



Fraunhofer
SYSWASSER

FRAUNHOFER-ALLIANZ SYSWASSER

**FORSCHUNG FÜR DIE
WASSERNUTZUNG VON MORGEN**





WASSER – EIN KOSTBARES GUT

Wasser bedeckt drei Viertel der Erdoberfläche – doch nur etwa ein Prozent davon steht uns als Süßwasser zur Verfügung. Eine ausreichende und sichere Wasserversorgung ist ein elementares Grundbedürfnis aller Menschen. Weltweit haben jedoch immer noch 780 Millionen Menschen keinen Zugang zu sauberem, hygienisch einwandfreiem Wasser. 1,1 Milliarden Menschen leben ohne sanitäre Anlagen, 2,5 Milliarden Menschen sind nicht an eine funktionierende Abwasserreinigungsanlage angeschlossen.¹

Allein in den letzten 50 Jahren hat sich der weltweite Wasserverbrauch verdreifacht und beträgt zurzeit fast 4000 km³ pro Jahr. Der weitaus größte Teil davon, 70 Prozent weltweit, in manchen Entwicklungsländern bis zu 90 Prozent, wird für Bewässerungszwecke verbraucht. Trotz zunehmender Verstädterung werden nur 20 Prozent für industrielle Zwecke und nur 10 Prozent in privaten Haushalten genutzt. Ca. 20 Prozent des globalen Wasserbedarfs wird aus Grundwasser gedeckt und dieser Anteil wächst rapide, verbunden mit teilweise drastischen Grundwasserabsenkungen.²

Bedingt durch die wachsende Weltbevölkerung, verbunden mit steigendem Nahrungsmittel- und Energiebedarf, Klimawandel, Migration und Urbanisierung, wird der Wasserbedarf auch zukünftig dramatisch steigen.

Dennoch wird mit der kostbaren Ressource Wasser vielfach auf verschwenderische Art und Weise umgegangen. Selbst in Industriestaaten gehen allein aufgrund von Leckagen in den Rohrleitungen bis zu 25 Prozent des wertvollen Trinkwassers verloren. In den Schwellen- und Entwicklungsländern sind es zum Teil über 50 Prozent. Die Wasserinfrastruktursysteme in Industriestaaten basieren auf großen, mit erheblichem baulichen und betrieblichen Aufwand verbundenen Leitungs- und Kanalnetzen; sie sind unflexibel und auf einmaligen Gebrauch des Wassers ausgelegt. Teilweise ist systemimmanente Wasserverschwendung für die störungsfreie Funktion dieser Wasserinfrastruktursysteme unabdingbar. Nachhaltigkeitsgesichtspunkte spielen bei konventionellen Wasserinfrastruktursystemen nur bedingt eine Rolle. Schon aus Kostengründen können diese Systemansätze kein Modell für Schwellen- und Entwicklungsländer sein.

¹ The Millennium Development Goals Report 2008, United Nations, New York, 2008

² Water in a Changing World, The United Nations World Water Development Report 3, United Nations, New York, 2009



MOTIVATION, MISSION, ZIELE, LEISTUNGSANGEBOT

Nur mit innovativen Techniken und ganzheitlichen technischen Systemlösungen kann den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts begegnet werden. Deshalb bündeln elf Fraunhofer-Institute seit 2007 ihre Kompetenzen in der Erforschung und Entwicklung von neuesten Wassersystemtechnologien in der Allianz SysWasser. Unter Berücksichtigung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Konsequenzen ist das Hauptziel der Allianz, nachhaltige Systemlösungen für Wassergewinnung, Infrastruktur und Abwasserreinigung in praxisorientierte Anwendungen zu überführen. Dabei soll auch die systemische Vernetzung der Ressource Wasser mit den Sektoren Energie-, Abfall- und Landwirtschaft erfolgen. Die Allianz und die darin vereinten Institute wollen damit auch einen wirksamen Beitrag zur Erreichung eines der Entwicklungsziele der Vereinten Nationen leisten: der Halbierung des Anteils der Weltbevölkerung ohne nachhaltigen Zugang zu sicherer Trinkwasserversorgung und zu geeigneten sanitären Einrichtungen.

Leistungsangebot

Innovationen der Fraunhofer-Allianz SysWasser decken bereits heute den gesamten Wasserkreislauf ab, beginnend mit Wassereinzugsgebieten über Wasserverteilnetze bis hin zur Abwasserbehandlung und schließen auch sozio-ökonomische Studien, Zustandsanalysen, Bedarfsprognosen und Finanzierungskonzepte mit ein. Die Bandbreite der Fachkompetenzen

der Mitgliedsinstitute und die interdisziplinäre Expertise ihrer Mitarbeiter versetzen die Fraunhofer-Allianz SysWasser in die Lage, für nahezu alle Fragestellungen der Wasserwirtschaft innovative technische Lösungen, komplexe wasserwirtschaftliche Systemlösungen und neuartige urbane Wasserinfrastrukturkonzepte zu entwickeln.

Entsprechend dem Kerngeschäft der Fraunhofer-Gesellschaft liegt der Schwerpunkt des Angebots der Allianz SysWasser auf Forschung und Technologieentwicklung bis hin zu Pilotapplikationen. Dazu gehört die Entwicklung neuer, innovativer, leistungsfähiger Prozesstechnologien zur Wasser- und Abwasseraufbereitung einschließlich der notwendigen Mess-, Steuer- und Regelungstechnologien, sowie von Technologien zum Betrieb, zur Überwachung und zur Sanierung von Wasserversorgungs- und Kanalnetzen.

Darüber hinaus gehören die Anwendung und Integration fortschrittlicher technologischer Komponenten in ganzheitliche und nachhaltige Gesamtkonzepte sowie die Realisierung vollständiger Wasserinfrastruktursysteme und deren Anpassung an spezifische lokale und regionale Bedingungen zum Leistungsportfolio der Allianz.

Innovative Wassertechnologien und Wasserinfrastruktursysteme werden in Demonstrations- oder Pilotprojekten beispielhaft umgesetzt und in Praxisanwendungen validiert.

WASSERNUTZUNG

Trinkwasser

Wasser ist Grundlage allen Lebens auf der Erde und gehört als wichtigstes Lebensmittel zur Grundversorgung in jeglicher Zivilisation. An Trinkwasser werden daher sehr hohe Anforderungen gestellt. Es darf die menschliche Gesundheit nicht gefährden und muss deshalb hohe Anforderungen hinsichtlich chemischer Inhaltsstoffe und mikrobiologischer Beschaffenheit erfüllen. Es muss frei sein von Krankheitserregern und chemischen Stoffen, die Krankheiten verursachen können, und soll außerdem farblos, klar, kühl sowie geruchsneutral und geschmacklich einwandfrei sein.

Die zentralen Aufgaben der Wasserinfrastruktur sind die Aufbereitung von Rohwasser und die Bereitstellung von qualitativ ausreichendem Wasser für die kommunale und industrielle Versorgung. 95 Prozent des Trinkwassers in Deutschland stammen von zentralen Wasserversorgungsunternehmen und werden zu über 70 Prozent aus Grundwasser oder Uferfiltrat gewonnen. Die Aufbereitung dient besonders der Entfernung von Partikeln, Eisen und Mangan sowie der Enthärtung und der Desinfektion. Der Umgang mit Trinkwasser in Industrienationen ist in der Regel verschwenderisch. Der Wasserverbrauch in Deutschland liegt bei ca. 120 Litern pro Kopf und Tag. In öffentlichen Wasserinfrastruktursystemen wird ausschließlich Trinkwasserqualität zur Verfügung gestellt, obwohl der tatsächliche Trinkwasserbedarf bei nur ca. 2 Litern pro Kopf und Tag liegt. Daneben wird Trinkwasser oder Wasser in vergleichbarer Qualität zum Zubereiten von Speisen und Getränken, zur Körperpflege, zum Geschirrspülen oder zum Wäschewaschen verbraucht. Größere Wassermengen werden jedoch auch für Zwecke genutzt, für die Wasser minderer Qualität ausreichend wäre, beispielsweise für Toilettenspülung, Gebäudereinigung oder zur Gartenbewässerung.

Mit entsprechenden Vorrichtungen, wie Wasserspararmaturen oder -toiletten, kann in jedem Haushalt Wasser gespart werden. Alternativen zur herkömmlichen Schwemmkanalisation sind Vakuum- oder Drucksysteme. Wasserspültoiletten können hierbei durch Vakuumtoiletten ersetzt werden, wie sie in Flugzeugen, Schiffen und Zügen oder in Haushalten einiger skandinavischer Länder bereits üblich sind. In Verbindung mit dezentralen oder semi-dezentralen Abwasserreinigungssystemen können zudem Kosten eingespart werden, die derzeit für die Instandhaltung der Abwasserkanalisation aufgewendet werden müssen.

Brauchwasser

Für einige Nutzungen im Haushalt und in der Industrie ist Trinkwasserqualität nicht erforderlich. Insbesondere für industrielle Nutzungen bietet sich daher die Verwendung von nicht aufbereitetem Rohwasser, Regenwasser oder behandeltem Grauwasser oder Abwasser an. Die Wasserbehandlung muss sich in diesem Fall am beabsichtigten Verwendungszweck orientieren. Für Reinigungszwecke oder zur Kühlung muss das wiederaufbereitete Wasser in der Regel geringeren Qualitätsansprüchen genügen als beispielsweise für die Textilreinigung. Für die Landwirtschaft und insbesondere als Badewasser muss das Wasser hygienisch einwandfrei sein und darf keine gesundheitsschädlichen Spurenkontaminationen enthalten, die sich im Organismus anreichern könnten. Zu Bewässerungszwecken ist eine vollständige Entfernung von Stickstoff und Phosphor nicht erforderlich, da eine Bewässerung mit wiederaufbereitetem Wasser zur Einsparung von Mineraldünger beitragen kann.

In aller Regel ist zur Wiedernutzung die Entfernung von Feststoffen und Fetten durch geeignete Techniken erforderlich. Organisch belastetes Abwasser muss grundsätzlich von organischem Kohlenstoff (CSB, BSB₅) befreit werden, wozu sich eine biologische Behandlung anbietet. Stark belastetes

CSB Chemischer Sauerstoffbedarf
BSB₅ Biologischer Sauerstoffbedarf



Abwasser wird vorzugsweise anaerob behandelt. Je nach beabsichtigter Nutzung kann eine Nachbehandlung zur Entfernung des Rest-CSB erforderlich sein, beispielsweise durch eine aerobe biologische Behandlung. Im Zusammenhang mit steigenden Energiepreisen gewinnt zunehmend auch die Nutzung von Restwärme aus Abwasser durch innovative und angepasste Techniken zur Wärmerückgewinnung, -speicherung und -nutzung an Bedeutung.

Bewässerung

Im Gegensatz zum überwiegenden Teil der bewohnten Erde spielt die Bewässerung in der Landwirtschaft in Deutschland noch keine nennenswerte Rolle. Vergleichbar mit dem Anstieg des globalen Wasserverbrauchs in der Landwirtschaft, bedingt durch den zunehmenden Nahrungsmittelbedarf einer wachsenden Bevölkerung, die Erschließung von landwirtschaftlichen Flächen in semiariden Gebieten, den höheren Wasserbedarf bei steigenden Hektarerträgen und den Anbau sogenannter Energiepflanzen, wird in den kommenden Jahrzehnten auch der Bedarf an Bewässerungstechniken in der deutschen Landwirtschaft zunehmen.

Dieser Bedarf wird verstärkt durch den Klimawandel, der sich in Mitteleuropa durch zunehmende Starkregenereignisse und längere Trockenperioden auswirken wird. In weiten Teilen steht der Wasserbedarf für die Landwirtschaft in Konkurrenz zur Trinkwasserversorgung, was einen Bedarf an wassersparenden Bewässerungstechniken und Wiedernutzungskonzepten für die Bewässerung nach sich zieht.

Regenwasser

Deutschland hat im Durchschnitt ausreichend Niederschläge, um Grund- und Oberflächenwässer im Jahresmittel zu regenerieren und seinen Wasserbedarf zu decken. Eine direkte

Regenwassernutzung ist jedoch unüblich. Andererseits wird Regenwasser vor allem im Zusammenhang mit Starkregenereignissen und Hochwasserschutz als Problem betrachtet. Nutzungsbezogene Speichertechnologien sind nicht zeitgemäß. Bei sogenannten »Regenrückhaltebecken« handelt es sich um Speicherbecken für Regenwasser, das als Abwasser in Oberflächengewässer abgeleitet werden soll.

Für verschiedene Anwendungen im privaten Gebrauch, für die Trinkwasserqualität nicht erforderlich ist, z. B. Gartenbewässerung oder Toilettenspülung, wird gelegentlich Regenwasser genutzt. Da Regenwasser sehr gering verschmutzt ist und im Gegensatz zu Grund- und Oberflächenwasser weder Carbonate noch andere Mineralien enthält, weist es wesentliche Vorteile für viele Anwendungen auf. Daher kann es sich lohnen, auch in Regionen mit ausreichendem Wasserangebot Regenwasser zu erfassen und weiteren Nutzungen zuzuführen. So eignet sich Regenwasser beispielsweise ebenso gut wie Trinkwasser zur Klimatisierung von Räumen, zu automatisierten Feuerlöschzwecken durch Hochdruckvernebelung oder für Waschmaschinen.

Mithilfe angepasster Speichertechnik und bedarfsgerechter Filtrations- und Aufbereitungstechnik kann Regenwasser gewonnen und zur Enthärtung mit Trinkwasser vermischt werden. Ebenso ist es leicht möglich, aus Regenwasser Trinkwasser zu gewinnen. In vielen Regionen ist Regenwasser bereits eine bevorzugte Quelle zur Trinkwassergewinnung. Da Trinkwasser natürliche Stoffe enthält, die für den unbedenklichen Genuss des Wassers notwendig und zudem für die Ernährung wichtig sind, wie beispielsweise Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium, Hydrogencarbonat, Sulfat und Chlorid, muss Regenwasser für eine Nutzung als Trinkwasser mit Salzen versetzt werden. Das gilt ebenso für Wasser, das aus der Luftfeuchtigkeit gewonnen wird.

WASSERBEHANDLUNG

Zur Aufbereitung von Wasser und zur Behandlung von industriellen Abwässern, die entweder wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt werden sollen (Abwasserrecycling) oder direkt eingeleitet werden, steht in der Fraunhofer-Allianz SysWasser eine Reihe verschiedener Technologien mit unterschiedlichem Reifegrad zur Verfügung. Diese Technologien wurden in verschiedenen Instituten entwickelt und werden von der Allianz als Technologiemodule für die Erarbeitung optimierter Systemlösungen oder Einzellösungen zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus lassen sich die technologischen Lösungen bei Bedarf mit dem in der Allianz vorhandenen Know-how über Wasserinfrastrukturen, Systemsteuerung und Messtechniken, Automatisierung und Ressourcenmanagement zur Entwicklung und Realisierung von Gesamtkonzepten nutzen. Neben konventionellen Verfahren stehen der Allianz zukunftsweisende Technologiemodule zur Verfügung, die im Folgenden anhand aktueller Entwicklungen dargestellt werden.

Membrantrenntechniken

Die Allianz SysWasser deckt das gesamte Spektrum der Membrantechnologien von der Mikro- bis zur Nanofiltration und der Umkehrosmose ab.

Mikrosiebe

Mikrosiebe überzeugen durch ihre hohe Permeatleistung und das scharfe Trennverhalten. Ihre metallischen Eigenschaften, wie hohe Festigkeit, bieten die Möglichkeit, große Filterflächen auf kleinstem Raum unterzubringen. Diese vorteilhaften Randparameter werden derzeit in unterschiedlichen Systemen weiter entwickelt und die Mikrosiebe in diversen Anwendungen erprobt.

Keramische Membranen

Membranen aus Keramik zeichnen sich durch eine hohe Trennschärfe und hohe Flüsse aus. Je nach Verwendungszweck können mit unterschiedlichen Keramikmaterialien trennaktive Schichten für die Mikro-, Ultra- und Nanofiltration mit Porengrößen von mehreren μm bis zu 0,9 nm hergestellt werden. In Form von Mehrkanalrohren mit 7–19 Kanälen und bis zu 1,2 m Länge lassen sich technisch relevante Membranen mit Trennflächen von bis zu 0,25 m² pro Element realisieren, die wiederum in kompakten Modulen von bis zu 25 m² Filterfläche eingesetzt werden.

Scheibenförmige Keramikmembranen in Rotationsscheibefiltern bieten die Möglichkeit, durch Rotationsbewegung die störende Deckschichtbildung bei einem vergleichsweise geringen Energiebedarf effizient zu vermeiden.

Ultraschall

Klärschlamm-desintegration

Zur Effizienzsteigerung bei der anaeroben Klärschlammbehandlung wird in der Allianz die mechanische Desintegration mit Ultraschall als Teilmengenbehandlung eingesetzt.

Die Ultraschallbehandlung

- beschleunigt den Abbau der organischen Substanzen,
- erhöht die Faulgasproduktion,
- verbessert die Entwässerbarkeit der Restschlämme und
- reduziert den Bedarf an Hilfsstoffen.

Dadurch lassen sich die Betriebskosten maßgeblich senken. Weitere Entwicklungen betreffen Problemstellungen bei Schwimm- und Blähschlamm, Schaum in der Faulung sowie die Bereitstellung von internen Kohlenstoffquellen für die Denitrifikation.



Ultraschallreinigung von Membranen

Zur Reinigung von Membranen in Wasseraufbereitungsanlagen eignet sich besonders die Kombination aus Rückspülung und Beschallung mit hohen Frequenzen. Damit lassen sich hohe Abreinigungsleistungen bei niedrigem Energieeinsatz erreichen.

Elektrophysikalische Fällung

Bei der elektrophysikalischen Fällung werden mittels einer Opferanode aus Eisen oder Aluminium Ionen im Wasser gelöst. Sie bilden Hydroxide und ermöglichen durch Adsorptions-, Fällungs- und Flockungsvorgänge die Abscheidung feinsten Feststoffpartikel, wie sie etwa in stabilen Emulsionen und Suspensionen vorkommen. Gleichzeitig wird an der Elektrodenoberfläche Wasser in hochreaktive Radikale gespalten, die durch zahlreiche Sekundärreaktionen mit Wasserinhaltsstoffen den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) verringern. Diese oxidativen Prozesse erzielen zudem eine desinfizierende Wirkung.

Verdampfungstechniken

Thermische Prozesse dienen der Entsalzung und Aufkonzentrierung von Meerwasser, Brackwasser und industriellem Prozessabwasser. Bei Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich konzentriert sich die Fraunhofer-Allianz SysWasser auf Prozesse, die eine Nutzung verfügbarer Abwärme in der Industrie oder auch der Energie aus erneuerbaren Quellen, z. B. als Solarenergie auf Niedertemperatur-Niveau, zulassen.

Solarthermische Membrandestillation

Die Allianz entwickelt autonome Entsalzungssysteme, die zu 100 Prozent mit Solarenergie versorgt werden. Die Energie für den Entsalzungsprozess wird von solarthermischen Kollektoren,

die Energie für die Hilfsaggregate, wie Umwälzpumpen und Ventile, von Photovoltaikmodulen bereitgestellt. Weiterführende Arbeiten zielen darauf, neben der Nutzung von solar erzeugter Wärme auch die Abwärme aus Industrie- oder Kraft-Wärmekopplungsprozessen zu nutzen.

Solare Meerwasserentsalzung mit gravitationsgestützter Vakuumverdampfung

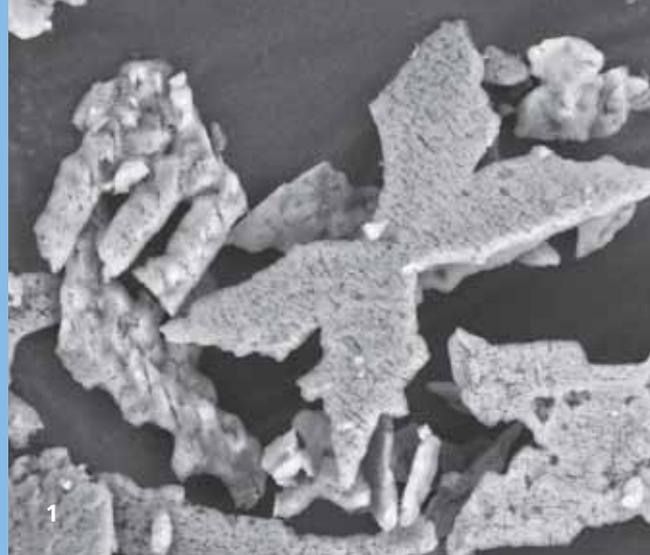
Eine einfache und robuste Alternative zu herkömmlichen Verfahren ist die gravitationsgestützte Vakuumverdampfung, die den effizienten Einsatz von Wärme bei niedrigen Temperaturen ermöglicht. Der Unterdruck wird unter Nutzung der Schwerkraft erzeugt und aufrechterhalten. Vakuum- oder Strahlpumpen sind nicht erforderlich. Der geringe Energiebedarf kann durch Solarkollektoren zur Bereitstellung der benötigten Wärmeenergie und Photovoltaikmodule für den Betrieb der elektrischen Komponenten gedeckt werden.

Trinkwassergewinnung aus Luftfeuchtigkeit

Eine alternative Trinkwasserproduktion, die keinen Zugang zu Oberflächen- oder Grundwasser erfordert, stellt die Gewinnung von Wasser aus Luftfeuchtigkeit dar. Der Energiebedarf lässt sich ausschließlich aus regenerativen Energiequellen decken. Die Luftfeuchte wird von einer hoch konzentrierten Salzlösung absorbiert. Das gebundene Wasser wird anschließend aus der im Kreislauf geführten Salzlösung destilliert. Um mit möglichst niedrigen Verdampfungstemperaturen zu arbeiten, ist die Destillationsanlage als gravitationsgestützte Vakuumverdampfung ausgeführt. Das Verfahren ist einfach aufgebaut, kostengünstig, unabhängig von jeglicher Infrastruktur und eignet sich zur dezentralen Wassergewinnung.

1 *Der Rotationsscheibenfilter ist ein dynamischer Filter mit einem Stapel keramischer Membranscheiben. Quelle: Fraunhofer IGB.*

2 *Elektrophysikalische Fällung von Störstoffen. Quelle: Fraunhofer IGB.*



Oxidation von Schadstoffen und Keimen

Zur effektiven und sicheren Entkeimung und Elimination schwer abbaubarer oder toxischer Schadstoffe und Spurenkontaminationen (Micropollutants), z. B. aus der chemischen und pharmazeutischen Industrie, verfügt die Allianz SysWasser über unterschiedliche Oxidationsverfahren.

Elektrochemische Oxidation

Die elektrochemische Oxidation unter Verwendung von diamantbeschichteten Elektroden basiert auf der Generierung starker Oxidationsmittel direkt im Wasser. Durch die Unterdrückung der Wasserelektrolyse werden an den Diamantelektroden mit nahezu hundertprozentiger Stromausbeute z. B. Ozon, Peroxid und Hydroxylradikale erzeugt, die für eine wirksame Beseitigung von Schadstoffen und Keimen sorgen. Weitere Chemikalien sind nicht erforderlich. Die Steuerung des Reinigungs- bzw. Entkeimungsprozesses erfolgt über eine einfache Regelung der verwendeten Niederspannung bzw. der Stromdichte.

Ozonisierung

In der Allianz SysWasser stehen Ozongeneratoren zur Verfügung, bei denen die Ozonkonzentration des erzeugten Sauerstoff-Ozon-Gemisches zwei- bis dreifach über der Konzentration liegt, die mit herkömmlichen elektrochemischen oder Gasentladungs-Ozongeneratoren erreicht werden kann. Der apparative Aufwand und der Energiebedarf sind gegenüber herkömmlichen Ozongeneratoren deutlich reduziert. Durch ein integrierbares TOC-Mess- und Regelsystem wird auch bei wechselnden Schadstoffkonzentrationen ein energieeffizienter, kontinuierlicher Betrieb ermöglicht.

UV-Oxidation

Durch ein Mikrowellen-Energiefeld lässt sich die Gasfüllung in einem beliebig geformten Glasgehäuse anregen und dadurch ein Plasma erzeugen, das UV-Licht der gewünschten Lichtwellenlänge in Abhängigkeit vom gewählten Gas oder Gasgemisch emittiert. Der flächig homogene Lichtaustritt vermindert eine Biofilm- oder Deckschichtbildung. Die aktiven elektrotechnischen Bauteile befinden sich außerhalb des durch das Wasser berührten Teils der Apparatur. Dies gewährleistet eine einfache Instandhaltung und hohe Lebensdauer. Durch die freie Wahl der Lampengeometrie ist eine zuverlässige und wirtschaftliche Entkeimung von Wasser auch bei hohen Volumenströmen möglich. Modifiziert und zur Erzielung relevanter Lichtspektren mit entsprechenden Gasen befüllt, kann das System auch zur Oxidation schwer abbaubarer organischer Verbindungen in der Wasseraufbereitung eingesetzt werden.

- 1 *Magnesiumammoniumphosphat (MAP)-Kristalle aus der Nährstoff-Rückgewinnung. Quelle: Fraunhofer IGB.*
- 2 *MAP aus filtriertem Abwasser nach anaerober biologischer Behandlung. Quelle: Fraunhofer IGB.*
- 3 *Kläranlage Schwerzen. Auch für kleinere Kläranlagen (10 000 EW) ist die Hochlastfaulung wirtschaftlich. Quelle: Fraunhofer IGB.*

TOC Total Organic Carbon
EW Einwohnerwert



Biologische Verfahren

Optimierung von Kläranlagen

Die Fraunhofer-Allianz SysWasser kann auf langjährige Erfahrungen in der Entwicklung und Optimierung von Reinigungsprozessen in kommunalen und industriellen Kläranlagen zurückgreifen. Durch systematische Analyse und spezifische Messungen wurden Prozesse wie Nitrifikation, Denitrifikation oder die Biogasproduktion verschiedener Kläranlagen optimiert und dadurch der Gesamtbetrieb wesentlich verbessert. Kostenintensive Umbaumaßnahmen konnten so vermieden werden.

Hochlastfaulung:

Weniger Klärschlamm, mehr Energie

Die Hochlastfaulung unterscheidet sich von herkömmlichen Faulprozessen durch

- geringere Verweilzeiten (5–7 anstatt 20 Tage),
- höhere organische Raumbelastungen, (8–10 anstatt 1–2 kg/m³×d),
- verbesserten Abbaugrad (bis zu 70 Prozent der organischen Bestandteile),
- verringerte Schaumbildung,
- erhöhte Biogasausbeute,
- verbesserte Entwässerung des Restschlammes,
- reduzierte Schlammengen und
- verminderte Kosten für die Schlamm Entsorgung.

Sie eignet sich auch zur Behandlung anderer organischer Substrate wie Grüngut aus der Landwirtschaft oder Biomüll aus der kommunalen Entsorgung. Die Erweiterung der Hochlastfaulung um eine Mikrofiltration mit Rotationsscheibenfiltern führt zusätzlich zu einer Erhöhung des Umsatzes und der erzielbaren Biogasmenge. Das partikelfreie Filtrat ist zudem reich an Nährstoffen, die zurückgewonnen und als Dünger genutzt werden können.

Anaerobe biologische Reinigung hoch belasteter Abwässer

Anaerobe Abwasserreinigungsverfahren eignen sich besonders für organisch hoch belastete Abwässer, wie sie beispielsweise in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, auf Schlachthöfen oder auch auf Flughäfen (Enteisungsmittel) vorkommen. Organische Kohlenstoffverbindungen werden in einem Bioreaktor zu Biogas umgesetzt. In Kombination mit einer Mikrofiltration werden Mikroorganismen zurückgehalten und dadurch die Umsatzraten erhöht. Das filtrierte Wasser ist hygienisch unbedenklich und eignet sich zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen.

Nährstoffrecycling aus Abwasser

Abwässer enthalten neben der organischen Fracht auch größere Mengen an Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor, Magnesium, Kalium oder Schwefel, die in der konventionellen Klärtechnik mit großem Aufwand eliminiert werden. Zur Gewinnung und Nutzung dieser Nährstoffe arbeitet die Allianz SysWasser an der Entwicklung und Optimierung von verschiedenen Techniken:

- Fällung von Magnesiumammoniumphosphat (MAP, Struvit) sowie Kaliumsalzen
- Konzentrierung von Ammonium durch Ionenaustauscher
- Strippung von Ammoniak und Fällung von Ammoniumsalzen in sauren Abgaswäschern

Die Techniken und Produkte stellen perspektivisch eine wirtschaftliche Alternative zur herkömmlichen Düngerproduktion dar.

Energieeffiziente und energieautarke Wasseraufbereitung

Die Verbindung von effizienten Energie- und Wasserinfrastruktursystemen ist eine inhaltliche und strukturelle Besonderheit der Arbeit der Allianz SysWasser. Arbeitsgebiete sind vor allem die Nutzung der im Wasser enthaltenen physikalischen und chemischen Energie sowie die Entwicklung energieeffizienter und energieautarker Wasserinfrastruktursysteme. Neben der Biogasproduktion sind die Phase Change Slurry und die photovoltaisch betriebene Umkehrosmose Beispiele, bei denen dieser Aspekt im Vordergrund steht. Darüber hinaus spielen energieautarke Komponenten in der Messtechnik bei einem modernen Wassermanagementsystem eine wichtige Rolle.

Phase Change Slurry

Ein Teil der im Abwasser enthaltenen Wärmeenergie wird zunächst in eine langzeitstabile, mechanisch-thermisch belastbare Emulsion von Paraffintröpfchen in Wasser überführt. Die hohen Energiedichten bei der Phasenumwandlung von Paraffin von fest zu flüssig (Schmelzenthalpie 200 kJ/kg) werden nutzbar gemacht. Da das Paraffin in einer Suspension vorliegt (Phase Change Slurry, PCS), hat das Material gleichzeitig die Vorteile eines flüssigen Mediums wie Pumpfähigkeit und hohe Wärmeleistung. Durch verschiedene Paraffine (Kettenlängen) soll erreicht werden, dass jeweils für den gewünschten Temperaturbereich ein maßgeschneiderter Kälteträger/-speicher zur Verfügung steht. Die in der PCS gespeicherte Wärme wird dann nach Bedarf durch die Wärmepumpe entzogen und dem Heiz- oder Warmwasserkreislauf zugeführt.

Energieeffiziente und energieautarke photovoltaische Systeme

Energieeffiziente und energieautarke Systeme bieten sich aufgrund der guten Korrelation von solarer Einstrahlung und dem Bedarf an Entsalzungsverfahren und Wasserpumpensystemen in ariden und semi-ariden Regionen an. In der Allianz SysWasser werden z. B. photovoltaisch (PV) betriebene Meerwasserentsalzungsanlagen auf Basis der Umkehrosmose entwickelt. Im Vordergrund stehen Systeme, bei denen der PV-Generator und der Entsalzungsprozess direkt gekoppelt werden. Die Entwicklungen umfassen dabei auch den Einsatz effizienter Konzepte zur Energierückgewinnung.

Wasserinfrastruktursysteme bieten aufgrund einer Reihe von Komponenten, die eine Speicherung von Energie und eine zeitliche Verschiebung von Lasten zulassen, besonders gute Möglichkeiten für ein intelligentes Lastmanagement. Dadurch kann ein wachsender Anteil regenerativer und damit fluktuierender Energiequellen in einem Energieversorgungsnetz ausgeglichen und die Kapazität von Speichern für elektrische Energie minimiert werden. So entstehen Versorgungsnetze für Wasser und Energie mit einem sehr hohen Anteil an regenerativen Stromerzeugern.

¹ *Blick ins Wasserhaus in Knittlingen.*

Quelle: Fraunhofer IGB.



WASSERMANAGEMENT

Prozessmesstechnik

Das Spektrum messtechnischer Problemstellungen ist sowohl in der Wasserversorgung als auch in der Abwasseraufbereitung besonders vielfältig. Hier erweisen sich die weitreichenden Kompetenzen spezialisierter Fraunhofer-Institute auf den Gebieten der Biosensorik, über die Mikrosystemtechnik oder Nanotechnologien, bis hin zur Umsetzung konventioneller physikalischer oder chemischer Messverfahren als außerordentlich nützlich. Eine optimale Prozessführung wasserwirtschaftlicher Anlagen ist ohne eine leistungsfähige In-situ-Diagnostik der komplexen wasserchemischen und biologischen Prozesse nicht realisierbar.

Anlagenautomatisierung

Anlagen zur Wasserversorgung und Abwasseraufbereitung sind durch komplexe Wirkungszusammenhänge gekennzeichnet. Der effiziente Betrieb ist nur mit modernen Verfahren der Steuerungs- und Regelungstechnik möglich. Die Fraunhofer-Allianz SysWasser bietet dafür Lösungen sowohl für bestehende als auch für neu zu errichtende Anlagen. Das Spektrum reicht dabei von der energieoptimalen Pumpensteuerung bis hin zu dezentralen Automatisierungslösungen für räumlich verteilte Anlagen. Die Anwendungen der Allianz SysWasser können dabei mit bestehenden Prozessleitsystemen gekoppelt werden.

Prozesssimulation und -optimierung

Die komplexe Steuerung und Regelung wasserwirtschaftlicher Prozesse, Anlagen und Aufbereitungsverfahren lässt sich nicht einfach typisieren. Die Aufgaben reichen vom modellgestützten Wassermanagement überregionaler Speichersysteme und ausgedehnter Wasserversorgungsnetze, über die Wachstumsregelung der Biozönose in modernen Kläranlagen oder die hochgradig nichtlineare Regelungen chemischer Titrationsverfahren bis hin zu robusten Zu- und Abflussregelungen dezentraler Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen. Jede spezifische Regelung ist dediziert zu entwerfen und den Anforderungen entsprechend zu parametrieren. Dabei dient das Monitoring verschiedener technischer Daten als Grundlage zur Systemoptimierung und zur Festlegung entsprechender Zieldefinitionen – denn nicht nur der Rohstoff Wasser, sondern auch die für die Versorgungsaufgabe notwendige Energie soll effizient und nachhaltig eingesetzt werden. Konkrete Möglichkeiten, Wasserressourcen besser für alle Nutzer zur Verfügung zu stellen, bieten intelligente IT-Lösungen. Sie beziehen alle Informationen der hochkomplexen Systeme, z. B. in Simulationsmodellen, ein und unterstützen somit fundierte Entscheidungen zur Planung der Infrastruktur, der Optimierung der Wasserverteilung und des Energieverbrauchs sowie zum Management von Sondersituationen wie Trockenheit oder Hochwasser. Durch Szenarienrechnungen können die Auswirkungen von Klimawandel, Änderung der Landnutzung, ökonomische Aspekte und Bevölkerungswachstum beurteilt und Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit hin geprüft werden.

¹ *Beispiel für veraltete Infrastruktur: Kläranlage in der Mongolei. Quelle: Fraunhofer AST.*



Neben dem Management von Wasserversorgungs- und Abwasserbehandlungssystemen erfordert auch die Planung des Neubaus und der Erweiterung von Kanälen, Reservoiren, Wasseraufbereitungsanlagen, -verteilnetzen und Abwasseraufbereitungsanlagen umfangreiches Know-how im Bezug auf die zugrundeliegenden Systeme. Die Fraunhofer-Allianz SysWasser bietet für ihre Kunden ein umfassendes Produktportfolio für die Modellierung aller Systeme im Wasserkreislauf, beginnend mit den Einzugsgebieten bis zu den Abwasseraufbereitungsanlagen. Diese Modelle können als Entscheidungshilfe bei anstehenden Investitionen dienen und sind auf die Anforderungen der Automatisierung zugeschnitten.

Dadurch wird es möglich, komplexe Aufgaben zu lösen, wie

- die optimale Wasserverteilung und -versorgung unter Einbeziehung aller verfügbaren Wasserressourcen (Oberflächenwasser, Grundwasser, aufbereitetes Abwasser),
- die mehrkriterielle optimale Steuerung von Reservoiren (Wasserversorgung, Hochwasserschutz) oder
- die Leckerkennung und -minimierung innerhalb von Wassernetzen.



WASSERWIRTSCHAFT

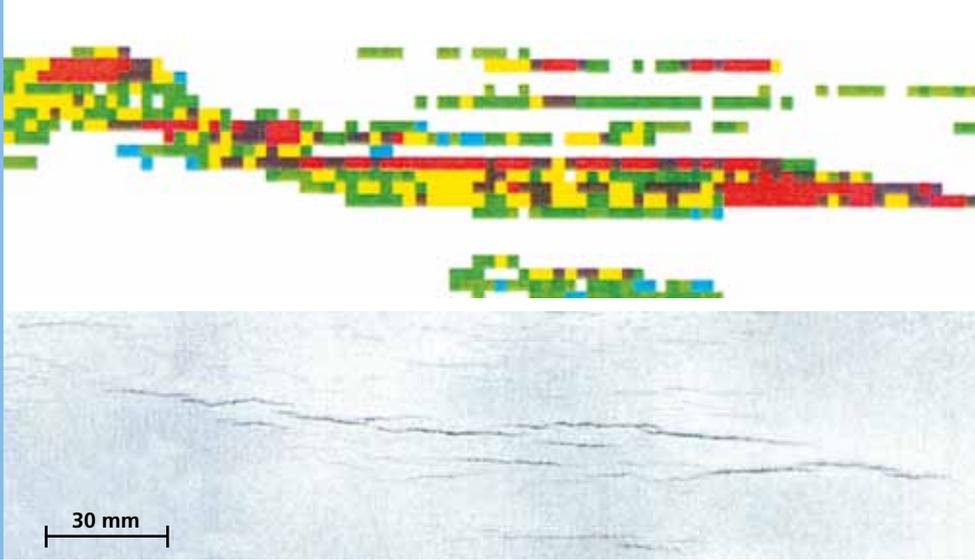
NACHHALTIGE KONZEPTION UND PLANUNG

Im Bereich der zukunftsorientierten Konzeption und Planung von Wasserinfrastruktursystemen werden integrierte urbane Konzepte entwickelt, die Nachhaltigkeit von Infrastruktursystemen bewertet, die Sicherheit sowie die Anpassungsfähigkeit der Systeme an klimatische und demographische Änderungen untersucht und Marktanalysen einschließlich Maßnahmen zur Marktvorbereitung durchgeführt. Potenzielle Kunden sind öffentliche Auftraggeber wie Kommunen, Gebietskörperschaften, Regional- oder Landesregierungen, aber auch Investorengruppen von größeren Bauvorhaben.

Nachhaltige, regenerative Wasserinfrastrukturen

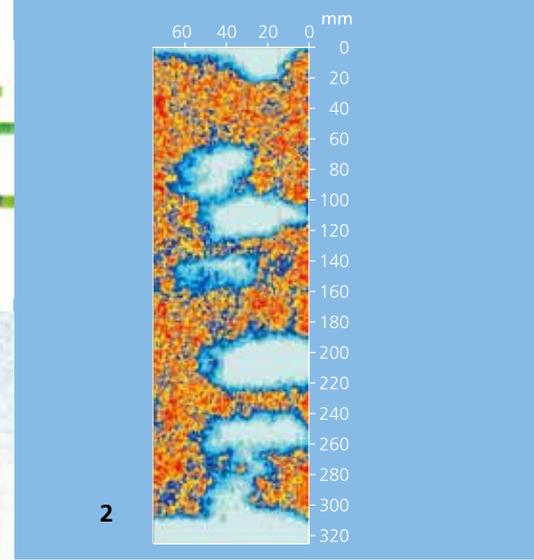
Während sich viele Städte heutzutage oberhalb der Erde äußerst dynamisch verändern, passen sie sich im Untergrund im Allgemeinen wenig an neue Entwicklungen an. Die konventionellen Netze und Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung verschlingen große Summen für Unterhalt, Sanierung und Neubau, besitzen aber auf der anderen Seite nur eine geringe Flexibilität hinsichtlich sich verändernder Randbedingungen, wie sie durch den Klimawandel, den demografischen Wandel und neue ökologische Herausforderungen entstehen. Da die herausragende Rolle der Wasserver- und Abwasserentsorgung für jeden Einzelnen und für die Volkswirtschaft insgesamt unbestritten ist, besteht Anlass, den bisherigen Strukturen zukunftsfähige Alternativen entgegenzusetzen. Angepasste kleinräumige Systeme mit modularen Komponenten, die moderne Technologien nutzen, sind bei gleicher Leistung oftmals flexibler und können an sich ändernde Randbedingungen angepasst werden. Mit neuen Konzepten, die auf diesen Systemen basieren, kann eine nachhaltige Wasserver- und Abwasserentsorgung geschaffen werden.

Um fundierte wasserwirtschaftliche Entscheidungen darüber treffen zu können, ob ein bestehendes wasserwirtschaftliches System oder eine Bewirtschaftungsstrategie zukunftsfähig ist, ob Modernisierungsbedarf besteht oder ob gar grundlegende konzeptionelle Änderungen bei den bestehenden Wasserinfrastruktursystemen erforderlich sind und welche der verfügbaren Lösungsalternativen am besten geeignet ist, werden Nachhaltigkeitsanalysen erstellt. Diese zielen darauf ab, die mit einem wasserwirtschaftlichen System verbundenen direkten und indirekten Effekte ganzheitlich zu beschreiben. Aus ökologischer Sicht spielen dabei die Stoffeinträge in die Gewässer sowie die effiziente Nutzung und Rückführung von Ressourcen eine entscheidende Rolle. Bei der ökonomischen Bewertung ist besonders zu beachten, dass wichtige Komponenten (z. B. Leitungs- und Kanalnetze) eine vergleichsweise lange Nutzungsdauer haben. Bei einer umfassenden Bewertung erfordert das u. a. die Berücksichtigung sich ändernder Randbedingungen. Außerdem besitzen soziale und technische Aspekte (Akzeptanz, Komfort, Sicherheit) eine hohe Relevanz.



1

30 mm



2

Integrierte urbane Strukturen (Wasser, Energie, Abfall)

Dauerhaft leistungsfähige Infrastruktursysteme sind unentbehrlich für Wirtschaft und Gesellschaft. Ein unkontrollierter Ausbau dieser Strukturen im Rahmen dynamischer Veränderungen birgt nicht nur Risiken für Klima und Umwelt, sondern auch für einen langfristig wirtschaftlichen Betrieb. Gleichzeitig bietet eine ganzheitliche, integrierte Betrachtung der verschiedenen städtischen Infrastrukturbereiche großes Potenzial, da sie teilweise eng verzahnt ineinandergreifen. Energie kann aus Abwasser und Abfall gewonnen werden, gleichzeitig ist Energie für Wasserbereitstellung und Abwasserbehandlung notwendig. Zur Verbesserung der Effizienz müssen sowohl Komponenten zur Ver- und Entsorgung als auch Transportwege im Rahmen von integrierten Gesamtplanungen für Infrastruktursysteme zusammen betrachtet werden. Gleichzeitig erlaubt eine differenzierte Entwicklung der Einzelkomponenten in einem urbanen Gesamtkonzept auch zukünftige Flexibilität und dauerhafte Ver- und Entsorgungssicherheit.

Sicherung von Wasserinfrastrukturen

Die Sicherheit wasserwirtschaftlicher Infrastrukturen und die Versorgungssicherheit sind für moderne Industriegesellschaften von existenzieller Bedeutung. Das Angebot der Fraunhofer-Institute umfasst in diesem Bereich Gefährdungsabwehr von Angriffen ebenso wie Maßnahmen zur Begrenzung und Behebung der Auswirkungen natürlicher Katastrophen (z. B. Hochwasser, Trockenperioden, Erdbeben). Aufgrund der zum Teil gesellschaftspolitisch brisanten Thematik unterliegt dieser Bereich besonderen Vertraulichkeitskriterien und -anforderungen, denen die Fraunhofer-Institute verpflichtet sind und die sie in ihrer täglichen Arbeit garantieren.

Als direkte Präventionsmaßnahmen werden Systeme zur Prüfung und Überwachung des Zustands von Leitungssystemen, Behältern und Bauwerken entwickelt und angepasst. Der Stand der Prüfsysteme skizziert sich wie folgt: Ultraschall-, Wirbelstrom-, Thermographie- und Mikrowellenverfahren wurden entwickelt, um Risse und Korrosionsschäden in Rohrleitungen und Behältern zu detektieren. Abhängig vom entsprechenden Material (Metall, Kunststoff, Beton), werden die Verfahren oder auch Verfahrenskombinationen für die konkrete Aufgabe angepasst sowie entsprechende Sensoren und Prüfsysteme hergestellt. Die Sensoren können entweder von außen angebracht werden und Prüfbereiche abfahren oder, in Molche integriert, von der Innenseite prüfen. Mit geführten Ultraschallwellen gelingt auch die Prüfung von bis zu 10 m langen Rohrsegmenten, die überwiegend noch im Erdreich liegen, wenn ein Teil des Rohrs zur Anbringung der Sensorik zugänglich gemacht wird.

Zur Prüfung und periodischen Überwachung von Bauwerken aus Stein und Beton gibt es u. a. Mikrowellen- und NMR-Verfahren zur Charakterisierung von Feuchte, Thermographie- und Ultraschallverfahren zur Detektion von Rissen und Strukturinhomogenitäten sowie magnetische Verfahren zur Ortung und Zustandscharakterisierung der Stahlarmierung. Unter Nutzung der neu entwickelten sowie der marktüblichen Systeme bietet die Allianz auch besondere Prüfdienstleistungen an.

Die zerstörungsfreien oder wenig zerstörenden Prüfverfahren der Allianz unterstützen die Maßnahmen der Betreiber, eine hohe Versorgungssicherheit und Qualität des knapper werdenden Gutes Wasser zu gewährleisten.

1 *Ultraschallanzeige und Photo eines Innenrisses.*

Quelle: Fraunhofer IZFP.

2 *Innenkorrosion mit luftgekoppeltem Ultraschall*

lokalisiert. Quelle: Fraunhofer IZFP.

Sanierungsunterstützung bei kontaminiertem Grundwasser

In vielen Regionen weltweit ist das Grundwasser die wichtigste Wasserressource, die jedoch in vielen Fällen aufgrund von Wasserknappheit und nicht nachhaltigen Industrie- und Landwirtschaftsstrukturen übernutzt und kontaminiert ist. Um zu einer nachhaltigen Nutzung von Grundwasserleitern zu kommen, können modellbasierte Entscheidungsunterstützungssysteme ein wirkungsvolles Hilfsmittel sein. Damit können langfristige Entnahme- und Sanierungsstrategien simuliert und optimiert werden. Dies ist Voraussetzung für die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren unter dem Aspekt der Wirksamkeit, der Einhaltung rechtlicher Vorgaben und der Kosten. Die Allianz SysWasser besitzt bezüglich der Modellierung komplexer Grund- und Oberflächensysteme sowie dem Aufbau von Entscheidungsunterstützungssystemen nationale und internationale Erfahrung.

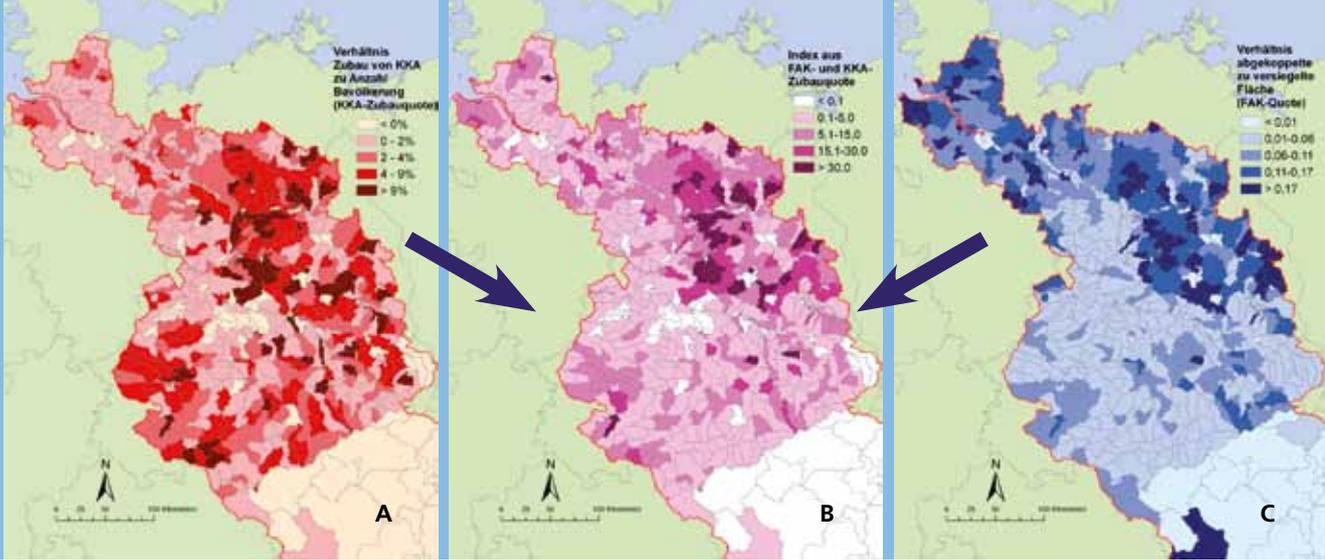
Hochwasserschutz

Überschwemmungen als Folge starker lokaler Niederschläge sind im städtischen Raum oft mit großen Schäden verbunden. Mit dem Ziel einer langjährigen Kostenminimierung werden daher anhand europäischer und nationaler Normen und Regelwerke Überflutungssicherheiten für Gebietsflächen unterschiedlicher Nutzung und Infrastruktur festgelegt. Für die Kommunen als Abwasserbeseitigungspflichtige erwächst daraus die Notwendigkeit, die Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen bzw. deren Versagenswahrscheinlichkeit sowie das damit verbundene Schadenspotenzial möglichst genau zu ermitteln.

Analyse von Wasserinfrastrukturen und Anpassung an klimatische und demographische Änderungen

Betreiber von Wasserinfrastruktursystemen sind häufig mit sich verändernden Randbedingungen konfrontiert. Der Klimawandel bringt Veränderungen bei den Niederschlagsmengen und bei der Niederschlagsverteilung mit sich. Rückgang sowie Alterung der Bevölkerung und sich verändernde Verhaltensweisen im Umgang mit Wasser führen zu veränderten Mengen im Bereich der Wasserversorgung. Im Bereich der Abwasserentsorgung führt dies ebenfalls zu veränderten Abwassermengen und auch zu veränderten Abwasserzusammensetzungen und -frachten. Des Weiteren verlangen neue ökologische Anforderungen, beispielsweise hinsichtlich der Regenwasserbewirtschaftung oder auch der Elimination zusätzlicher Schadstoffe, nach neuen Behandlungstechnologien und Ansätzen.

Vorhandene und zukünftig geplante Wasserinfrastrukturkonzepte werden daher auf sich ändernde Randbedingungen hin geprüft und bewertet, sodass für die unterschiedlichsten lokal vorhandenen Randbedingungen geeignete Konzepte umgesetzt werden können. Einen besonders erfolgversprechenden Ansatz dazu bieten Szenariountersuchungen beispielsweise auf kommunaler Ebene. Damit können unter Einbindung aller wichtigen Akteure integrierte und zukunftsgerichtete Ansätze zur Anpassung der Infrastrukturen an die neuen Herausforderungen entwickelt werden.



Marktanalysen und Marktvorbereitung

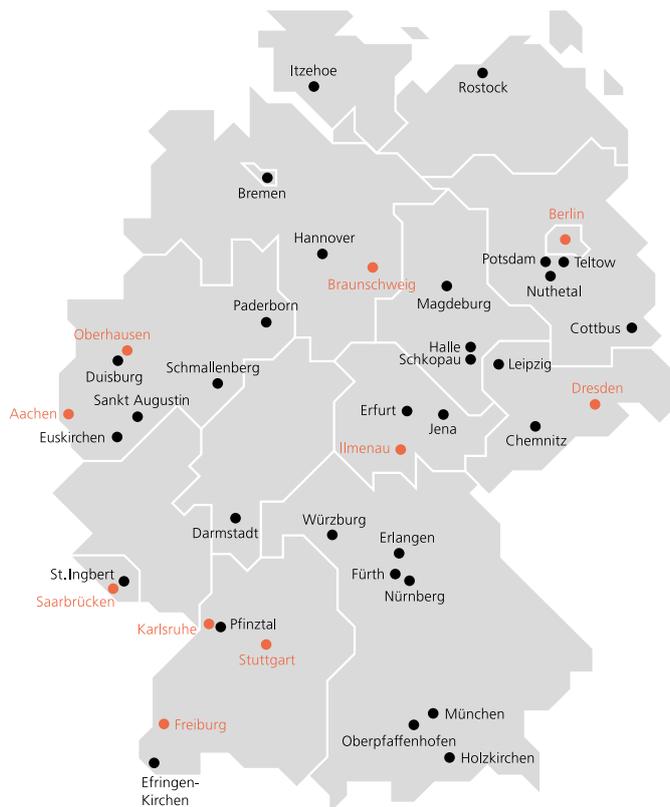
Um eine dauerhafte, leistungsfähige Wasserver- und Abwasserentsorgung für das Allgemeinwohl garantieren und eine hohe Qualität sicherstellen zu können, müssen kontinuierlich neue Herausforderungen bewältigt werden. Für Systemanpassungen und die Planung neuer Konzepte sind daher, neben der Entwicklung technischer Komponenten, Marktanalysen und Marktvorbereitung notwendig, die Potenzial und Problematik von Einzelkomponenten sowie Gesamtsystemen aufzeigen.

Trends und die Akzeptanz neuer Systeme werden unter anderem über Experteninterviews bzw. über Nutzerbefragungen ermittelt. In Pilotprojekten und marktorientierten Vorlaufstudien werden die Anwendungen neuer Techniken unter Realbedingungen getestet und untersucht. Hier werden Detailspekte von vielversprechenden Lösungen optimiert, um langfristig einen erfolgreichen Einsatz gewährleisten zu können.

1 Regionale Schwerpunkte eines Übergangs von zentraler zu dezentraler Abwasserentsorgung im deutschen Elbegebiet. Die allgemeine Tendenz (B) resultiert aus der (multiplikativen) Verknüpfung der Verbreitung von Maßnahmen zur Flächenabkopplung (FAK) (A) und des Zubaus von Kleinkläranlagen (KKA) (C). Quelle: Fraunhofer ISI.



KONTAKT



SPRECHER DER ALLIANZ

Dr.-Ing. Harald Hiessl
Telefon +49 721 6809-200
Fax +49 721 680977-200
harald.hiessl@isi.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48 | 76139 Karlsruhe

GESCHÄFTSTELLE

Prof. Dr. Dieter Bryniok
Telefon +49 711 970-4211
Fax +49 711 970-4200
dieter.bryniok@igb.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-
und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart

www.syswasser.de

MITGLIEDER

Fraunhofer-Institut für:
Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart
Anwendungszentrum Systemtechnik AST, Ilmenau
System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe
Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig
Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen
Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden
Lasertechnik ILT, Aachen
Solare Energiesysteme ISE, Freiburg
Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin
Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Dresden
Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

WWW.SYSWASSER.DE