschter Spurenstoffe aus dem Abwasser (unter Einbeziehung von z. B. Aktivkohle, Advanced Oxidation Processes, Ultrafiltration) werden mit Vorrang weiterentwickelt und standardmäßig in der Abwasserreinigung eingesetzt (These 19)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	insbes. Industrieländer; auch Osteuropa sowie Schwellen- und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	insbes. Deutschland; Europa und Nordamerika

Weiterentwicklungen bei dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen zielen auf deren zentrale Überwachung und Steuerung ab. Eine mangelhafte Wartung bzw. ein fehlerhafter Betrieb können zu einer unzureichenden Reinigungsleistung der Kleinkläranlagen führen, weshalb eine externe Wartung und Kontrolle durch qualifiziertes Personal notwendig ist. Diese verursacht heute aber einen wesentlichen Teil der Kosten und stellt damit einen Hemmfaktor bei der Verbreitung dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen dar. Insbesondere die Weiterentwicklung robuster und kostengünstiger Sensoren ermöglichen die zentrale Überwachung und Steuerung dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen hinsichtlich ihrer Reinigungsleistung und Betriebszustände. Dadurch, so These 16, werden die Betriebssicherheit und Ablaufqualität der Anlagen entscheidend verbessert und die Kosten für Wartung und Betrieb gesenkt. Hier sehen die befragten Experten mittelfristig ein relativ großes Marktpotenzial insbesondere in Industrieländern, aber auch in Osteuropa sowie in Schwellen- und Entwicklungsländern. Die Technologieführerschaft liegt nach Einschätzung der Experten bei Deutschland und anderen europäischen Ländern.

Robuste und kostengünstige Sensoren werden entwickelt, mit deren Hilfe dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen hinsichtlich der Reinigungsleistung direkt zentral überwacht und ihre Betriebszustände zentral beeinflusst werden können. Dadurch werden die Betriebssicherheit und Ablaufqualität der Anlagen entscheidend verbessert und die Kosten für Wartung und Betrieb gesenkt (These 16)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa, Schwellen- und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	insbes. Deutschland und Europa

Insbesondere in ländlichen Regionen, in denen keine zentralen Wasserinfrastruktursysteme existieren und in denen der Bau solcher Infrastrukturen aus Kostengründen auch mittel- bis langfristig nicht vorgesehen ist, kann durch die Nutzung dezentraler Kleinkläranlagen eine angemessene Abwasserentsorgung erfolgen. Zudem sind Kleinkläranlagen gegenüber demografischen und klimatischen Veränderungen flexibler anpassbar. Allerdings weisen insbesondere private Haushalte tendenziell Hemmnisse

bzgl. des eigenverantwortlichen Betriebs von Kleinkläranlagen auf. Durch technische und insbesondere durch organisatorische Innovationen (z. B. neue Betreibermodelle), so These 17, sollen in ländlichen Gebieten verstärkt semi- bzw. dezentrale Abwasserinfrastrukturen installiert und betrieben werden. Die Diffusion von Kleinkläranlagen in ländlichen Gebieten Osteuropas schätzen die Experten unter diesen Bedingungen mittelfristig mit einem großen Marktpotenzial ein, das ihrer Meinung zufolge insbesondere deutsche und andere europäische Unternehmen für sich nutzen werden.

Auf Grund der größeren Flexibilität hinsichtlich demografischer und klimatischer Veränderungen und nach Lösung verbleibender Probleme mit Hilfe technischer und organisatorischer Innovationen (z. B. neue Betreibermodelle) gibt es in ländlichen Gebieten einen allgemeinen Trend zu semi- bzw. dezentralen Abwasserinfrastrukturen (These 17)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	Osteuropa, Industrieländer sowie Schwellen- und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	insbes. Deutschland; Europa

Auch in urbanen Ballungsräumen, in denen zentrale Wasserinfrastruktursysteme bereits installiert sind, kann der Einsatz dezentraler Abwasseraufbereitungsanlagen Vorteile bringen. Kleinkläranlagen bieten hier die Möglichkeit einer differenzierten Stoffstrombehandlung. Daher, so These 18*, zeichnet sich ein Trend zu de- bzw. semizentralen Abwasserinfrastrukturen auch für urbane Ballungsräume ab. Wie für die ländlichen Regionen so sehen die befragten Experten auch für den Einsatz de- bzw. semizentraler Abwasserbehandlungsanlagen in urbanen Räumen mittelfristig ein großes Marktpotenzial für deutsche und andere europäische Unternehmen. Als Nutzer dieser Technologie werden in diesem Zusammenhang vor allem die urbanen Ballungszentren in Industrie- und Entwicklungsländern gesehen.

Nicht nur wegen der größeren Flexibilität, sondern auch wegen der Möglichkeit einer differenzierteren Stoffstrombehandlung zeichnet sich ein Trend zu semi- bzw. dezentralen Abwasserinfrastrukturen auch für urbane Ballungsräume ab (These 18*)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	Industrie- und Schwellenländer, auch Osteuropa und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	insbes. Deutschland; Europa

4.2.3 Rückgewinnung von Ressourcen aus Abwasser

4.2.3.1 Energie aus Abwasser

In Zeiten steigender Energiepreise steht die Abwasserableitung und -reinigung auch in enger Verbindung zur Wiedernutzung von im Abwasser enthaltener Energie. Beispielhaft kann hier die Nutzung von Abwärme aus Abwasser genannt werden.

Im Zusammenhang mit Pflanzenkläranlagen bietet sich darüber hinaus die Möglichkeit einer Kombination aus Abwasserreinigung und Biomasseproduktion energiereicher Kulturpflanzen an. Dabei können, der These 20 entsprechend, das Abwasser sowie die darin enthaltenen Nährstoffe einen Betrag zur Erzeugung erneuerbarer Ressourcen leisten. Der Realisierungszeitraum dafür wird von den befragten Experten als mittelfristig eingeschätzt, wobei ein großes Marktpotenzial erwartet wird. Als Anwender einer Biomasseproduktion in Pflanzenkläranlagen werden insbesondere Schwellen- und Entwicklungsländer arid-humider Regionen gesehen. Als Technologieführer werden insbesondere deutsche und andere europäische Unternehmen genannt.⁸

Pflanzenkläranlagen werden dahingehend weiterentwickelt, dass sie die Abwasserreinigung mit der Biomasseproduktion energiereicher Kulturpflanzen verbinden. Das Abwasser (und darin enthaltene Nährstoffe) trägt damit zur Erzeugung erneuerbarer Ressourcen bei (These 20)

Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	klein bis groß	Schwellen- und Entwicklungsländer sowie Osteuropa, auch Industrieländer	arid-humide Regionen	insbes. Deutschland und Europa; Nordamerika, Südostasien ähnlich

Eine andere Möglichkeit, Energie im Zusammenhang mit der Abwasserreinigung zu nutzen, ist die Verbrennung von Klärgas. Dies wird heute bereits in großem Umfang umgesetzt. Eine relativ neue Entwicklung zeichnet sich dagegen in der bereits erwähnten Rückgewinnung der im Abwasser enthaltenen Wärmeenergie ab. Dabei wird mit Hilfe von Wärmetauschern und Wärmepumpen in der Kanalisation Wärmeenergie zurückgewonnen und zur Beheizung von Gebäuden und zur Warmwasserbereitung genutzt (These 25). Hierfür erwarten die Experten mittelfristig ein relativ großes Marktpotenzial vor allem in Industrieländern sowie in osteuropäischen Ländern, das nach ihrer Einschätzung von europäischen Unternehmen abgeschöpft wird.

⁸ Ebenso wie im übrigen Bereich der Energiegewinnung aus Abwasser sehen ausländische Experten auch hier europäische Unternehmen vor den deutschen.

In der Mehrzahl der Städte wird ein nennenswerter Teil der im Abwasser enthaltenen Wärmeenergie in der Kanalisation mit Hilfe von Wärmetauschern und Wärmepumpen zurückgewonnen und zur Beheizung von Gebäuden und zur Warmwasserbereitung genutzt (These 25)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, aber auch Osteuropa und Schwellenländer sowie Entwicklungsländer	aride/humide bzw. humide Regionen	Europa und auch Deutschland

Darüber hinaus ist die Rückgewinnung von Wärmeenergie in großem Umfang auch dezentral auf der Ebene einzelner größerer Gebäude (z. B. Hotels, Krankenhäuser) vorstellbar. Dabei wird die zurückgewonnene Wärmeenergie bspw. für die Erwärmung von Frisch- oder Brauchwasser genutzt (These 26). Auch hier sehen die Experten mittelfristig ein zumindest mittleres Marktpotenzial für europäische Unternehmen.

Wärmerückgewinnung aus Abwasser wird in großem Umfang auch dezentral innerhalb von (größeren) Gebäuden (z. B. Hotels, Krankenhäuser) praktiziert und bspw. für die Erwärmung von Frisch- oder Brauchwasser genutzt (These 26)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	mittel	insbes. Industrieländer, aber auch Osteuropa, Schwellenländer sowie Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	Europa und Deutschland

Besonders visionär ist die Gewinnung von elektrischer Energie aus der chemischen Energie des Abwassers. Dazu, so These 27, werden mikrobielle Brennstoffzellen weiterentwickelt und an Siedlungswasser adaptiert, so dass elektrische Energie direkt aus dem Abwasser gewonnen werden kann. Die Möglichkeiten einer Realisierung dieser Vision sehen die befragten Experten jedoch - wenn überhaupt - nur langfristig, wobei sie wiederum das Marktpotenzial eher groß einschätzen. Technologieführer solcher mikrobieller Brennstoffzellen sind ihrer Meinung nach europäische sowie nordamerikanische Unternehmen. Die Umsetzung sehen sie vor allem in Industrieländern.

Mikrobielle Brennstoffzellen werden weiterentwickelt und können so weit an Siedlungsabwasser adaptiert werden, dass elektrische Energie direkt aus dem Abwasser gewonnen werden kann (These 27)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2050 bis nie	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, aber auch Osteuropa und Schwellenländer sowie Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	Europa sowie Nordamerika und Deutschland

4.2.3.2 Dünger aus Abwasser

Neben der Nutzung von Energie aus Abwasser wird auch mit zunehmender Ressourcenknappheit die Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff immer interessanter. Technische Anlagen und Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Abwasser werden derzeit im Labormaßstab bzw. im halbtechnischen Maßstab erprobt. Für die Phosphorrückgewinnung aus Prozesswässern der Schlammbehandlung und aus entwässertem Klärschlamm stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die z. T. großtechnisch umgesetzt wurden. Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Asche wurden ebenfalls bislang nur im Labor bzw. im halbtechnischen Maßstab erprobt. Durch die Erfahrungen und Weiterentwicklungen dieser Pilotanlagen, so These 21, können zukünftig als Dünger verwendbare Phosphate aus dem Nebenstrom zentraler Abwasserbehandlungsanlagen sowie aus deren Klärschlämmen verbreitet zurückgewonnen werden. Die Düngergewinnung aus Abwasser sehen die befragten Experten mittelfristig mit einem relativ hohen Marktpotenzial.

Verbreitet werden als Dünger verwendbare Phosphate aus dem Nebenstrom zentraler Abwasserbehandlungsanlagen sowie aus deren Klärschlämmen (und Klärschlammaschen) zurückgewonnen (These 21)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß bis mittel	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	Deutschland und Europa

Auch Stickstoff ist ein Rohstoff zur Düngemittelherstellung. Er ist in der Luft in fast unbegrenztem Umfang verfügbar, muss allerdings zur Nutzung mit hohem Energieaufwand fixiert werden. In Zeiten steigender Energiepreise wird daher die Rückgewinnung von Stickstoffverbindungen aus Abwasser ebenfalls interessant. Vor diesem Hintergrund wäre es denkbar, dass die Rückgewinnung des im Abwasser enthaltenen Stickstoffs als Düngemittelkomponente verbreitet zur Anwendung gelangt (These 22). Tatsächlich gehen die befragten Experten nur mittel- bis langfristig von der Umsetzung dieser Idee aus und räumen ihr nur ein mittleres Potenzial vor allem innerhalb der Industrieländer ein.

Die Rückgewinnung des im Abwasser enthaltenen Stickstoffs als Düngemittelkomponente gelangt verbreitet zur Anwendung (These 22)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 bis 2050	mittel	insbes. Industrieländer, aber auch Schwellenländer, Osteuropa und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	Deutschland und Europa

Als Technologieführer sehen deutsche Experten in den beiden Fällen deutsche Unternehmen, ausländische Experten hingegen andere europäische Unternehmen.

Die Nährstoffrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm bzw. -asche ist aus Sicht des Technik- und Ressourceneinsatzes aufwendig, bei der üblichen zentralen Sammlung von Mischabwässern aber unumgänglich. Alternativ dazu würde die Rückgewinnung der Nährstoffe erheblich vereinfacht, wenn die Abwasserteilströme von Anfang an nicht vermischt würden. Anstelle der aufwändigen Extraktion von Nährstoffen aus Klärschlamm würden dabei Stoffströme im Rahmen semi- bzw. dezentraler Behandlung so aufbereitet, dass Teile davon in der Landwirtschaft uneingeschränkt und unmittelbar als Dünger verwendet werden können (These 23). Die Einschätzung der Experten gleicht derjenigen für die vorangegangene These (22).

Anstelle der aufwändigen Extraktion von Nährstoffen aus Klärschlamm werden im Rahmen dezentraler und semizentraler Abwasserbehandlung Stoffströme so getrennt, dass Teile davon in der Landwirtschaft uneingeschränkt und unmittelbar als Düngemittel verwendet werden können (These 23)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030 bis 2050	mittel	Schwellen- und Entwicklungsländer; aber auch Osteuropa und Industrieländer	aride/humide Regionen	Europa und Deutschland

Eine der einfachsten Formen der Teilstrombehandlung und Nährstoffrückgewinnung ist die separate Sammlung und Aufbereitung von Urin zu Dünger, die bereits seit einigen Jahren entwickelt sind. Als problematisch erweisen sich dabei allerdings Struvit-Ablagerungen an Rohrleitungen und Ventilen, die die Funktion der Aufbereitung beeinträchtigen. Durch neuartige Beschichtungen könnte es gelingen, die Ablagerung von Struvit in Rohrleitungen und Ventilen zu verhindern. Die getrennte Sammlung von Urin in neuen und kernsanierten Gebäuden würde dadurch weite Verbreitung (These 24) finden. Hier sehen die Experten allerdings nicht nur einen sehr langfristigen Realisierungszeitraum sondern auch ein nur geringes Marktpotenzial.

Durch neuartige Beschichtungen gelingt es, die Ablagerung von Struvit (Magnesiumammoniumphosphat) in Rohrleitungen und Ventilen zu verhindern, wodurch die getrennte Sammlung von Urin (Gelbwasser) in neuen und kernsanierten Gebäuden weite Verbreitung findet (These 24)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2050	klein	Industrieländer, aber auch Schwellenländer, Osteuropa und Entwicklungsländer	aride/humide Regionen	Europa und Deutschland

4.2.4 Bewässerung

Ein großes Anwendungspotenzial von aufbereitetem Abwasser liegt in der Landwirtschaft für Bewässerungszwecke. Da die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe hier als Dünger wirken können, stellt es ein ressourcenschonendes Vorgehen dar, das Abwasser nur so weit zu reinigen (z. B. durch Hygienisierung) wie es für die jeweilige Anwendung notwendig ist. Der These 31+ entsprechend findet Abwasser, in dem nach geeigneter Teilreinigung bzw. Hygienisierung beispielsweise durch Membranfiltration oder UV-Bestrahlung Nährstoffe als Dünger verbleiben, breite Verwendung bei der Bewässerung in der Landwirtschaft. Die Experten sehen hier ein relativ großes, kurz- bis mittelfristiges Umsetzungspotenzial insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern arider bzw. arid-humider Regionen.

Abwasser, in dem nach geeigneter Teilreinigung bzw. Hygienisierung beispielsweise durch Membranfiltration oder UV-Bestrahlung Nährstoffe als Dünger verbleiben, findet in der Landwirtschaft zur Bewässerung breite Verwendung (These31+)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2015 bis 2030	groß bis mittel	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Osteuropa und Industrieländer	aride bzw. aride/humide Regionen	Deutschland, Europa und Nordamerika

Neben der Verfügbarkeit von Bewässerungswasser ist die Vermeidung der Versalzung von Böden vielerorts eine große Herausforderung in der Landwirtschaft. Die Verwendung von entsalztem Bewässerungswasser kann helfen, diesem Problem entgegenzuwirken. These 31 unterstellt, dass die Entsalzung von Bewässerungswasser aus (mäßig) versalzten Flüssen oder Grundwasserleitern in großem Umfang praktiziert wird, um die Versalzung der Böden zu verhindern. Die Experten gehen davon aus, dass sich hier in ariden Regionen vor allem in Schwellenländern mittelfristig ein mittelgroßes Potenzial eröffnet, von dem hauptsächlich die nordamerikanische Industrie zu profitieren vermag.

Die Entsalzung von Bewässerungswasser aus (mäßig) versalzten Flüssen oder Grundwasserleitern wird in großem Umfang praktiziert, um die Versalzung der Böden zu verhindern (These31)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	mittel	insbes. Schwellenländer; aber auch Entwicklungs- sowie Industrieländer und Osteuropa	aride Regionen	Nordamerika, Andere, Europäische Union

Der effiziente Umgang mit Wasser genießt aus Sicht der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft höchste Priorität. Eine der effizientesten Bewässerungstechniken stellt die Tröpfchenbewässerung dar, die allerdings bislang überwiegend im Agrarsektor entwickelter Länder zum Einsatz kommt. Dabei ist, wie auch die Experten feststellen, gerade für Schwellen- und Entwicklungsländer arider Regionen eine wasser- sowie energieeffiziente Bewässerungstechnik in der Landwirtschaft von großem Interesse. Daher ist zu erwarten, dass sich die bedarfsgerechte Tröpfchenbewässerung als das wasser- und energieeffizienteste Verfahren mittelfristig zum Standard entwickeln wird mit dem Potenzial zum Betrieb durch regenerative Energiequellen in der Bewässerungslandwirtschaft (These 29).

Die (bedarfsgerechte) Tröpfchenbewässerung als das wasser- und energieeffizienteste Verfahren (mit dem Potenzial zum Betrieb mittels regenerativer Energiequellen) entwickelt sich in der Bewässerungslandwirtschaft zum Standard (These 29)

Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologie-führer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Osteuropa und Industrieländer	aride Regionen	Andere Länder, Europäische Union, Nordamerika

Der Umgang mit Wasser in der Landwirtschaft könnte dadurch noch effizienter gestaltet werden, dass mit Hilfe moderner Mess- und Regeltechnik den Anbaukulturen nur so viel Wasser zugeführt wird, wie tatsächlich erforderlich ist. Es wäre also ggf. zu erwarten, dass bei einem großen Teil der weltweiten Bewässerungsfläche die Bewässerung über Sensoren gesteuert wird, die die aktuelle Bodenfeuchte dem Wasserbedarf der jeweiligen Anbaukultur anpassen (These 28). Auch hier sehen die Experten ein großes Marktpotenzial in Schwellen- aber auch in Industrieländern, das mittelfristig insbesondere von nordamerikanischen Unternehmen ausgeschöpft werden kann.

Bei einem großen Teil der weltweiten Bewässerungsflächen wird die Bewässerung über Sensoren gesteuert, die die aktuelle Bodenfeuchte dem Wasserbedarf der jeweiligen Anbaukultur anpassen (These 28)

Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologie-führer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	Schwellen- und Industrieländer, auch Entwicklungsländer und Osteuropa	arid-humide bis humide Regionen	Nordamerika und andere

Nicht allein die effiziente Wasserversorgung ist über eine Tröpfchenbewässerung möglich. Auch die Gabe von Pflanzennährstoffen könnte über eine Anlage zur Tröpfchenbewässerung erfolgen. Dadurch, so These 30, lässt sich der Ertrag von Anbaukulturen

deutlich verbessern. Die Weiterentwicklung der Tröpfchenbewässerung würde es in diesen Fällen erlauben, solche Bewässerungssysteme tagsüber zur CO₂-Begasung zu nutzen. Hier sind die Experten allerdings wenig optimistisch und bewerten die Kombination von Wasser- und CO₂-Versorgung von Anbaukulturen als nicht realisierbar.

In einigen Fällen lässt sich durch die Begasung mit CO ₂ der Ertrag von Anbaukulturen deutlich verbessern. Die Weiterentwicklung der Tröpfchenbewässerung erlaubt es in diesen Fällen, solche Bewässerungssysteme tagsüber zur CO ₂ -Begasung zu nutzen (These 30)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
nie	klein	Industrie- Schwellenländer; auch Entwicklungsländer und Osteuropa	arid-humide bis aride Regionen	Europäische und andere Länder, Nordamerika und Deutschland

4.2.5 Bereichsübergreifende Innovationen

Viele technische Innovationen lassen sich mehreren Anwendungsbereichen zuordnen. So wird die Membrantechnik bspw. sowohl im Bereich der Trinkwasseraufbereitung als auch im Bereich der Abwasserreinigung eingesetzt. In Abhängigkeit der jeweiligen Anwendungsbereiche knüpfen sich spezifische Anforderungen und Problemlagen an die jeweiligen Techniken, deren Lösung innovative Weiterentwicklungen erfordern. Einige dieser Innovationen beziehen sich dagegen auf die Technologie im Allgemeinen – unabhängig vom jeweiligen Anwendungsbereich. Bei der Aufbereitung von Wasser und Abwasser mit Membranen stellt bspw. der Biofilmbewuchs an der Membran eine zusätzliche Herausforderung dar. Deshalb werden (gemäß These 32) Membranen entwickelt, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs ("Fouling") geschützt sind, ohne dabei umweltschädigende Biozide abzugeben. Die Reinigungs- und Austauschintervalle der Membranen verlängern sich dadurch, und die Kosten sinken deutlich. Die Experten sehen hier kurz- bis mittelfristig ein bedeutendes Potenzial vor allem in Industrieländern, von dem neben deutschen vor allem europäische und nordamerikanische Unternehmen profitieren dürften.

Für die Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung werden Membranen entwickelt, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs (Fouling) geschützt sind, ohne dabei umweltschädigende Biozide abzugeben (These 32)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2015-2030	groß	Industrieländer, auch Schwellenländer und Osteuropa	arid-humide Regionen	Deutschland sowie Nordamerika und EU; Osteuropa und Südostasien im Kommen

Ein weiteres Verbesserungspotenzial bei Membranen liegt in der Verringerung des Betriebsdruckes. Dies kann durch eine Erhöhung der Lösemittelpermeabilität erreicht werden. Es wird daher in These 33 angenommen, dass Membranen entwickelt werden, die aufgrund ihrer neuartigen Zusammensetzung und Struktur eine höhere Permeabilität aufweisen und dadurch die gleiche Reinigungsleistung bei einem Drittel des heutigen Betriebsdrucks erreichen. Auch hier bestätigen die Experten mittelfristig ein hohes Potenzial in Industrie- und Schwellenländern, von dem aller Voraussicht nach auch die deutsche Industrie Nutzen ziehen kann.⁹

Es werden Membranen entwickelt, die aufgrund ihrer neuartigen Zusammensetzung und Struktur eine höhere Permeabilität aufweisen und dadurch die gleiche Reinigungsleistung bei einem Drittel des heutigen Betriebsdrucks erreichen (These 33)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa und Schwellenländer	arid-humide Regionen	insbes. Deutschland sowie Europa und Nordamerika

Ebenso sind technologische Entwicklungen zur Hygienisierung in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen nutzbar. In der Trinkwasseraufbereitung kommen schon heute UV-basierte Verfahren zum Einsatz. Dabei erweisen sich jedoch der Wirkungsgrad, die relativ kurze Lebensdauer, der eingeschränkte Wellenlängenbereich sowie der hohe Energiebedarf und daraus resultierend die hohen Kosten der UV-basierten Trinkwasseraufbereitung als unvorteilhaft. Technische Fortschritte im Bereich der Lampentechnik (z. B. flächige Bestrahlung mit hoher Wellenlängenbandbreite) sollen in diesem Kontext dazu führen, dass sich UV-basierte Verfahren zur Hygienisierung von Rohwasser und Abwasser als energieeffizientes und kostengünstiges Verfahren gegenüber anderen Hygienisierungsverfahren sowohl bei kleinen wie auch großen zu behandelnden Volumenströmen durchsetzen (These 34). Aus Expertensicht besteht hier mittelfristig ein mittleres bis großes Marktpotenzial vor allem in Industrieländern – mit deutschen Unternehmen als möglichen Nutznießern.

⁹ Ausländische Experten sehen bei der Weiterentwicklung der Membranfiltration (Thesen 32 und 33) hinsichtlich der Technologieführerschaft Europa und Nordamerika noch vor Deutschland.

UV-basierte Verfahren zur Hygienisierung von (Ab-)Wässern setzen sich aufgrund technischer Fortschritte im Bereich der Lampentechnik (z. B. flächige Bestrahlung mit hoher Bandbreite) als energieeffiziente und kostengünstige Verfahren gegenüber anderen Hygienisierungsverfahren bei kleinen und großen zu behandelnden Volumenströmen durch (These 34)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa und Schwellenländer	arid-humide Regionen	insbes. Deutschland, Nordamerika schwach

Nach der Abwasseraufbereitung findet in vielen zentralen Kläranlagen eine zusätzliche Hygienisierung des Kläranlagenablaufs statt, da für die geforderte Überprüfung der Membranintegrität bei der Partikelentfernung ohne abschließende Desinfektion bisher kein standardisiertes Testverfahren zur Ermittlung des Virenrückhalts bekannt ist. Erst recht ist derzeit keine direkte oder indirekte Online-Überwachung des Rückhalts von Partikeln im Größenbereich von Viren möglich. Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Überwachung der Membranintegrität ermöglichen zukünftig gemäß These 35 eine standardisierte Online-Überwachung des Wassers in Echtzeit auf Keim- und Virenfreiheit, so dass die (Ab-)Wasserreinigung einschließlich Desinfektion in zunehmendem Umfang auch semi- oder dezentral durchgeführt wird. Nach Ansicht der Experten besteht hier wieder mittelfristig ein mittelgroßes Marktpotenzial in Industrie- und Schwellenländern, von dem aufgrund ihrer Technologieführerschaft neben nordamerikanischen und anderen europäischen auch deutsche Unternehmen profitieren können.¹⁰

Eine standardisierte Online-Überwachung des Wassers in Echtzeit auf Keim- und Virenfreiheit ermöglicht es, dass die (Ab-) Wasserreinigung einschließlich Desinfektion in zunehmendem Umfang auch semi- oder dezentral durchgeführt wird (These 35)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	mittel	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa und Schwellenländer	arid-humide Regionen	insbes. Deutschland, auch Europa, Nordamerika

Die Beschäftigung mit Aspekten der zukünftigen Exportpotenziale deutscher Unternehmen im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung wirft die Frage auf, ob in den kommenden Jahren der Export von Verfahrenstechnik im Sinne des damit zusammenhängenden Know-hows zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. Eine solche Entwicklung ist insbesondere vor dem Hintergrund denkbar, dass einfache Technologien verstärkt von den Zielländern selbst produziert werden. Aus diesem Sachverhalt leitet sich die These ab, dass der Export von Know-how zu Konfiguration, Bau und Betrieb leistungsfähiger Wasseraufbereitungs- und Abwasserreinigungsanlagen in Zu-

¹⁰ Auch hier liegt ausländischen Experten zufolge Europa deutlich vor Deutschland.

kunft höhere Erträge für die Unternehmen erbringen wird als der Verkauf der Anlagen selbst (These 34+). Hier sehen die meisten Experten mittelfristig ein eher großes Marktpotenzial außerhalb von Industrieländern.

Der Export von Know-how zu Konfiguration, Bau und Betrieb leistungsfähiger Wasseraufbereitungs- und Abwasserreinigungsanlagen wird in Zukunft höhere Erträge erbringen als der Verkauf der Anlagen selbst (These 34+)				
Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
	Größe	Zielländer	Klima	
2030	mittel bis groß	Schwellenländer, Osteuropa, Entwicklungsländer	arid-humide Regionen	insbes. Deutschland; Europa, Nordamerika

5 Zusammenfassung

Versorgung mit Wasser

- Wassergewinnung und -aufbereitung -

Die Wiedernutzung von Wasser ist ein Kernelement nachhaltiger Systeminnovationen, die im Zentrum dieser Befragung stehen. In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass bei der Wasserversorgung von Haushalten für dezentrale bzw. semizentrale Anlagen zur Aufbereitung von Regenwasser (T2*) sowie von Grauwasser (T3*) große Marktpotenziale bestehen. Auch für die weitergehende Behandlung von Regen- und Grauwasser (T4) bis hin zur Trinkwasserqualität wird ein mittleres bis großes Marktpotenzial vermutet. Die Realisierungszeiträume sind kurz- bis mittelfristig. Für diese Technologien erwarten die befragten Experten, dass Deutschland neben anderen europäischen Ländern die Technologieführerschaft einnehmen wird. Bei der weitergehenden Aufbereitung spielen darüber hinaus auch Nordamerika und Südostasien eine Rolle.

Auch für Technologien zur Gewinnung von Trinkwasser aus der Luft (T1) sowie zur Entwicklung wasserautarker Häuser (T5*) wird Deutschland die Technologieführerschaft zugesprochen. Allerdings ist hier langfristig nur mit einem kleinen Marktpotenzial zu rechnen.

- Meerwasserentsalzung -

Neben der Nutzung von Regen- und Grauwasser als Wasserressource wird in zunehmendem Maße entsalztes Meerwasser für die Wasserversorgung von privaten Haushalten, Industrie und Landwirtschaft genutzt. Anlagen zur Meerwasserentsalzung werden heute zumeist im großtechnischen Maßstab betrieben. In Zukunft wird dagegen semizentralen *Kompaktanlagen* ein mittleres bis großes Marktpotenzial zugeordnet (T7+), das kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden kann. Für diese Technologie schätzen zumindest die deutschen Experten, dass insbesondere Deutschland die Technologieführerschaft übernehmen wird. Darüber hinaus sind auch andere europäische Staaten und Nordamerika von Bedeutung.

Ebenso wird für Meerwasserentsalzungsanlagen mit Niedertemperatur-Vakuum-Verdampfung unter Nutzung von Abwärme (T6+) kurz- bis mittelfristig ein großes Marktpotenzial geschätzt. Allerdings nehmen hier andere europäische Länder vor Deutschland, aber auch Nordamerika die Rolle des Technologieführers ein.

Für die Entwicklung von abwasserfreien Meerwasserentsalzungsanlagen (T7) sowie für die Meerwasserentsalzung auf Basis regenerativer Energieträger (T6) wird ein großes bis mittleres Marktpotenzial erwartet, das mittel- bis langfristig realisierbar ist. Al-

lerdings sehen die Experten auch hier andere europäische Länder vor Deutschland sowie Nordamerika als potenzielle Technologieführer.

- Grundwasser -

Neben den genannten Rohwasserquellen ist Grundwasser auch weiterhin eine wichtige konventionelle Ressource der Trinkwassergewinnung. Wo Trinkwasser aus Grundwasser gewonnen wird, stellt neben der Übernutzung der Grundwasserressourcen häufig die Verunreinigung der Grundwasserleiter ein massives Problem dar. Für den Einsatz direktanzeigender (Online-)Messsysteme (T8), den in-situ-Einsatz von reaktiven Materialien (T9) sowie von flexiblen Kombinationen unterschiedlicher technischer Verfahren zur zielgerichteten Behandlung schadstoffbelasteter Grundwässer (T10*) sehen die Experten einen kurz- bis mittelfristigen Realisierungszeitraum gegeben. Während die Marktgröße der direkt anzeigenden Online-Messsysteme eher als klein bis mittel eingeschätzt wird, wird sie beim in-situ-Einsatz der reaktiven Materialien und bei den Verfahrenskombinationen zumindest als mittel bzw. als mittel bis groß bewertet. In allen drei Bereichen erwarten die deutschen Experten, dass insbesondere Deutschland eine Spitzenposition einnimmt. Darüber hinaus zählen eher Nordamerika und das übrige Europa zu den Technologieführern.

Abwasserbeseitigung und -behandlung

- Kanalisation -

Die Entstehung und Entwicklung der heute in den Industrieländern betriebenen zentralen Infrastruktursysteme der Wasserver- und Abwasserentsorgung begann Mitte des 19. Jahrhunderts und trug ohne Zweifel zu enormen Verbesserungen der damaligen Lebensumstände, insbesondere der Hygiene, bei. Darüber hinaus konnte drängenden ökologischen Problemen wie der Verunreinigung von Oberflächengewässern und Böden entgegengewirkt werden. Heute erweisen sich vor allem die notwendigen hohen Investitionen in die Erhaltung und Instandsetzung der Infrastruktur als problematisch. Daher werden im Themenfeld Kanalisation der Weiterentwicklung und dem standardmäßigen Einsatz grabenloser Rohrleitungsbau- und -sanierungsverfahren (T12) ein kurz- bis mittelfristiger Realisierungszeitraum mit einem großen Marktpotenzial eingeräumt. Wieder sehen deutsche Experten Deutschland in der Rolle des Technologieführers, während von anderen vor allem andere europäische Länder favorisiert werden.

Gleiches wird für die Weiterentwicklung der Trennkanalisation als wahrscheinlich angesehen, bei der das Regenwasser dezentral oder semidezentral gesammelt, aufbereitet und versickert bzw. in Gewässer eingeleitet wird (T11), sowie für vorgefertigte Infrastrukturkanäle mit begehbaren Schächten, in die Leitungen mittels Winden eingezogen

werden können (T13). Allerdings zeigt sich hier, dass eine Realisierung – wenn überhaupt – in nur langfristigen Zeiträumen erwartet wird, was in der Natur der leitungsgebundenen Wasserver- und Abwasserentsorgung begründet sein dürfte. Dabei wird den Trennsystemen noch ein großes Marktpotenzial beigemessen, während dies bei den vorgefertigten Infrastrukturkanälen nach Meinung der Experten nur klein mit mittelgroß ausfallen dürfte.

- Abwasserbehandlung -

An die Abwasserableitung schließt sich i. d. R. eine Abwasserbehandlung an, die heute überwiegend in zentralen Kläranlagen mit Belebtschlammverfahren als zentralem Reinigungselement durchgeführt wird. Dieses Verfahren weist einen hohen Energiebedarf für die Belüftung und ein hohes Aufkommen an Klärschlamm auf, der wiederum mit teilweise hohem Aufwand entsorgt werden muss. Als Alternative dazu bieten sich neue Verfahren zur anaeroben Abwasserreinigung an, die aufgrund ihrer positiven Energiebilanz und ihres geringeren Klärschlammaufkommens geeignet sein könnten, die konventionellen aeroben Verfahren der Abwasserbehandlung zu verdrängen (T 14). Hier gehen die Experten ebenso wie beim regelmäßigen Einsatz membranbasierter biologischer Verfahren in Kläranlagen (T15) von einem mittel- bis langfristigen Realisierungszeitraum aus. Das Marktpotenzial wird als mittel bzw. groß eingestuft. Demgegenüber werden Installation und Betrieb de- oder semizentraler Abwasserbehandlungsanlagen (T17 und T18*) sowie der Möglichkeit ihrer zentralen Überwachung (T16) mittelfristig große Marktchancen eingeräumt. Über die Bedeutung weiterentwickelter Pflanzenkläranlagen (T20) sind sich die Experten uneins und attestieren ein Marktpotenzial in der Bandbreite von klein bis groß. In allen Bereichen der Abwasserbehandlung sehen die deutschen Experten Deutschland als Technologieführer – eine Einschätzung, die von den ausländischen Experten nur im Falle von These 17 voll, im Falle der Thesen 15 und 18* jedoch gar nicht geteilt wird.

Rückgewinnung von Ressourcen aus Abwasser

- Dünger aus Abwasser -

In Zeiten steigender Ressourcenpreise steht die Abwasserableitung und -reinigung auch in enger Verbindung zur Wiedernutzung von im Abwasser enthaltenen Nährstoffen und Energie. Bei der Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser sehen die Experten nur für die breite Phosphatelimination aus dem Nebenstrom zentraler Abwasserbehandlungsanlagen sowie aus deren Klärschlamm (und Klärschlammaschen) (T21) ein mittleres bis großes Marktpotenzial, das mittelfristig freigesetzt werden kann. In dieser Technologie wird Deutschland, teilweise auch andere europäische Länder als

führend gesehen. Für alle anderen Aspekte der Gewinnung von Dünger aus Abwasser, d.h. für die Stickstoffrückgewinnung aus Klärschlamm (T22), die direkte Ausbringung von Klärschlamm nach geeigneter Teilstrombehandlung (T23) und die direkte Nutzung von Gelbwasser (T24), sehen die Experten mittlere bis kleine Marktpotenziale mit mittel- bis langfristigen Realisierungszeiträumen. Hier wird erwartet, dass andere europäische Länder die Technologieführerschaft übernehmen werden.

- Energierückgewinnung aus Abwasser -

Bei der Rückgewinnung von Energie aus Abwasser scheinen insbesondere die Technologien (Wärmetauscher, Wärmepumpen) zur Nutzung der im Abwasser enthaltenen Wärmeenergie (T25 und T26) interessant zu sein. Dieser Technologie wird ein mittleres bis großes Marktpotenzial mit einem mittelfristigen Realisierungszeitraum beigegeben. Technologieführer, so die Meinung der Experten, werden andere europäische Länder, aber auch Deutschland sein. Hinsichtlich der Kombination von Abwasserreinigung und Biomasseproduktion in Pflanzenkläranlagen (T20) gehen die Meinungen der Experten sowohl hinsichtlich der Größe des Marktpotenzials als auch der Technologieführerschaft weit auseinander. Einig sind sie sich schließlich wiederum, dass die Gewinnung elektrischer Energie aus Abwasser mittels mikrobieller Brennstoffzellen (microbial fuel cells) (T27) zwar ein großes Potential hätte, dass eine Umsetzung in absehbarer Zeit jedoch unwahrscheinlich ist.

Bewässerung in der Landwirtschaft

Angesichts des riesigen und ständig zunehmenden Wasserbedarfs in der Landwirtschaft sehen die Experten vor allem für die breite Verwendung von teilaufbereitetem d.h. hygienisiertem Abwasser, in dem Nährstoffe als Dünger verbleiben (T31+), einen kurz- bis mittelfristigen Realisierungszeitraum mit einem mittleren bis großen Marktpotenzial. Nach Einschätzung der Experten wird Deutschland neben anderen europäischen Ländern und Nordamerika bei den Aufbereitungstechnologien für diesen Anwendungsbereich (d.h. vor allem Hygienisierung) die Technologieführerschaft übernehmen.

Darüber hinaus sehen die Experten noch bei der sensorgesteuerten Bewässerung unter Berücksichtigung der aktuellen Bodenfeuchte (T28) sowie beim standardmäßigen Einsatz der bedarfsgerechten Tröpfchenbewässerung (T29) ein großes Marktpotenzial mit mittelfristigen Realisierungszeiträumen. In diesen Bereichen spielen nach Einschätzung der Experten Länder im Nahen Osten, Nordamerika und Europa, nicht jedoch Deutschland eine führende Rolle.

Bereichsübergreifende Innovationen

Bei den Innovationen, die mehreren Anwendungsbereichen zugeordnet werden können, sehen die Experten für Membranen, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs (Fouling) geschützt sind, ohne dabei umweltschädigende Biozide abzugeben (T32), einen kurz- bis mittelfristigen Realisierungszeitraum mit großem Marktpotenzial. Auch für die energiesparende Erhöhung der Permeabilität von Membranen (T33), die Weiterentwicklung UV-basierter Verfahren zur Hygienisierung von Roh- und Abwasser (T34) und den Export von Know-how zu Bau und Betrieb leistungsfähiger Wasseraufbereitungs- und Abwasserreinigungsanlagen (T34+) wird ein großes oder zumindest mittleres Marktpotenzial erwartet, allerdings bei einem nur mittelfristigen Realisierungszeitraum. Bei den untersuchten bereichsübergreifenden Innovationen wird nach Einschätzung der deutschen Experten Deutschland neben anderen europäischen Ländern und Nordamerika die Technologieführerschaft einnehmen. Vor allem im Bereich der Membranfiltration sehen die anderen Experten Deutschland hingegen nur im Mittelfeld.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Delphi-Befragung nochmals zusammengefasst, wobei kurzfristig (mittelfristig) wirksame, große (mittlere) Potenziale grün (bzw. gelb) unterlegt sind. Außerdem sind alle die Innovationen grün bzw. gelb gekennzeichnet, in denen die deutsche Industrie die Technologieführerschaft besitzt oder mit zu den Technologieführern gehört. Wurde Deutschland nur von deutschen Experten als Technologieführer gesehen, von ausländischen Experten jedoch an zweiter Stelle oder noch weiter hinten eingestuft, ist die entsprechende Zelle grün-gelb bzw. grün-weiß unterlegt.

Nr.	These	Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
			Größe	Zielländer	Klima	
Wassergewinnung und -aufbereitung						
1	(Dezentrale) Trinkwassergewinnung aus Luft mit an klimatische Verhältnisse angepassten Adsorbentien	2050	klein	Entwicklungs- und Schwellenländer	aride	Deutschland und Europa, Nordamerika, Südostasien
2*	Installation semi- oder dezentraler Regenwasseraufbereitungsanlagen in neuen bzw. kernsanierten Gebäuden	2030	groß	Industrieländer, Schwellenländer, insbes. Osteuropa	aride, arid-humid und humid	Deutschland und Europa
3*	Installation semi- oder dezentraler Grauwasseraufbereitungsanlagen in neuen bzw. kernsanierten Gebäuden	2030	groß	Industrie- und Schwellenländer	arid-humid bzw. aride Regionen	Deutschland und Europa

Nr.	These	Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
			Größe	Zielländer	Klima	
4	Kombination von Grau- bzw. Regenwasseraufbereitung und Membranfiltration zur Trinkwassergewinnung	2015-2030	mittel bis groß	Industrie- und Schwellenländer	arid-humide bzw. arid	Deutschland und Europa, Nordamerika, Südostasien
5*	Wasserautarke Wohnhäuser/ Wohnviertel mittels semi- bzw. dezentrale Wasseraufbereitung und effizienter Nutzung auch von Regenwasser	2050	eher klein	Industrie- und Schwellenländer	arid-humid bzw. arid	Deutschland und Europa
Meerwasserentsalzung						
6	Erhöhung der Energieeffizienz von Umkehrosmose-Anlagen zur Nutzung regenerativer Energiequellen	2030	groß	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Industrieländer	arid	Europa, Deutschland und Nordamerika
7	Entwicklung abwasserfreier Meerwasserentsalzungsanlagen mit Wiederverwertung des Rückstands	2030-2050	mittel bis groß	insbes. Schwellenländer, auch Industrie- und Entwicklungsländer	arid	Europa, Deutschland und Nordamerika
6+	Meerwasserentsalzung durch Niederdruck-Vakuum-Verdampfung unter Nutzung der Abwärme anderer Industrieanlagen	2015-2030	mittel bis groß	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Industrieländer	arid, arid-humid	Europa, Deutschland und Nordamerika
7+	Weite Verbreitung kompakter Meerwasserentsalzungsanlagen durch Serienproduktion und weitere Optimierung	2015-2030	mittel bis groß	insbes. Schwellenländer aber auch Industrie- und Entwicklungsländer	arid, arid-humid	insbes. Deutschland und Europa, aber auch Nordamerika und SO-Asien
Grundwasser						
8	Substitution klassischer Labormethoden durch direkt anzeigende Online-Verfahren zur Analyse von Boden- und Grundwasserkontaminationen	2030	klein bis mittel	insbes. Industrieländer, auch Schwellenländer und Osteuropa	arid-humid bzw. humid	insbes. Deutschland und Nordamerika, übriges Europa
9	In-situ-Einsatz reaktiver Materialien zur Boden- und Grundwasserrehabilitation	2030 und früher	mittel	insbes. Industrieländer, auch Schwellenländer und Osteuropa	arid-humid bzw. humid	insbes. Deutschland und Nordamerika, übriges Europa
10*	Kombination technischer Verfahren in modularer Bauweise zur on-site-Behandlung belasteten Grundwassers mit wechselnder Schadstoffzusammensetzung	2030 und früher	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa und Schwellenländer	arid-humid bzw. humid	Deutschland und Nordamerika

Nr.	These	Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
			Größe	Zielländer	Klima	
Kanalisation						
11	Vollständige Substitution der Mischkanalisationssysteme durch Trennkanalisationssysteme	2050 - nie	groß	insbes. Industrieländer,	arid-humid bzw. humid	insbes. Deutschland und Europa
12	Weiterentwicklung und standardmäßiger Einsatz grabenloser Rohrleitungsbau- und -sanierungsverfahren	2030 und früher	groß	Industrieländer, auch Osteuropa und Schwellenländer	arid-humid bzw. humid	insbes. Deutschland, Europa
13	Standardmäßiger Einsatz vorgefertigter Infrastrukturkanäle bei der Neuerschließung, Sanierung und Modernisierung von Ver- und Entsorgungsleitungen	2050	klein bis mittel	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa, Schwellenländer in geringem Umfang	arid-humid bzw. humid	insbes. Deutschland, Europa
Abwasserbehandlung						
14	Substitution konventioneller aerober Verfahren der Abwasserbehandlung durch anaerobe Verfahren	2030 bis 2050	mittel	insbes. Industrieländer; Schwellenländer, Osteuropa, Entwicklungsländer	arid-humid	Deutschland und Europa
15	Membranbasierte Kläranlagen als Standardverfahren in kommunalen Kläranlagen	2030 bis 2050	groß	insbes. Industrieländer; Osteuropa, Schwellen- und Entwicklungsländer	arid-humid	insbes. Deutschland, Europa und Nordamerika
16	Verbesserung von Zuverlässigkeit und Betrieb durch zentrale Überwachung und Steuerung dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen	2030	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa, Schwellen- und Entwicklungsländer	arid-humid	insbes. Deutschland und Europa
17	Installation und Betrieb von semi- und dezentralen Abwasserinfrastrukturen in <i>ländlichen Gebieten</i>	2030	groß	Osteuropa, Industrieländer sowie Schwellen- und Entwicklungsländer	arid-humid	insbes. Deutschland und Europa
18*	Installation und Betrieb von de- bzw. semizentrale Abwasserinfrastrukturen in <i>urbanen Ballungsräumen</i>	2030	groß	Industrie- und Schwellenländer, auch Osteuropa und Entwicklungsländer	arid-humid	insbes. Deutschland und Europa
19	Weiterentwicklung und standardmäßiger Einsatz von Verfahren zur Entfernung unerwünschter Spurenstoffe aus dem Abwasser (z.B. Aktivkohle, AOP)	2030	groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa sowie Schwellen- und Entwicklungsländer	arid-humid	insbes. Deutschland; Europa und Nordamerika

Nr.	These	Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
			Größe	Zielländer	Klima	
Dünger aus Abwasser						
21	Rückgewinnung von als Dünger verwendbaren Phosphaten aus Abwasser und Klärschlamm(-asche)	2030	groß bis mittel	insbes. Industrieländer, aber auch Osteuropa und Entwicklungsländer	arid-humid	Deutschland und Europa
22	Rückgewinnung des im Abwasser enthaltenen Stickstoffs	2030 bis 2050	mittel	insbes. Industrieländer, aber auch Schwellenländer, Osteuropa und Entwicklungsländer	arid-humid	Europa und Deutschland
23	Uneingeschränkte und unmittelbare Nutzung von Nährstoffen aus Abwasser als Dünger durch de- bzw. semizentrale Teilstrombehandlung	2030 bis 2050	mittel	Schwellen- und Entwicklungsländer, aber auch Osteuropa und Industrieländer	arid-humid	Europa und Deutschland
24	Weite Verbreitung der getrennten Sammlung von Gelbwasser nach neuartiger Beschichtung zum Schutz vor Struvit-Ablagerungen an Leitungen und Ventilen	2050	klein	Industrieländer, aber auch Schwellenländer, Osteuropa und Entwicklungsländer	arid-humid	Europa und Deutschland
Energierückgewinnung aus Abwasser						
20	Kombination von Abwasserreinigung und Biomasseproduktion in Pflanzenkläranlagen	2030	klein bis groß	Schwellen- und Entwicklungsländer sowie Osteuropa, auch Industrieländer	arid-humid	insbes. Deutschland und Europa
25	Rückgewinnung von Wärmeenergie aus Abwasser mittels Wärmepumpen und Wärmetauschern <i>in der Kanalisation</i>	2030	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, aber auch Osteuropa und Schwellen- sowie Entwicklungsländer	arid-humid bzw. humid	Europa und Deutschland
26	Rückgewinnung und Nutzung von Wärmeenergie aus Abwasser mittels Wärmetauschern <i>innerhalb von Gebäuden</i>	2030	mittel	insbes. Industrieländer, aber auch Osteuropa und Schwellen- sowie Entwicklungsländer	arid-humid	Europa und Deutschland
27	Gewinnung von elektrischer Energie aus Abwasser mittels mikrobieller Brennstoffzellen	2050 bis nie	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, aber auch Osteuropa und Schwellen- sowie Entwicklungsländer	arid-humid	Europa sowie Nordamerika und Deutschland
Bewässerung						
28	Steuerung der Bewässerung in der Landwirtschaft durch Sensoren zur Berücksichtigung der Bodenfeuchte und des Wasserbedarfs der Anbaukultur	2030	groß	Schwellen- und Industrieländer, auch Entwicklungsländer und Osteuropa	arid-humid	Nordamerika und Andere Länder

Nr.	These	Realisierungszeitraum	Marktpotenzial			Technologieführer
			Größe	Zielländer	Klima	
29	Standardmäßige Nutzung der Tröpfchenbewässerung in der Bewässerungslandwirtschaft	2030	groß	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Osteuropa und Industrieländer	arid	Andere Länder, Europa, Nordamerika
30	Weiterentwicklung von Anlagen zur Tröpfchenbewässerung zwecks CO ₂ -Begasung von Anbaukulturen	nie	klein	Industrie- und Schwellenländer, auch Entwicklungsländer und Osteuropa	arid-humid bis arid	Europa und Andere Länder, Nordamerika und Deutschland
31	Entsalzung von mäßig versalztem Oberflächen- und Grundwasser für Bewässerungszwecke in der Landwirtschaft	2030	mittel	insbes. Schwellenländer aber auch Industrie- und Entwicklungsländer sowie Industrieländer und Osteuropa	arid	Nordamerika, Andere Länder, Europa
31+	Nutzung von Abwasser in der Landwirtschaft, in dem nach Teilreinigung / Hygienisierung Nährstoffe direkt als Dünger verbleiben	2015 bis 2030	groß bis mittel	Schwellen- und Entwicklungsländer, auch Osteuropa und Industrieländer	arid bzw. arid-humid	Deutschland, Europa und Nordamerika
Bereichsübergreifende Innovationen						
32	Weiterentwicklung von Membranen zur Behandlung von (Ab)wasser mit dem Ziel eines Schutzes gegen Biofilmbewuchs	2015 bis 2030	groß	Industrieländer, auch Schwellenländer und Osteuropa	arid-humid	Deutschland, Nordamerika und Europa; Osteuropa und Südostasien im Kommen
33	Weiterentwicklung von Membranen mit dem Ziel der Erhöhung der Permeabilität zur Verringerung des Betriebsdruckes	2030	groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa und Schwellenländer	arid-humid	insbes. Deutschland sowie Europa und Nordamerika
34	Weiterentwicklung UV-basierter Verfahren zur Hygienisierung von Roh- und Abwasser als effizientes und kostengünstiges Hygienisierungsverfahren	2030	mittel bis groß	insbes. Industrieländer, auch Osteuropa und Schwellenländer	arid-humid	insbes. Deutschland
34+	Export von Know-how zu Konfiguration, Bau und Betrieb leistungsfähiger Wasseraufbereitungs- und Abwasserreinigungsanlagen	2030	mittel bis groß	Schwellenländer, Osteuropa, Entwicklungsländer	arid-humid	insbes. Deutschland, Europa und Nordamerika
35	Standardisierte Online-Überwachung des Wassers in Echtzeit auf Keim- und Virenfreiheit in semi- bzw. dezentralen Anlagen	2030	mittel	insb. Industrieländer; Osteuropa, Schwellenländer	arid-humid	insbes. Deutschland, auch Europa u. Nordamerika