

# Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Wasser in ausreichender Menge und Qualität stellt die Grundlage für das gesundheitliche Wohlergehen des Menschen, die nachhaltige Entwicklung von Regionen und eine intakte Umwelt dar. Allerdings wird Wasser nicht nur in trockenen Gebieten, sondern in vielen Regionen der Erde knapp. Haushalte, Landwirtschaft und Industrie bedarfsgerecht mit Wasser versorgen zu können, wird zu einer immer größeren globalen Herausforderung. Der Bedarf wird sich in den kommenden Jahren weltweit drastisch erhöhen. Hauptursachen dafür sind: Bevölkerungswachstum, zunehmende industrielle und landwirtschaftliche Aktivitäten sowie die Ausdehnung von Ballungsräumen. Gleichzeitig ist bereits heute die Verfügbarkeit von Wasser stark begrenzt und regional sogar rückläufig. Verschmutzte und überbeanspruchte Wasserressourcen, der Klimawandel sowie die ungleiche Verteilung der Vorräte tragen maßgeblich dazu bei.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE) auf den Weg gebracht. Mit WavE fördert das BMBF im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA<sup>3</sup>) 13 Verbundprojekte und ein wissenschaftliches Begleitvorhaben. Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis arbeiten disziplinübergreifend in praxisorientierten Teams zusammen. Ihr Ziel ist es, innovative und effiziente Technologien, Verfahrenskonzepte und Managementstrategien zu entwickeln, um die Wasserversorgung auch in Zukunft sicherzustellen.

Wie kann industriell genutztes Wasser im Kreislauf geführt werden? Welche Chancen bietet die Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser? Wie ist es möglich, behandeltes kommunales Wasser wiederzuverwenden? Diese drei Themen stehen im Mittelpunkt von WavE. Neben technischen Lösungen und einem intelligenten Management der relevanten Stoffströme integrieren die Projektpartner auch Kommunikations- und Bildungsmaßnahmen in ihre Vorhaben. Die Untersuchungen und Entwicklungen erfolgen praxisnah im In- und Ausland. Dies schafft Chancen für deutsche

Unternehmen, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken und sich auf dem internationalen Technikmarkt zu positionieren.

Das wissenschaftliche Begleitvorhaben TransWavE unterstützt die Arbeit der Verbundprojekte. Verantwortlich dafür ist die DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. Als zentrale Schnittstelle fördert TransWavE den Dialog zwischen allen Akteuren der Fördermaßnahme WavE. Das Vorhaben hilft, die Verbundprojekte fachlich zu begleiten, themenübergreifend zu vernetzen (intern und extern) und den Ergebnistransfer in die Praxis (national – europäisch – international) zu unterstützen.

#### **Kontakt zum Vernetzungs- und Transfervorhaben TransWavE**

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.  
Dr. Thomas Track  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main  
Telefon: +49 (0) 69 7564-427  
E-Mail: track@dechema.de  
www.bmbf-wave.de

#### **Laufzeit von TransWavE**

01.07.2016 – 30.04.2020

#### **Ansprechpartner beim BMBF**

Dr. Christian Alecke  
Ressourcen und Nachhaltigkeit  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Telefon: +49 (0) 228 9957-3890  
E-Mail: christian.alecke@bmbf.bund.de

#### **Ansprechpartner beim Projektträger**

Dr.-Ing. Markus Delay  
Projektträger Karlsruhe (PTKA)  
Telefon: +49 (0) 721 608-22530  
E-Mail: markus.delay@kit.edu

#### **Herausgeber**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### **Text**

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

#### **Redaktion und Gestaltung**

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

#### **Druck**

BMBF

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)



## Nationale und internationale Standorte in Wave

### Kommunales Abwasser

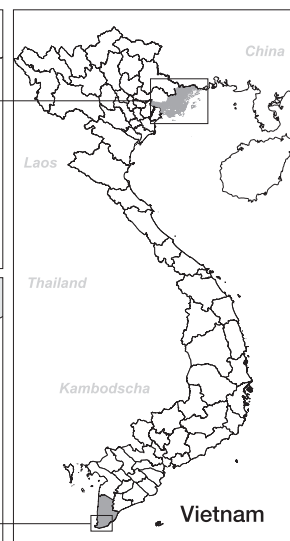
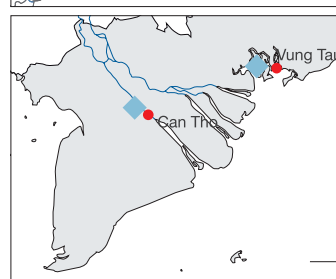
- ★ MULTI-ReUse
- TrinkWave
- ◆ HypoWave
- ▲ EPoNa

### Entsorgung

- ▲ REMEMBER
- ◆ WaKap

### Kreislaufführung Industrie

- ▲ DiWaL
- ◆ HighCon
- ★ PAKmem
- Re-Salt
- WaRelp
- + WEISS
- ✕ WaterMiner





# EPoNa – Ertüchtigung von Abwasserteichanlagen im Norden Namibias

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung – WavE

Das starke Bevölkerungswachstum in vielen afrikanischen Städten führt vielerorts zur Überlastung der Teichanlagen, die zur Behandlung des anfallenden Abwassers gebaut wurden. Unzureichend behandeltes Abwasser birgt jedoch gesundheitliche Risiken für Mensch und Tier. Gleichzeitig stehen die Städte häufig vor dem Problem, dass zum Ende der Trockenzeit wegen Wassermangels nicht mehr genug Futterpflanzen zur Ernährung der Tiere angebaut werden können. Das Verbundprojekt EPoNa geht deshalb der Frage nach: Wie lassen sich Abwasser-Teichanlagen in Afrika mit einfachen Mitteln so sanieren und ertüchtigen, dass anschließend ganzjährig Bewässerungswasser für Futterpflanzen zur Verfügung steht? Die Projektteilnehmer wollen Techniken entwickeln, um so die Kapazität der überlasteten Teichanlagen zu erhöhen. Gleichzeitig sollen die Methangas-Emissionen verringert, die Ablaufqualität verbessert und die im Wasser und Schlamm enthaltenen Nährstoffe als Dünger für die Pflanzen genutzt werden. Besondere Augenmerke liegen dabei auf Fragen der Wirtschaftlichkeit sowie der sozialen und ökologischen Auswirkungen.

### Chancen durch Wiederverwendung

Die vor mehr als zwölf Jahren gebaute Abwasser-Teichanlage in der Stadt Outapi im Norden Namibias steht beispielhaft für die Abwasserbehandlung vieler afrikanischer Städte: Probleme wie Überlastung und unzureichendes Management führen dazu, dass das Abwasser nur unzureichend aufbereitet wird. In der Regenzeit steht der Ablauf in direktem Kontakt mit dem Flutwasser der Oshanas, einem weitverzweigten Überflutungsgebiet. Dies führt zu entsprechender Verunreinigung des Wassers – und damit zu gesundheitlichen Risiken durch eine unkontrollierte Verbreitung von Krankheitserregern. Den Kommunen und den übergeordneten Managementstrukturen in der Region fehlt es an technischem und betrieblichem Wissen, um derartige Abwasserteiche sachgerecht zu sanieren und zu ertüchtigen.

Dabei ermöglicht ein sachgemäßer Betrieb von Abwasserteichen eine ganzjährige, qualitativ ausreichende Wasserwiederverwendung als Bewässerungswasser. Zusätzlich können die im Wasser und Schlamm enthaltenen Nährstoffe genutzt werden, um die Pflanzen zu düngen. Damit ist die Wasserwiederverwendung speziell in trockenen ländlichen Gebieten eine wichtige Alternative zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Gleichzeitig führt die erfolgreiche Behandlung des Abwassers zu einer drastischen Reduzierung der Verschmutzungen in den Überflutungsgebieten und somit zur Verringerung von gesundheitlichen Risiken durch Krankheitserreger.



Probenahme zur Analyse der Wasserqualität in der Teichanlage

### Anlage mit Modellcharakter

Als die Abwasser-Teichanlagen in Outapi gebaut wurden, hatte der Ort etwa 4000 Einwohner, von denen nur ein Bruchteil an die Kanalisation angeschlossen war. Inzwischen nutzen in der stetig wachsenden Stadt bereits mehr als 5000 Einwohner die Kanalisation. Die Anlagen der Stadt sind mittlerweile stark überlastet und verschlammmt beziehungsweise mit Algen bewachsen. Der ursprünglich gebaute Verdunstungsteich läuft immer wieder über. Das führt dazu, dass das Abwasser nur noch unzureichend aufbereitet wird.

Ziel von EPONa ist es, in Outapi die Möglichkeiten einer beispielhaften Sanierung, Erweiterung und Ertüchtigung von Abwasserteichen bis hin zu einer Produktionsanlage für Bewässerungswasser aufzuzeigen. Dazu werden neue, praxisnahe Technologien entwickelt. Diese werden hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Ablaufqualität und die Verminderung von Methan-Emissionen untersucht. Auch die Auswirkungen auf die Lebensqualität in der Region werden analysiert.

### Aus- und Weiterbildung der Akteure vor Ort

Die Projektpartner aus Forschung und Wirtschaft untersuchen dabei verschiedene Varianten der Vorbehandlung einerseits durch einen anaeroben biologischen Prozess, andererseits durch ein mechanisches Feinsieb: Leitwände in den Teichen sollen für eine bessere Strömungsführung sorgen, ein Ablauffilter soll die Wasserqualität in puncto Feststoffe, Algen und Hygiene verbessern. Zudem soll eine robuste Bewässerungstechnik entwickelt werden. Eine entsprechende Aus- und Weiterbildung der Akteure vor Ort sowie der Aufbau von Managementstrukturen sollen anschließend den nachhaltigen Betrieb sichern. Die so gewonnenen Ergebnisse sollen zur weiteren Verbreitung der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Die Modellmaßnahmen sind sowohl auf die Nachbarkommunen im Norden Namibias als auch auf andere Landesteile übertragbar: Nachfragen und weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen in vielen Ländern Afrikas und des Nahen Ostens, in denen es Abwasser-Teichanlagen und einen hohen Bedarf an Bewässerungswasser gibt. Künftige Projekte könnten dieses Verfahren weiter optimieren, und so das Wasser von Abwasserteichen für Bewässerung und Produktion von hygienisch unbedenklichen pflanzlichen Lebensmitteln nutzen.



Rinder auf dem Weg zur Wasserstelle

#### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

#### Projekttitel

Ertüchtigung von Abwasser-Ponds zur Erzeugung von Bewässerungswasser am Beispiel des Cuvelai-Etoshia-Basins in Namibia (EPONa)

#### Förderkennzeichen

02WAV1401A-F

#### Laufzeit

01.09.2016 – 31.08.2019

#### Fördervolumen des Verbundprojektes

2.998.000 Euro

#### Kontakt

Technische Universität Darmstadt  
Institut IWAR  
Fachgebiet Abwasserwirtschaft  
Prof. Dr. Susanne Lackner  
Franziska-Braun-Str. 7  
64287 Darmstadt  
Telefon: +49 (0) 6151 16 20301  
E-Mail: s.lackner@iwar.tu-darmstadt.de

#### Projektpartner in Deutschland

Aqseptence Group GmbH, Hanau  
Hochschule Geisenheim University (HGU), Geisenheim  
H.P. Gauff Ingenieure GmbH & Co.KG –JBG–, Frankfurt  
Institut für sozial-ökologische Forschung GmbH (ISOE), Frankfurt  
Institut für Umwelttechnik und Management an der Universität Witten/Herdecke (IEEM gGmbH), Witten

#### Projektpartner in Namibia

Ministry of Agriculture, Water and Forestry (MAWF)  
Ministry of Urban and Rural Development (MURD)  
Olushandja Sub Basin Management Committee (OLBMC)  
Outapi Town Council (OTC)  
University of Namibia (UNAM)

#### Internet

www.epona-africa.com

#### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### Redaktion und Gestaltung

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

#### Druck

BMBF

#### Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: Jochen Sinn, Institut IWAR

#### Stand

März 2018

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)



# HypoWave – Neue Wege zur wasserschonenden Landwirtschaft

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Die Landwirtschaft ist weltweit der größte Wasserverbraucher. Bereits heute benötigt sie rund 70 Prozent des verfügbaren Oberflächen- und Grundwassers. In wasserarmen Regionen steigt dieser Anteil mitunter bis auf 90 Prozent. Große Mengen der knappen Süßwasservorräte verdunsten dabei oder versickern ungenutzt in der Erde. Eine steigende Weltbevölkerung und die Verschmutzung der Wasserressourcen stellen die Landwirtschaft deshalb vor die Notwendigkeit, Wasser künftig effizienter zu nutzen. Das Verbundprojekt HypoWave untersucht erstmals ein wassersparendes Konzept für die Landwirtschaft, das speziell aufbereitetes Abwasser für die Pflanzenproduktion in sogenannten „hydroponischen Systemen“ verwendet. Hydroponisch heißt: Die Pflanzen wurzeln nicht in der Erde, sondern in Nährstofflösungen. Damit soll Wasser nachhaltiger genutzt und gleichzeitig die im Abwasser vorhandenen Nährstoffe als Pflanzendünger verwertet werden.

### Wertvolle Nährstoffe optimal einsetzen

Die hydroponische Pflanzenproduktion, auf die das Verbundprojekt setzt, funktioniert ähnlich wie man es entfernt auch von Hydrokulturen bei Zimmerpflanzen kennt: Die Pflanzen werden über eine Nährlösung in Pflanzgefäßen ohne Erde versorgt. Der Vorteil liegt zunächst im geringen Wasserverbrauch – dabei versickert kein Wasser und es verdunstet nur wenig.

Für die Bewässerung soll behandeltes kommunales Abwasser genutzt werden, denn dieses enthält auch wertvolle Nährstoffe. Die Innovation des Projektes besteht darin, die Aufbereitung des Bewässerungswassers gezielt auf eine optimale Nährstoffverwertung der Pflanzen auszurichten. Die Projektteilnehmer versprechen sich durch die angepasste Wasseraufbereitung eine hohe Produktqualität, weitgehend frei von Schwermetallen, organischen Spurenstoffen oder Krankheitserregern.



Die Pflanzen werden in einer auf Abwasser basierenden Nährlösung in Pflanzgefäßen ohne Erde im Gewächshaus angebaut.

### Pilotanlage mit hydroponischem Gewächshaus-System

Dieses Konzept erproben die Forscher zunächst in einer Pilotanlage auf der Kläranlage Hattorf in der Nähe von Wolfsburg. Dort wird das speziell aufbereitete kommunale Abwasser in einem hydroponischen Gewächshaus-System wiederverwendet. Dabei kommt erstmalig eine biologisch abbaubare Folie oberhalb des Wurzelraums der Pflanzen zum Einsatz. Sie soll die Wasserverdunstung weiter senken. Als Versuchspflanze wird Salat genutzt.

Neben den technischen Abläufen untersuchen die Projektpartner die Pflanzenproduktion, die Wirtschaftlichkeit der Anlage und die Qualität der erzeugten Produkte. Sie ermitteln dabei auch, wie die konkrete Vernetzung zwischen Siedlungswasserwirtschaft und Landwirtschaft gelingen kann, damit das Konzept tragfähig wird.

### Ökologisch und ökonomisch tragfähige Lösungen

In einem zweiten Schritt werden das Potenzial und die Marktfähigkeit der entwickelten hydroponischen Systeme geprüft. Dazu erfolgen mehrere Fallstudien mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen unter anderem im Hessischen Ried, in der Grenzregion zwischen Belgien und Deutschland sowie im portugiesischen Évora. Die möglichen Akteure solcher Systeme – etwa die beteiligten Behörden, Verbrauchervertreter, Planer und potenzielle Betreiber – werden während der kompletten Laufzeit durch Veranstaltungen in das Forschungsprojekt eingebunden.

Die Projektpartner suchen nach ökologisch und ökonomisch tragfähigen Lösungen: Sie hoffen, dass eine Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft auf Basis des hydroponischen Systems dazu beitragen kann, langfristig das lokal knapper werdende Angebot der Ressource Wasser zu erhöhen.



Als Pilotpflanze für die Versuche im hydroponischen Gewächshaus dient Salat.

#### **Fördermaßnahme**

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

#### **Projekttitle**

Einsatz hydroponischer Systeme zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung (HypoWave)

#### **Laufzeit**

01.09.2016 – 31.08.2019

#### **Förderkennzeichen**

02WAV1402A-K

#### **Fördervolumen des Verbundprojektes**

2.578.000 Euro

#### **Kontakt**

Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW)  
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Dockhorn  
Pockelsstr. 2a  
38106 Braunschweig  
Telefon: +49 (0) 531/391-7937  
E-Mail: t.dockhorn@tu-bs.de

#### **Projektpartner**

Abwasserverband Braunschweig (AVB), Braunschweig  
ACS-Umwelttechnik GMBH & Co. KG,  
Rielasingen-Worblingen  
aquadrat ingenieure Gesellschaft für Wasserwirtschaft und  
Informationssysteme mbH, Griesheim  
aquitectura – Studios für regenerative Landschaften, Berlin  
aquatune – Dr. Gebhardt & Co. GmbH, Hahnstätten  
BIOTEC Biologische Naturverpackungen GmbH & Co. KG,  
Emmerich am Rhein  
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrens-  
technik IGB, Stuttgart  
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH,  
Frankfurt am Main  
Universität Hohenheim, Stuttgart  
Wolfsburger Entwässerungsbetriebe AöR, Wolfsburg  
Xylem Water Solutions Herford GmbH, Herford

#### **Internet**

[www.hypowave.de](http://www.hypowave.de)

#### **Herausgeber**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### **Redaktion und Gestaltung**

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

#### **Druck**

BMBF

#### **Bildnachweise**

Vorderseite: Alexandra Bliedung, ISWW, TU Braunschweig  
Rückseite: Paul Miehe, Universität Hohenheim

#### **Stand**

März 2018

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)



# MULTI-ReUse – Aufbereitetes Wasser vielfältig nutzen

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Gereinigte Abwässer sind ein wichtiger Bestandteil des Wasserkreislaufs. Für den direkten Einsatz in Industrie und Landwirtschaft sind sie aber meist ungeeignet. Doch der Druck auf die verfügbaren Wasserressourcen wächst – Verschmutzung und Übernutzung, eine ungleiche Verteilung sowie der Klimawandel haben einen negativen Einfluss. In der Wiederverwertung von aufbereitetem Wasser, unter anderem als industrielles Brauchwasser, zur landwirtschaftlichen Bewässerung und Grundwasseranreicherung, liegt daher ein großes Potenzial. Das haben die Partner des Verbundprojektes MULTI-ReUse erkannt. Sie entwickeln neue Methoden und Verfahren, um in Kläranlagen gereinigtes Wasser für verschiedene Zwecke in erforderlicher Qualität und Menge zu konkurrenzfähigen Preisen aufzubereiten. Das spart Trinkwasser und schont die Grundwasservorräte. Die entwickelten Technologien sollen weltweit vermarktet werden.

### Neue Nutzungsmöglichkeiten erschließen

Derzeit wird gereinigtes Abwasser – umweltrechtlich geregelt – in der Regel in die angrenzenden Flüsse eingeleitet. Der Partikelgehalt oder die Nährstoffkonzentration in aufbereitetem Wasser sind zwar aus Sicht der Umwelt unproblematisch. Für eine industrielle Nutzung sind sie allerdings häufig zu hoch. In anderen Bereichen wie in der Landwirtschaft können beispielsweise die Konzentration von gelösten Ionen oder auch hygienische Bedenken die Verwendung von gereinigtem Wasser einschränken.

Die noch bestehenden Lücken in der Aufbereitungstechnik sowie beim Qualitätsmonitoring zu schließen, ist das Ziel des Projektes MULTI-ReUse. Die Partner wollen neue Verfahren zur Abwasser-Wiederverwendung entwickeln oder bestehende optimieren und diese – in flexiblen modularen Verfahrensketten kombiniert – anwenden und testen. Besonders im Blick haben sie dabei die Kostenfrage sowie die ökologischen und gesellschaftlichen Anforderungen. Außerdem sollen verschiedene Konzepte bewertet werden. Die Akteure wollen für das Wasser, das nach der „klassischen“ Abwasserreinigung aus dem Klärwerk kommt, auch zusätzliche Möglichkeiten erschließen, um es direkt wieder einsetzen zu können. Es soll zu Brauchwasser in unterschiedlichen Qualitäten und Mengen aufbereitet werden. Damit ist über eine industrielle Nutzung hinaus auch eine Verwendung in der Landwirtschaft, zur künstlichen Grundwasseranreicherung und im Ausland sogar in der Trinkwasserproduktion möglich.

### Praxistest in einer Pilotanlage

Die neuen Ansätze werden zuerst im Labor entwickelt und anschließend in einer Pilotanlage am Standort des Klärwerks Nordenham in Niedersachsen praktisch umgesetzt. Die Forscher testen hier vor allem innovative Verfahrenskombinationen im Bereich der Membranverfahren – Ultrafiltration und Umkehrosmose. Außerdem entwickeln und prüfen sie Methoden zur mikrobiologischen Überwachung, die die Qualität des aufbereiteten Wassers kontinuierlich kontrollieren.

Während der Testphase werden mit den MULTI-ReUse-Aufbereitungstechniken drei Brauchwässer in unterschiedlicher Wasserqualität produziert und qualitativ überwacht. Außerdem bewerten die Projektbeteiligten verschiedene Rohrmaterialien auf ihre Eignung für ein Verteilungsnetz des jeweiligen Brauchwassertyps.



In der Pilotanlage auf dem Klärwerk Nordenham testen die Projektpartner Verfahrenskombinationen mit Ultrafiltration und Umkehrosmose.

## Wasserwiederverwendung weltweit von Bedeutung

Die Wiederverwendung kommunaler und industrieller Abwässer wird weltweit immer wichtiger, um die Wasserverfügbarkeit ökonomisch und ökologisch sicherzustellen. Die Ergebnisse des Projekts sind deshalb nicht nur für Deutschland von Bedeutung. Um den in MULTI-ReUse entwickelten Baukasten global zu vermarkten und damit innovative Verfahren zur Wasserwiederverwendung aus Deutschland konkurrenzfähiger zu machen, entwickeln die Projektpartner eine Exportstrategie.



Für die sichere Abwasserwiederverwendung wird die Wasserqualität mit geeigneten Monitoringmethoden überwacht.

### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

### Projekttitel

Modulare Aufbereitung und Monitoring bei der Abwasserwiederverwendung (MULTI-ReUse)

### Laufzeit

01.09.2016 – 31.08.2019

### Förderkennzeichen

02WAV1403A-I

### Fördervolumen des Verbundprojektes

2.345.000 Euro

### Kontakt

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH  
Dr.-Ing. Wolf Merkel  
Barbara Zimmermann, M.Sc.  
Moritzstr. 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Telefon: +49 (0) 208 40303-322  
E-Mail: b.zimmermann@iww.online.de

### Projektpartner

De.EnCon GmbH, Oldenburg  
Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA), Frankfurt am Main  
IAB Ionenaustauscher GmbH Bitterfeld, Bitterfeld  
inge GmbH, Greifenberg  
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, Frankfurt  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF), Müncheberg  
Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV), Brake  
Universität Duisburg-Essen Lehrstuhl Biofilm Centre, Essen

### Internet

[www.water-multi-reuse.org](http://www.water-multi-reuse.org)

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

### Redaktion und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

### Druck

BMBF

### Bildnachweise

Vorderseite: MULTI-ReUse  
Rückseite: [www.eventfotograf.in/](http://www.eventfotograf.in/) / ©JRF e.V.

### Stand

März 2018

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)





# TrinkWave – Naturnahe Verfahren für die Wasserwiederverwendung

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Ist es möglich, gebrauchtes Wasser so aufzubereiten, dass es zur Stützung der städtischen Trinkwasserversorgung wiederverwendet werden kann? Dieser Frage gehen die Partner des Verbundprojekts TrinkWave nach. Sie wollen naturnahe technische Reinigungsverfahren entwickeln, die aus gebrauchtem Wasser hochwertiges und damit zusätzliches Wasser für die Versorgung bereitstellen. Die Verfahren sollen in Zeiten zunehmender globaler Trockenheit eine ausreichende Wasserversorgung ermöglichen. Um die gesellschaftliche Akzeptanz für die Wasserwiederverwendung zu erhöhen, beziehen die Forscher auch wasserrechtliche und sozialwissenschaftliche Aspekte ein.

### Versorgung mit alternativen Wasserressourcen ergänzen

Die Auswirkungen des Klimawandels sowie die Verschmutzung und Übernutzung vorhandener Trinkwasserressourcen verstärken die Wasserknappheit weltweit. Hinzu kommt eine zunehmende Verstädterung sowie wachsende industrielle und landwirtschaftliche Aktivitäten, die den Anteil an gereinigtem Abwasser in Flüssen und Seen steigen lassen. Dies stellt insbesondere für die Trinkwasserversorgung in Großstädten eine große Herausforderung dar.

Weltweit rückt daher zunehmend die Nutzung von gebrauchtem Wasser als alternative Wasserressource in den Fokus. Schon heute gibt es dafür viele Beispiele, vornehmlich in trockenen und halbtrockenen Regionen: Hier wird lokal anfallendes gereinigtes Abwasser als nachhaltige und kostengünstige Alternative anstelle von Oberflächen- oder Grundwasserressourcen verwendet. Aber auch in klimatisch gemäßigten Gegenden wie Deutschland kann zu Zeiten extremer Trockenheit das Wasser regional knapp werden und so eine Wiederverwendung ökonomisch und ökologisch sinnvoll sein.

### Entwicklung naturnaher Aufbereitungsprozesse

Aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen in der Grundwasserbewirtschaftung, Grundwasseranreicherung und Uferfiltration in Deutschland wollen die zwölf Projektpartner aus Wissenschaft, Behörden und Industrie energieeffiziente, naturnahe Aufbereitungsprozesse für eine Wasserwiederverwendung entwickeln. Die Prozes-

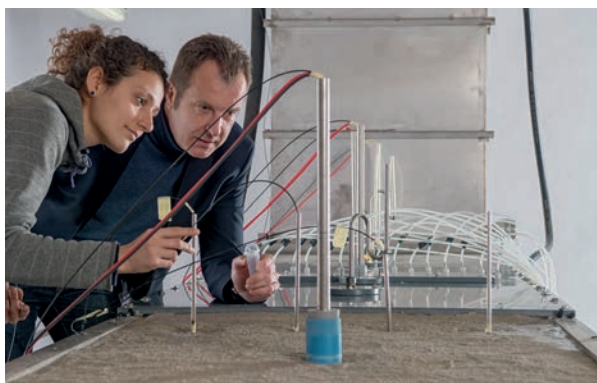
se sollen ohne den Einsatz von Hochdruckmembranen einwandfreies Wasser liefern. Denn Hochdruckmembranverfahren benötigen viel Energie und produzieren teuer zu entsorgende Reststoffe. Um eine ausreichende Trinkwasserqualität sicherzustellen, werden in einem sogenannten Multibarrierensystem mehrere aufeinanderfolgende Verfahrensschritte kombiniert. Das heißt, die einzelnen Schritte dienen als Hürden, halten möglichst alle störenden Stoffe aus dem Abwasser zurück und erhöhen so die Sicherheit. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entfernung von Krankheitserregern, Antibiotikaresistenzgenen und organischen Spurenstoffen. Zudem sollen die Verfahren hohe Versickerungsraten, einen hohen Grundwasserschutz sowie eine hohe Prozessstabilität gewährleisten. Die großtechnische Umsetzung der neuentwickelten Aufbereitungsverfahren wird in Berlin direkt als Vorstufe der Trinkwasseraufbereitung getestet.



In einer Pilotanlage an der TU München werden die Verfahren zur geplanten Wasserwiederverwendung getestet.

## Wasserwiederverwendung weltweit von Bedeutung

Wesentliche Hürden für die Wiederverwendung von gebrauchtem Wasser sind bislang rechtliche Unsicherheiten zu Qualitätsanforderungen, eine mangelnde Kenntnis darüber, wie zuverlässig die eingesetzten Aufbereitungsverfahren sind sowie Bedenken der Verbraucher. Erstmals entwickeln die Projektteilnehmer daher multidisziplinäre Bewertungsansätze, anhand derer sie die Verfahrenskombinationen zur Wasserwiederverwendung beurteilen. Dabei fließen technische, wasserrechtliche und sozialwissenschaftliche Aspekte ein und ermöglichen es so, das Thema ganzheitlich zu betrachten.



Forschende nehmen Proben des Filtermaterials aus der Anlage und bestimmen die darauf angesiedelten Mikroorganismen. Diese bauen die organischen Stoffe im Abwasser ab.

Die Bewertungsansätze dienen u.a. dazu, wasserrechtliche Konflikte zwischen Grundwasserschutz und Wasserwiederverwendung anhand von Fallbeispielen wissenschaftlich zu bewerten, eindeutige Kriterien für die Anforderung an die Qualität festzulegen und so die Akzeptanz für eine Wiederverwendung zu erhöhen. Eine sozialwissenschaftliche Begleitforschung entwickelt Ansätze zur Risikokommunikation mit Nutzern und Interessengruppen. Als Ergebnis wollen die Forschenden Handlungsempfehlungen für Genehmigungsbehörden und Planer bereitstellen, die die entwickelten Instrumente und technischen Leitlinien vermitteln.

### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

### Projekttitel

Planungsoptionen und Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen (TrinkWave)

### Laufzeit

01.09.2016 – 31.08.2019

### Förderkennzeichen

02WAV1404A-L

### Fördervolumen des Verbundprojektes

3.124.000 Euro

### Kontakt

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft  
Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes  
Am Coulombwall 3  
85748 Garching/München  
Telefon: +49 (0) 89 289-13713  
E-Mail: jdrewes@tum.de

### Projektpartner

Berliner Wasserbetriebe (BWB), Berlin  
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH, Darmstadt  
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau  
COPLAN AG, Eggenfelden  
DHI-WASY GmbH, Syke  
HYTECON GmbH, Herford  
Technische Universität Berlin  
TZW: DVGW – Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe  
Universität Bayreuth

### Internet

[www.trinkwave.de](http://www.trinkwave.de)

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

### Redaktion und Gestaltung

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

### Druck

BMBF

### Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: Andreas Heddergott

### Stand

März 2018

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)



# DiWaL – Elektroimpulse säubern umweltfreundlich Industrierwasser und Lacke

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwieder-verwendung und Entsalzung (WavE)

Die meisten Lacke nutzen heutzutage Wasser als Grundlage und sind damit umweltfreundlicher als solche mit Löse-mitteln. Wasserbasierte Lacke haben aber einen Nachteil: Mikroorganismen wie Bakterien fühlen sich darin sehr wohl und breiten sich aus. Betroffen sind davon auch die Lackieranlagen in der Automobilbranche und anderen Indust-riezweigen. Um die Mikroorganismen zu bekämpfen, werden bislang häufig chemische Gifte – sogenannte Biozide – eingesetzt. Zudem wird bei dem Desinfektionsprozess sehr viel Frischwasser verbraucht und Abwasser produziert. An einer alternativen Lösung arbeiten die sechs Partner aus Forschung und Industrie des Verbundprojektes DiWaL. Sie wollen industrielle Wässer und Lacke mit Elektroimpulsen nachhaltig und ohne chemische Zusätze entkeimen.

### Probleme durch Biozide

Bevor ein Auto eine Decklackschicht erhält, muss die Ka-rosserie gereinigt und vorbehandelt werden. Zudem erhält sie eine Schicht, die vor Korrosion schützt. Das geschieht in der Oberflächenvorbehandlung und in der elektrophoreti-schen Tauchlackierung. Letzteres ist ein elektrochemisches Verfahren, das über ein Gleichspannungsfeld im Tauchbad einen gleichmäßigen Lackfilm ermöglicht. In den verwen-deten Wässern und Lacken können sich jedoch Bakterien so vermehren, dass sie die Oberflächenbeschichtung beein-trächtigen. Um sie zu bekämpfen, hat man bislang meist Biozide eingesetzt.



Lackierung im Tauchbad: In den Wässern und Lacken können sich Bakterien leicht vermehren und die Oberflächenbeschichtung beeinträchtigen.

Diese können Probleme bei der Abwasserbehandlung verursachen und sind aus Umweltsicht bedenklich. Zudem können Biozide bei Langzeitanwendung und auftretenden Fehlern bei der Dosierung dazu führen, dass Bakterien

Resistenzen entwickeln. Prozessflüssigkeiten müs-sen daher regelmäßig verworfen und arbeitsintensive Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen der Tauch-becken durchgeführt werden.

### Entkeimung ganz ohne Chemie

Mit der Elektroimpulstechnologie setzt das Projekt DiWaL auf ein Verfahren, das ohne chemische Zusätze arbeitet, damit Wasserressourcen schont und gleichzeitig einen Beitrag zum Gewässerschutz leistet. Die Elektroimpuls-behandlung setzt Zellen, wie beispielsweise Mikroorga-nismen, einem elektrischen Feld aus. Dieses polarisiert die Zellmembran. Dadurch öffnen sich wässrige Poren, die letztendlich zum Absterben der Mikroorganismen führen. Dieses Phänomen wird großtechnisch genutzt, um Zellinhaltsstoffe zu gewinnen und Mikroorganismen abzutöten („kalte Pasteurisation“). Da die Elektroimpulse rein physikalisch wirken, können Bakterien keine Resis-tenz gegen dieses Verfahren entwickeln – anders als bei gängigen Bioziden.

### Optimierte Elektroimpulsbehandlung

Die Projektpartner wollen die Elektroimpulsbehandlung erstmalig auf Lacke und Wässer im Tauchlackierprozess anwenden. Sie erproben diese Technik sowohl in anodi-schen als auch kathodischen Tauchbädern zur Lackie- rung von Allgemeingütern und Autokarosserien. Für die Impulstechnik entwickeln die Forschenden neuartige, halbleiterschaltete Impulsgeneratoren. Wegen des hohen

Wasserverbrauchs bei der Lackierung – sie ist bei der Automobilherstellung der wasserintensivste Bereich – wird die Elektroimpulstechnologie zudem in ein neues, automatisiertes und ressourceneffizientes Wassermanagement- und Anlagenkonzept für die Vorbehandlung und Tauchlackierung integriert. Dies soll es ermöglichen, Wasser in der Fabrik besser im Kreislauf zu führen und weniger Frischwasser zu verbrauchen.



Mit der Elektroimpulstechnologie ist es möglich, Wasser ganz ohne Chemie zu entkeimen. Das Bild zeigt eine Pilotanlage, die Bakterien in Krankenhausabwässern abtötet.

Im Mittelpunkt der anlagentechnischen Umsetzung stehen die Aspekte Qualität, Kosten und Umwelt. Wesentlich dabei ist auch die Perspektive der Anwender: DiWaL analysiert dazu die Anforderungen der Nutzer ebenso wie mögliche Hemmnisse; die Ergebnisse fließen in das Konzept und die technische Entwicklung ein. Das neuartige Elektroimpulsverfahren eignet sich durch die ressourcenschonende Wasserkreislaufführung und den Verzicht auf Biozide nicht nur für den Einsatz in Deutschland. Insbesondere auch Produktionsstandorte in Regionen, die unter Wasserknappheit leiden oder nur über eine mangelnde Abwasserbehandlung verfügen, könnten davon profitieren.

#### **Fördermaßnahme**

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

#### **Projekttitel**

Entwicklung eines ressourceneffizienten Wassermanagement- und Anlagenkonzepts für Vorbehandlungs- und Tauchlackieranlagen unter Nutzung der Elektroimpulstechnologie zur Dekontamination von industriellen Wässern und Lacken (DiWaL)

#### **Laufzeit**

01.11.2016 – 31.10.2019

#### **Förderkennzeichen**

02WAV1405A

#### **Fördervolumen des Verbundprojektes**

2.133.000 Euro

#### **Kontakt**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnologie (IHM)  
Dr. Christian Gusbeth  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
Tel.: +49 (0) 721 608 23869  
E-Mail: christian.gusbeth@kit.edu

#### **Projektpartner**

BMW Group, Leipzig  
Eisenmann SE, Böblingen  
Emil Frei GmbH & Co. KG, Bräunlingen  
Hochschule Pforzheim, Gestaltung, Technik,  
Wirtschaft und Recht (INEC)  
PPG Deutschland Business Support GmbH, Wuppertal

#### **Internet**

[www.ihm.kit.edu/724.php](http://www.ihm.kit.edu/724.php)

#### **Herausgeber**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### **Redaktion und Gestaltung**

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

#### **Druck**

BMBF

#### **Bildnachweise**

Vorderseite: Eisenmann SE  
Rückseite: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnologie (IHM)

#### **Stand**

März 2018

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)



# HighCon – Industrielle Abwässer als Rohstoffquelle nutzen

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Bei der Wiederverwendung von Abwässern aus der Industrie fallen hochkonzentrierte Restströme an. Diese Konzentrate enthalten Salze, schwer abbaubare organische Verbindungen und auch Schwermetalle. Sie landen derzeit fast ausschließlich in kommunalen Kläranlagen oder in einigen Ländern sogar direkt in der Umwelt. Im Verbundvorhaben HighCon wollen Forscher gemeinsam mit Industriepartnern Wege suchen, die Konzentrate besser zu verwerten. Sie werden nicht mehr als Abfallprodukte betrachtet, die es zu entsorgen gilt, sondern dienen als wertvolle Rohstoffquelle.

### Ganzheitlicher Ansatz bei der Wiederverwendung

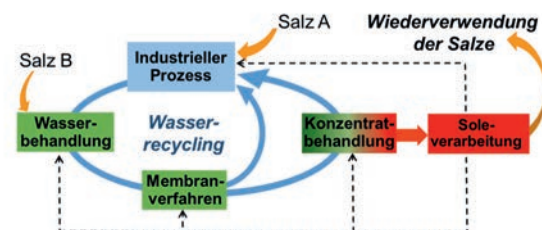
Um Konzentrate wiederverwenden zu können, bedarf es eines ganzheitlichen Konzeptes, das verschiedene Aufbereitungsverfahren sowie Vermeidungs- oder Substitutionsmaßnahmen berücksichtigt. Besonders die Abtrennung anorganischer Stoffe wie gelöste Salze stellt eine Herausforderung dar. Zum einen kann nur hierdurch ihr Eintrag in den natürlichen Wasserkreislauf verhindert werden. Zum anderen wird in immer mehr Bereichen die Rückgewinnung dieser Substanzen als Wertstoff wirtschaftlich interessant. So können zurückgewonnene Laugen in der eigenen Prozesskette für industrielle Reinigungsprozesse wiederverwendet oder für andere Anwendungen weiterverarbeitet werden. Dazu zählen unter anderem Soda, Schwefelsäure oder Trockensalze wie Tausalz oder andere Salzarten. Dies ist insbesondere auch vor dem Hintergrund der begrenzten Kalisalz-Reserven sowie des stark schwankenden Preises relevant.

### Branchenangepasste Lösungen gesucht

Die Wasserwiederverwendung in der Industrie erfordert – anders als im kommunalen Bereich – individuelle Lösungen. Sie muss an die jeweilige Branche angepasst werden. Wesentlich für die Betreiber von Wasserrecyclinganlagen ist dabei, die Reststoffe zu minimieren. Grund sind die sehr hohen Entsorgungskosten und die Entsorgungssicherheit. Das Verbundvorhaben HighCon hat deshalb das Ziel, neuartige, mehrstufige und für eine selektive Wertstoffrückgewinnung geeignete Prozesse für die am Projekt beteiligten Unternehmen zu entwickeln. Sie sollen eine nahezu vollständige Wiederverwertung der anfallenden

Konzentrate sowie zusätzlich eine mehrfache Verwendung von aufbereitetem Abwasser ermöglichen. Bestehende Technologien werden zu diesem Zweck weiterentwickelt und an die speziellen Anwendungen der Industriepartner aus Biotechnologie, Kosmetikherstellung, Lebensmittelproduktion und Textilmanagement angepasst.

Zu den Kernkomponenten zählt die neuartige Kombination von Membranprozessen, um anorganische Salze von organischen Schadstoffen in Konzentraten zu trennen. So wird ein durch Umkehrosmose gewonnenes Konzentrat mit verschiedenen Verfahren, wie etwa der Nanofiltration oder der Elektrodialyse Metathese zur Umsalzung weiterbehandelt. Durch diesen Schritt können Salze, die normalerweise das Kernproblem bei der Konzentratsentsorgung sind, separat und mit stark verringertem Volumen weiter aufbereitet werden. Der konzentrierte und mit anorganischen Salzen angereicherte Stoffstrom wird weiter bis an die Sättigungsgrenze aufkonzentriert. Dies geschieht z.B. durch eine Membrandestillation. Anschließend kann dieses „Superkonzentrat“ beispielsweise in einem Kristallisor als Feststoff abgetrennt werden.



Das Konzept von HighCon umfasst zusätzlich zur konventionellen Wasserwiederverwendung eine separate Konzentratbehandlung, um Salze abzutrennen und wiederzuverwerten.

Wesentliches Ziel ist dabei, gezielt sortenreine Salze bei verschiedenen Konzentrationsstufen abzutrennen und die gewonnenen Feststoffe qualitativ soweit aufzubereiten, dass sie wieder dem Produktionsprozess oder einer weiteren Verwertung zugeführt werden können. Die Forschenden erproben hierfür eine selektive Niedertemperatur-Destillation-Kristallisation. Hierbei handelt es sich um ein innovatives Destillationsverfahren, das bei Unterdruck arbeitet und energiesparend mit Abwärme aus industriellen Prozessen betrieben werden kann.

## Praxistest in der Industrie

Um die Behandlungstechnologien zu entwickeln und anzupassen, führt das Projektteam zunächst umfangreiche Laborversuche mit synthetischen und realen Abwässern durch und überträgt diese auf den Pilotmaßstab. Anschließend erfolgt der Praxistest in verschiedenen Industrieunternehmen – einem Hersteller von löslichen Kaffees, einem Bioethanolproduzenten, einem Kosmetikerhersteller und einer Wäscherei für Berufskleidung. Erstmals will HighCon auch den Prozess der Wasserwiederverwendung ganzheitlich optimieren. Dafür soll ein Simulationswerkzeug entwickelt werden, das die komplexen Zusammenhänge von den Rohwasserströmen bis hin zur Konzentratverwertung abbildet und die Nachhaltigkeit bewertet.



Wertstoffrückgewinnung: In einer Nanofiltrationsanlage werden organische und anorganische Bestandteile von Konzentraten getrennt.

### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

### Projekttitel

Konzentrate aus der Abwasserwiederverwendung (HighCon)

### Laufzeit

01.09.2016 – 31.08.2019

### Förderkennzeichen

02WAV1406A-H

### Fördervolumen des Verbundprojektes

2.447.000 Euro

### Kontakt

Technische Universität Berlin  
 Fachgebiet Umweltverfahrenstechnik  
 Prof. Dr.-Ing. Sven-Uwe Geißen  
 Sekr. KF 2  
 Straße des 17. Juni 135  
 10623 Berlin  
 Telefon: +49 (0) 30 314-22905  
 E-Mail: sven.geissen@tu-berlin.de

### Projektpartner

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt  
 DEUKUM GmbH, Frickenhausen  
 DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Karlsruhe  
 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg  
 SolarSpring GmbH, Freiburg  
 Terrawater GmbH, Kiel  
 WEHRLE Umwelt GmbH, Emmendingen

### Internet

[www.highcon.de](http://www.highcon.de)

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
 Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

### Redaktion und Gestaltung

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

### Druck

BMBF

### Bildnachweise

Grafik: Technische Universität Berlin, FG Umweltverfahrenstechnik  
 Bild: WEHRLE Umwelt GmbH

### Stand

März 2018



# PAkmem – Stark belastete Prozesswässer mit keramischen Membranen aufbereiten

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Beim Fördern von Erdöl und Erdgas aus schwer zugänglichen Lagerstätten wie Ölsanden, Tonsteinen oder Kohleflözen fallen verstärkt mit Kohlenwasserstoffen verunreinigte Wässer an. Auch bei der Produktion von Keramik entstehen Abwässer, die nicht leicht zu behandeln sind. Salz- und organikhaltige Wässer aus der Erdöl-/Erdgas- sowie der keramischen Industrie können nur nach einer geeigneten Aufbereitung industriell wiederverwendet werden. Solche maßgeschneiderten Konzepte entwickeln acht Partner aus Industrie und Forschung im Verbundprojekt PAkmem. Im Mittelpunkt steht dabei die Nanofiltration mit keramischen Membranen. Die neuentwickelten Verfahren sollen die Reinigung stark belasteter Abwässer künftig energieeffizienter und kostengünstiger machen und so dazu beitragen, ihre Kreislaufführung zu verbessern.

### Problematische Wässer erschweren Kreislaufführung

Steigende Wasserkosten, strengere Anforderungen an die Abwasserbehandlung und ein wachsendes Interesse an Abwässern als Rohstoff- und Energiequelle machen die Kreislaufführung von Wasser auch in gemäßigten Klimazonen attraktiv. Dies betrifft vor allem wasserintensive Branchen wie die Erdöl-/Erdgas- sowie die keramische Industrie, die zunehmend nach Lösungen für die Prozesswasseraufbereitung suchen. Die dort anfallenden salz- und ölhaltigen, zum Teil heißen und aggressiven Abwässer stellen jedoch eine große Herausforderung für die Wasserreinigung dar. So kann etwa das bei der Erdölförderung aus Ölsanden anfallende Produktionswasser, sogenanntes „produced water“, bislang nicht mit vertretbarem Aufwand aufbereitet werden. Verfahren wie die Flockung entfernen nicht alle problematischen Abwasserinhaltsstoffe hinreichend gut. Darüber hinaus kommen weitere Chemikalien zum Einsatz, die das Abwasser belasten, die Menge der zu entsorgenden Reststoffe erhöhen und die Behandlung verteuern.

### Innovation mit keramischen Filtern

Als Alternative setzt das Projekt PAkmem auf Aufbereitungsverfahren mit Nanofiltrationsmembranen aus Keramik. Nanofiltrationsmembranen sind poröse Filter, die mit einer feinen Schicht bedeckt sind. Diese Schicht beinhaltet viele Poren in der Größenordnung von wenigen Nanometern. Die Poren der Membranen sind damit nur etwa dreimal so groß wie ein Wassermolekül. Die Filter sind in der Lage, Salz und organische Moleküle zurückzu-

halten und können somit Prozesswässer rein physikalisch entsalzen und aufbereiten. Sie bestehen aus Keramik, da keramische Stoffe chemisch, mechanisch und thermisch besonders stabil sind. Diese Eigenschaften macht sich das Projektteam zunutze, um die keramische Nanofiltration weiterzuentwickeln. Das neue Verfahren soll energieeffizient sein und es ermöglichen, aus Abwässern mit erhöhter Temperatur, erheblicher organischer Fracht und scheuern den Bestandteilen wie Sand oder keramischen Partikeln Wasser zu erzeugen, das teilsalzig ist und nahezu keine organischen Stoffe mehr enthält.



Keramische Membranen mit verschiedenen Geometrien werden zur Reinigung salz- und organikhaltiger Wässer eingesetzt (Außendurchmesser von links nach rechts: 41 Millimeter sowie 25 und 25 Millimeter).

Im Projekt werden außerdem weitere Wasserreinigungsverfahren weiterentwickelt und angewandt. So erproben die Forschenden zum Beispiel ein kombiniertes Flotations-/Mikrofiltrationsverfahren als Vorbehandlung für die Abwässer aus der Erdöl- und Erdgasindustrie. In der Flotation werden Feststoffe und Öltröpfchen mit Luftblasen ausgetragen und entfernt. Bei der Mikrofiltration benutzt man Filter, die eine Porengröße von weniger als einem Mikrometer (entspricht einem Tausendstel Millimeter) haben.

Zur Nachbehandlung kombiniert das Projektteam die Nanofiltration mit weiteren Technologien. Ziel ist es, die von den Membranen zurückgehalten hochkonzentrierten Reststoffe aufzubereiten und dabei ggf. Rohstoffe zu gewinnen sowie das Wasser bedarfsgerecht für industrielle Prozesse zur Verfügung zu stellen. Die Konzentrate werden mit Elektrodialyseverfahren behandelt, um Säuren, Laugen oder Salze vom Wasser abzutrennen. Durch eine Totaloxidation werden organische Stoffe entfernt, indem sie in CO<sub>2</sub> und Wasser umgewandelt werden. Als weitere, ergänzende Strategie zur Konzentratbehandlung untersuchen die Verbundpartner die Eindampfung. Sie führt im Sinne einer abwasserfreien Produktion zu ausschließlich festen Reststoffen, die recycelt oder entsorgt werden können. Parallel zu den Verfahrenskombinationen entwickeln die Forschenden neue online-Messverfahren zur Bestimmung von Partikel- und Tröpfchengröße weiter und integrieren diese in die Aufbereitungskonzepte.

## Tests mit realen Prozesswässern

Die Prozesswasseraufbereitung mit keramischer Nanofiltration sowie vor- und nachgelagerten Schritten wird vor Ort an realen Prozesswässern der Erdöl-/Erdgasindustrie bzw. bei Partnern aus der Keramikindustrie getestet. Die Anlagen werden mit der im Projekt entwickelten Messtechnik ausgestattet. Das Projektkonsortium bilanziert und bewertet die zu behandelnden Prozessströme und entwickelt auf dieser Basis eine Verfahrenskette zur zielgerichteten Behandlung der Abwasserströme. Dabei berücksichtigen sie auch die Wirtschaftlichkeit. Im Ergebnis sollen die aufbereiteten Wässer industriell wiederverwendet werden: Bei der Erdöl- und Erdgasgewinnung durch direkte Einleitung in das Erdreich, in der Keramikindustrie als Prozesswasser. Für Anwender ist dies wirtschaftlich und ökologisch vorteilhaft. Die neuartigen Verfahren eignen sich für alle Sektoren mit großen Mengen an Salz- und organikhaltigen Abwässern wie Milchverarbeitung, Bioraffinerien oder Schlachthöfe.



In Pilotfiltrationsanlagen erproben Forscher die keramischen Membranen an Prozesswässern.

### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

### Projekttitel

Effektive Aufbereitung problematischer Prozess- und Abwässer mit keramischen Nanofiltrationsmembranen (PAKmem)

### Laufzeit

01.10.2016 – 30.09.2019

### Förderkennzeichen

02WAV1407A-H

### Fördervolumen des Verbundprojektes

2.383.000 Euro

### Kontakt

akvola Technologies GmbH  
Dr.-Ing. Matan Beery  
Am Borsigturm 100  
13507 Berlin  
Telefon: +49 (0) 30 959 998 950  
E-Mail: beery@akvola.com

### Projektpartner

Andreas Junghans - Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG, Frankenberg  
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Leipzig  
DURAVIT Sanitärporzellan Meißen GmbH, Meißen  
Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Hermsdorf/Dresden  
LUM GmbH, Berlin  
Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH, Veilsdorf  
SOPAT GmbH, Berlin

### Internet

[www.pakmem.de](http://www.pakmem.de)

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

### Redaktion und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

### Druck

BMBF

### Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: Fraunhofer IKTS

### Stand

März 2018





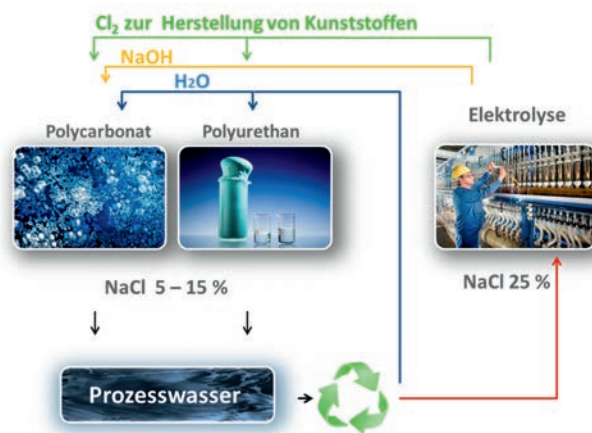
# Re-Salt – Salz aus industriellem Prozesswasser wiederverwerten

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Kunststoff, Pflanzenschutzmittel, Medikamente – in diesen und vielen anderen chemischen Produkten steckt Chlor. Hergestellt wird Chlor aus Kochsalz mittels Elektrolyse. Dabei fallen beträchtliche Mengen an Prozesswasser mit sehr hohen Salzkonzentrationen an. Gelangen diese Wässer in Flüsse und Seen, belastet dies nicht nur die Umwelt, sondern erschwert auch die Trinkwasseraufbereitung. Partner aus Industrie, Wissenschaft und Forschung suchen im Verbundprojekt Re-Salt nach neuen Wegen, um Salz und Wasser aus industriellen Prozesswässern der Kunststoffproduktion ressourceneffizient rückzugewinnen und wiederzuverwerten.

### Kreisläufe schließen und Ressourceneffizienz erhöhen

Bei der Elektrolyse aus Kochsalz – Natriumchlorid (NaCl) – entstehen Natronlauge und Chlor. Beide Substanzen gehören zu den am häufigsten verwendeten Industriechemikalien: 60 bis 70 Prozent aller chemisch erzeugten Produkte kommen in ihrem Herstellprozess mit Chlor oder Natronlauge in Kontakt. Dabei fallen stark salzhaltige Prozesswässer an. Dieses Salz versucht Re-Salt wiederzugewinnen und als Rohstoff in der Elektrolyse erneut zu verwerten. Zusätzlich soll dabei auch das aufbereitete Prozesswasser wiederverwendet werden. Der Gedanke dahinter: Die Ressourceneffizienz wird verbessert, weniger Stoffe gelangen in den natürlichen Wasserkreislauf und der Wasserverbrauch in der Produktion sinkt.



Salzhaltiges Prozesswasser aus der Kunststoffproduktion soll mit Hilfe eines neuartigen Verfahrens wiederverwertbare Rohstoffe liefern.

### Hürden auf dem Weg zur Kreislaufführung

Um die angestrebte Kreislaufführung bei der Chlorherstellung mittels Elektrolyse umzusetzen, müssen die Projektteilnehmer zwei Herausforderungen in den Griff bekommen: Die industriellen Prozesswässer enthalten organische Verunreinigungen, die zu Beeinträchtigungen im Elektrolyse-Prozess führen können. Sie müssen somit vorher aufbereitet werden. Problematisch ist auch die für die Elektrolyse zu geringe Salzkonzentration in den Prozesswässern. Damit sie optimal funktioniert, ist eine Mindestkonzentration von 25 Prozent notwendig. In den meisten Prozesswässern liegt die Salzkonzentration aber unter 15 Prozent.

### Ökologische und ökonomische Lösung gesucht

Ziel des Verbundvorhabens Re-Salt ist es, an den Produktionsprozess angepasste Lösungen für die Wiederverwertung von Salz und Wasser aus Prozesswasser zu entwickeln, die umweltfreundlich und gleichzeitig wirtschaftlich sind. Dazu gehen die Partner in drei Schritten vor. Um das bei der Kunststoffherstellung anfallende Prozesswasser effizient zu reinigen, werden Informationen über Art und Menge der enthaltenen organischen Verbindungen benötigt. Der Nachweis dieser Verbindungen wird allerdings durch hohe Salzkonzentrationen erschwert. Die Projektteilnehmer entwickeln daher spezielle Techniken für die Spurenstoffanalytik und Probenvorbereitung.

Die Reinigung selbst wird dadurch beeinträchtigt, dass die organischen Störstoffe nur in sehr geringen Konzentrationen in den Prozesswässern vorliegen und daher nicht alle



mit handelsüblicher Aktivkohle entfernt werden können. Diese Hürde nehmen die Wissenschaftler mit einer chemischen oder elektrochemischen Anpassung: Die Aktivkohle wird dabei so verändert, dass sich Schadstoffe besser an ihr anreichern können.

Um die für die Elektrolyse notwendige Salzkonzentration von 25 Prozent im Prozesswasser zu erreichen, entwickelt Re-Salt ein Verfahren zur Aufkonzentrierung. Der Salzgehalt soll dabei so umweltfreundlich und wirtschaftlich wie möglich erhöht werden. So wollen die Verbundpartner ein energieeffizientes Membranverfahren unter hohem Druck – die Hochdruckumkehrosmose – sowie eine anschließende Membrandestillation einsetzen. Die für die Membrandestillation benötigte Energie wird unter anderem aus Abwärme bezogen. Die Erhöhung des Salzgehaltes würde es ermöglichen, den größten Teil des Prozesswasserstroms zu recyceln und den Kreislauf für Wasser und NaCl zu schließen.

Zur Erprobung der im Labor entwickelten Verfahren ist eine Demonstrationsanlage am Standort Krefeld-Uerdin-gen geplant. In der Anlage soll reales bei der Kunststoffproduktion anfallendes salzhaltiges Prozesswasser wiederverwertet werden. Es soll gereinigt, aufkonzentriert und anschließend in der Elektrolyse getestet werden. Hierbei sammeln die Forscher Langzeiterfahrungen, um die Nachhaltigkeit der im Projekt entwickelten Recyclinglösung und ihre Eignung auch für andere salzhaltige Prozesswässer zu bewerten.



Eine wichtige Aufgabe ist die Aufkonzentrierung des Prozesswassers. Sie ist Voraussetzung, um den Kreislauf für Wasser und NaCl zu schließen.

#### **Fördermaßnahme**

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

#### **Projekttitel**

Recycling von industriellen salzhaltigen Prozesswässern (Re-Salt)

#### **Laufzeit**

01.10.2016 – 30.09.2019

#### **Förderkennzeichen**

02WAV1408A-H

#### **Fördervolumen des Verbundprojektes**

2.138.000 Euro

#### **Kontakt**

Covestro Deutschland AG  
Dr. Yuliya Schießler  
Kaiser-Wilhelm-Allee 60  
51365 Leverkusen  
Telefon: +49 (0) 214 60095461  
E-Mail: yuliya.schiessler@covestro.com

#### **Projektpartner**

DECHEMA-Forschungsinstitut, Frankfurt am Main  
Donau Carbon GmbH, Frankfurt am Main  
EnviroChemie GmbH, Roßdorf  
SolarSpring GmbH, Freiburg  
Technische Hochschule Köln  
TZW: DVGW - Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe  
Universität Duisburg-Essen, Duisburg

#### **Internet**

<http://resalt.web.th-koeln.de>

#### **Herausgeber**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### **Redaktion und Gestaltung**

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

#### **Druck**

BMBF

#### **Bildnachweise**

Grafik: Covestro Deutschland AG  
Bild: Christine Kleffner, Technische Hochschule Köln

#### **Stand**

März 2018



# WaReIp – Wassernutzung in Industrieparks optimieren

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Industrielle Produktionsanlagen werden heute aus Gründen der Raumverträglichkeit und zur Sicherstellung der Ver- und Entsorgung weltweit vermehrt in Industrieparks angesiedelt. Hier eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten, Ressourcen, Energie und Kosten durch gemeinsame Nutzung, Kreislaufführung oder den Austausch von Stoffströmen einzusparen. Die anfallenden Abwässer (Produktions-, Sanitär- und Küchenabwässer) umweltfreundlich und wirtschaftlich aufzubereiten, um sie bedarfsorientiert vor Ort wiederzuverwenden – das ist das Ziel des Verbundprojektes WaReIp.

### Hohe Potenziale für Ressourceneinsparungen

Die Wasserressourcen stehen in vielen Regionen der Erde zunehmend unter Druck, sodass für Betreiber industrieller Produktionsanlagen eine zukunftsorientierte Wasserversorgung verstärkt in den Vordergrund rückt. Industrieparks mit ihrer Vielzahl von Produktionsanlagen bieten besonders günstige Voraussetzungen, um Wasser und andere Ressourcen effizient zu nutzen. So können Stoffe, die in einem Unternehmen als Abfall gelten, in einem anderen zum Produktionsrohstoff werden. In der inner- sowie auch zwischenbetrieblichen Kreislaufführung des Wassers liegt ein bisher noch kaum ausgeschöpftes Potenzial. Die Möglichkeit teilgereinigte Abwässer aus anderen Produktionsanlagen eines Industrieparks oder den dort anfallenden Sanitär- und Küchenabwässern zu verwenden und damit den extern zu deckenden Wasserbedarf zu senken, wird allenfalls punktuell genutzt. Doch gerade für Bereiche wie die chemisch-pharmazeutische Industrie, die zu den Branchen mit dem größten Wasserbedarf und Abwasseranfall zählt, ergibt sich hier ein besonders hohes Innovationspotenzial.

### Produktionsrohstoffe nach Bedarf zurückgewinnen und wiederverwenden

In der Abwassertechnik existieren bereits zahlreiche Aufbereitungstechnologien, deren Kombination es technisch gesehen schon heute ermöglicht, nahezu jede beliebige Wasserqualität zu erzeugen. Häufig nicht ausreichend berücksichtigt bei der Verfahrensentwicklung werden bislang jedoch Synergien, die sich aus einer Vernetzung der Prozesse und Teilströme ergeben und wie sich diese auf Energie-,

Ressourcenverbrauch und Kosten auswirken. Hier setzt das Verbundprojekt WaReIp an: Die in einem Industriepark anfallenden Produktions-, Sanitär- und Küchenabwässer sollen über kaskadenartig geschaltete Aufbereitungsstufen bedarfsorientiert aufbereitet werden. D.h. nur in dem Umfang, wie Brauchwasser einer bestimmten Qualität in einer anderen Produktionsanlage oder für weitere Nutzungszwecke im Industriepark (z.B. Bewässerung) benötigt wird. So wollen die Projektpartner mit geringem Ressourcen- und Kostenaufwand einen möglichst hohen Nutzungsgrad erreichen.



In Laborversuchen wird die biologische Behandlung industrietypischer Abwässer untersucht.

Hierzu erfassen, beschreiben und kombinieren die Forschenden anerkannte Abwasserreinigungsverfahren im Hinblick auf ihre Möglichkeiten für ein optimiertes Stoffstrommanagement. Zudem entwickeln sie neue Ansätze und Technologien für stärker verschmutztes Abwasser mit hohen Salzgehalten und hohen Konzentrationen von schwer abbaubaren organischen Verbindungen. Betreibern von Produktionsanlagen verspricht ein integriertes Wasser- und Ressourcenmanagement zahlreiche Vorteile: Sowohl der Bedarf an Trink- und Grundwasser als auch die Kosten für die Wasserbereitstellung und Abwasserbehandlung können gesenkt werden. Der Ansatz bietet darüber hi-

naus die Möglichkeit, Produktionsrohstoffe aus Abwässern – z. B. Tenside und Proteine – gezielt zurückzugewinnen, um so die externe Versorgung mit solchen Rohstoffen und den Behandlungsaufwand des Abwassers in nachgeschalteten Stufen weiter zu reduzieren.

## Optimale Aufbereitungstechnik auswählen

Für die praktische Umsetzung der Forschungsergebnisse entwickelt das Projektteam ein passendes Rohrleitungskonzept inklusive eines Messnetzes. Die Rohre müssen für unterschiedliche Wasserqualitäten geeignet sein, ferner als Speichersystem dienen und gleichzeitig sicherstellen, dass die geforderten Wasserqualitäten und -mengen zur Verfügung stehen.

Um die Auswahl der im Einzel-fall bestmöglichen Aufbereitungstechnik zu erleichtern, werden verschiedene Bewertungssysteme für den Anwendungsfall weiterentwickelt und erprobt. Hierzu zählt ein Entscheidungssystem, das mehrere Ziele berücksichtigt: Zum einen wollen die Verbundpartner ein gezieltes Stoffstrommanagement unter ökologischen und sozioökonomischen Randbedingungen prüfen. Zum anderen bewerten sie Umweltaspekte und Ressourceneinsparungen.

Neben den positiven ökologischen und ökonomischen Aspekten, die WaReIp mit Trink- und Grundwassereinsparungen in Industrieparks erreichen will, zielt das Projekt auch auf eine weltweite Übertragbarkeit der Ergebnisse ab. Durch den integrierten Ansatz versprechen sich die Verantwortlichen, industrielle Entwicklungen in Gebieten mit natürlicher Wasserarmut überhaupt erst zu ermöglichen. Mithilfe eines Indikatorsets sollen unterschiedliche Standortqualitäten erfasst und darauf aufbauend die Konzepte und Aufbereitungstechnologien übertragen werden.



Industriepark mit Kläranlage in Vietnam: Die Ergebnisse des Projektes WaReIp sollen international übertragbar sein.

### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

### Projekttitel

Water-Reuse in Industrieparks (WaReIp)

### Laufzeit

01.10.2016 – 30.09.2019

### Förderkennzeichen

02WAV1409A-F

### Fördervolumen des Verbundprojektes

3.811.000 Euro

### Kontakt

Technische Universität (TU) Darmstadt  
Fachgebiet Landmanagement  
Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke  
Franziska-Braun-Str.7  
64287 Darmstadt  
Telefon: +49 (0) 6151 16 21964  
E-Mail: linke@geod.tu-darmstadt.de

### Projektpartner in Deutschland

Endress + Hauser Conducta GmbH & Co. KG, Gerlingen  
EnviroChemie GmbH, Roßdorf  
IEEM gGmbH, Witten  
Kocks Consult GmbH, Koblenz  
Leibniz Universität Hannover, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (ISAH), Hannover  
Merck KGaA, Darmstadt/Gernsheim (assoziiierter Partner)

### Projektpartner international

Hanoi University of Civil Engineering, Vietnam  
Qingdao Technical University, China  
Tongji Universität Shanghai, China

### Internet

[www.wareip.de](http://www.wareip.de)

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

### Redaktion und Gestaltung

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

### Druck

BMBF

### Bildnachweise

Vorderseite: Technische Universität Darmstadt,  
Fachgebiet Abwassertechnik  
Rückseite: TU Darmstadt, Fachgebiet Landmanagement

### Stand

März 2018



# WaterMiner – Abwasser aus dem Bergbau sinnvoll wiederverwenden

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Das Gebiet um die Ha-Long-Bucht im Norden Vietnams ist geprägt von vielfältigen und konkurrierenden Landnutzungen auf begrenztem Raum: Steinkohlen-Bergbau, städtischer Lebensraum und Tourismus im Bereich des UNESCO-Weltnaturerbes „Ha-Long-Bucht“ begegnen sich in unmittelbarer Nachbarschaft. Am Beispiel des urban geprägten Bergbaugesbietes Ha Long in Vietnam entwickelt das Projekt WaterMiner innovative Verfahren und Konzepte zur Kreislaufführung und zur Wiederverwendung bergbaulicher Abwässer.

### Eine vom Bergbau geprägte Region

Das Projektgebiet, die Stadt Ha Long in der Provinz Quang Ninh im Norden Vietnams, liegt im Golf von Tonkin – umschlossen von der Ha Long Bucht mit ihren einzigartigen Kalksteininseln. Seit dem Jahr 1994 ist die Ha Long Bucht UNESCO-Weltnaturerbe. Seit dieser Zeit hat sie sich immer mehr zu einem touristischen Zentrum für in- und ausländische Gäste entwickelt.

Gleichzeitig ist die Provinz Quang Ninh ein wichtiger Bergbau- und Industriestandort. Etwa 95 Prozent der gesamten Steinkohle Vietnams stammt von dort. Die schnell wachsende Stadt Ha Long ist das politische, wirtschaftliche und kulturelle Zentrum der Provinz.

Die im Spannungsfeld von Steinkohlen-Bergbau, städtischem Lebensraum und Tourismus in der Ha Long Bucht bestehenden Herausforderungen und Konflikte im Wassersektor stehen einer nachhaltigen Stadt- und Regionalentwicklung entgegen. Die Umwelt und das tägliche Leben werden stark durch verunreinigtes Wasser aus dem Bergbau belastet.

### Verschmutztes Wasser und hoher Wasserbedarf

Der Steinkohlen-Abbau in Ha Long wird derzeit von neun Bergwerken betrieben, die sechs verschiedenen Tochterunternehmen der Vietnam National Coal Mineral Industries Holding Corporation Limited (VINACOMIN) zugeordnet sind. Derzeit findet eine Umorganisation vom Tagebau zum Tiefbau statt, wobei nach der Schließung der Tagebaue voraussichtlich bis zum Jahr 2025 eine Bergbau-Folgelandschaft mit einem Tagebaurestsee entstehen wird.



Ein Kohlen-Transportschiff vor der Silhouette der Kalksteinfelsen der Ha Long Bucht

Die bergbaulichen Aktivitäten in der Provinz Quang Ninh bringen eine Vielzahl von Umweltproblemen mit sich – darunter auch wasserwirtschaftliche Probleme: Einerseits fallen große Mengen an qualitativ belastetem Grubenwasser an. Andererseits besteht ein erheblicher Wasserbedarf für Trinkwasser, Prozesswasser im Bergbau, Brauchwasser für Industrie und Gewerbe sowie Bewässerungswasser für die Landwirtschaft, insbesondere während der Trockenzeit zwischen November und April. Die ökologischen Belange der Ha Long Bucht sind von besonderer Bedeutung.

Zur Problemlösung kann hier ein zwischen dem Steinkohlen-Bergbau und der Stadt abgestimmtes integriertes Wassermanagement unter Zielsetzung der Wasserwiederverwendung und der Wasserkreislaufführung wesentlich beitragen. Das Verbundprojekt WaterMiner entwickelt deshalb ein innovatives Konzept, welches das räumlich und zeitlich veränderliche Wasserdargebot des Bergbaus und die unterschiedlichen Wasserbedarfe in der Region

berücksichtigt und nachhaltig neu strukturiert. Die Projektpartner erarbeiten dabei Vorschläge, wie bergbauliche Abwässer mit Hilfe technischer Verfahren und Konzepte aufbereitet und verteilt werden können.

## EDV-gestütztes Stoffstrommodell

Durch die Installation einer Pilotanlage und die Modifikation von bestehenden Aufbereitungsanlagen oder Rückhaltebecken soll auch im Grubenwasser vorhandener Kohlestaub zurückgewonnen und recycelt werden. Weitere Aspekte sind Wirtschaftlichkeit und Ökoeffizienz der Wasserwiederverwendung sowie Akzeptanz der Maßnahmen in der Bevölkerung.

Kern des Projektes ist ein EDV-gestütztes Stoffstrommodell, mit dem sowohl die Wasseraufbereitung und -wiederverwendung als auch eine langfristige Abwasseraufbereitung und -verteilung simuliert werden kann. Besondere Herausforderungen sind dabei die avisierte Umstellung vom Tageabbau zum Tiefbau sowie die Folgenutzung der Bergbauflächen.

Das Vorhaben findet in enger Kooperation mit dem Bergbauunternehmen VINACOMIN statt, welches als bedeutender vietnamesischer Partner eng in die Projektkommunikation und in die Umsetzung der Projektergebnisse eingebunden ist. Die im Projekt erzielten Ergebnisse können auch zur Problemlösung an anderen Standorten mit ähnlichen Bedingungen beitragen.



Steinkohlen-Gewinnung im Tagebau

### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

### Projekttitel

Räumlich-zeitlich abgestimmte Kreislaufführung und Wiederverwendung bergbaulicher Abwässer am Beispiel eines urban geprägten Bergbaugebietes (WaterMiner)

### Förderkennzeichen

02WAV1410A-E

### Laufzeit

01.08.2016 – 31.07.2019

### Fördervolumen des Verbundprojektes

1.776.000 Euro

### Kontakt

Ruhr-Universität Bochum  
Umwelttechnik + Ökologie im Bauwesen  
Prof. Dr. rer. nat. Harro Stolpe  
Universitätsstr. 150  
44801 Bochum  
Telefon: +49 (0) 2343 2-27995  
E-Mail: harro.stolpe@rub.de

### Projektpartner

Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe  
Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden  
ribeka GmbH, Bornheim/Rheinland  
Universität Koblenz-Landau, Landau

### Internet

[www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/forschung/waterminer.html](http://www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/forschung/waterminer.html)

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

### Redaktion und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

### Druck

BMBF

### Bildnachweise

Vorder- und Rückseite:  
Christian Jolk, Ruhr-Universität Bochum

### Stand

März 2018



# WEISS – Kühlwasser effizienter einsetzen

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Kühlwasser wird weltweit in der Industrie zur Prozess- und Produktkühlung eingesetzt. Mit Blick auf eine vielerorts zunehmende Wasserverknappung bedeutet dies neue Herausforderungen – insbesondere in trockenen Dritt- und Schwellenländern mit steigenden industriellen Aktivitäten, aber auch in Europa. Am Beispiel der Stahlindustrie arbeiten Partner aus Wissenschaft, Forschung und Industrie im Verbundprojekt WEISS an neuen Verfahren und Konzepten, um die Effizienz der Kühlwasserkreisläufe zu erhöhen. Ihr Ziel ist es, den Frischwasserverbrauch in diesen Kreisläufen um bis zu 50 Prozent zu senken.

### Komplexe Kühlkreisläufe in der Stahlindustrie

Allein in Deutschland werden von 27 Milliarden Kubikmetern Wasser pro Jahr aus der nichtöffentlichen Versorgung mehr als 92 Prozent (rund 2,3 Milliarden Kubikmeter) branchenübergreifend für industrielle Kühlzwecke eingesetzt. Durch die Kreislaufführung des Kühlwassers sowie durch Verdunstung konzentrieren sich prozessbedingt Salze und Kalkverbindungen im Wasser auf. Zwischen ein bis fünf Prozent des Kreislaufwasserstroms müssen ausgeschleust werden, um eine salzbedingte Korrosion der Anlagen zu vermeiden. Das entspricht am Beispiel der Stahlindustrie einem sogenannten Absalzwasserstrom von bis zu 200 Kubikmetern in der Stunde. Durch das Absalzen gehen Kühlwasser und Behandlungschemikalien verloren, zudem gelangen u.a. mehrere hundert Tonnen Phosphor und andere umweltrelevante Stoffe in die Gewässer. Die Verluste werden durch zusätzliches Frischwasser und Chemikalien ersetzt – mit weiteren negativen Folgen für die Kosten, die Umwelt und den Wasserverbrauch.

Kühlwässer der Stahlindustrie weisen zudem komplexe chemische Zusammensetzungen auf: Diese entstehen unter anderem dadurch, dass die Wässer vor ihrer Wiederverwendung im Kühlkreislauf mit verschiedenen Chemikalien wie Bioziden, Härtestabilisatoren und Flockungsmitteln aufbereitet werden. Sie enthalten ferner Feststoffe, Öle und Fette. Aufgrund der komplexen Zusammensetzung hat sich bis heute kein chemikalienfreier und wirtschaftlicher Aufbereitungsprozess für diese Kühlwässer im Markt etabliert. So ist die Anwendung von Membranverfahren mit einem hohen technischen Risiko verbunden. Durch Ablagerungen an den Membranen, die durch hohe Konzentrationen von Härtebildnern entstehen – sogenanntes Scaling – sowie durch Wechselwirkungen zwischen Wasserinhaltsstoffen und der Membranoberfläche

– dem Fouling – können die benötigten Filtratleistungen ohne Vorbehandlung des Kühlwassers nicht erzielt werden.



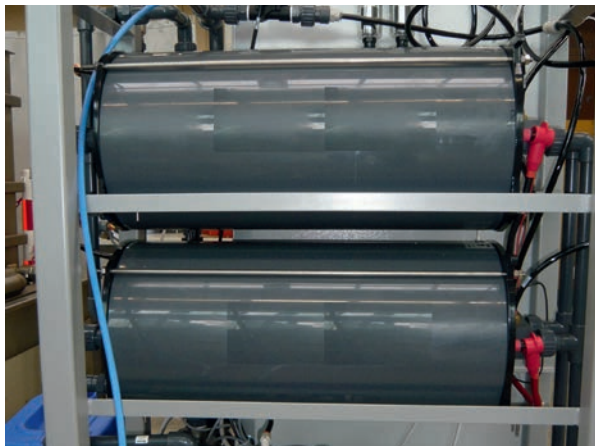
Kühlwasser wird in der Stahlindustrie in großen Mengen zur direkten Kühlung eingesetzt. Das Beispiel zeigt einen Draht in Wasserkühlung.

### Salze abtrennen und Chemikalien bedarfsgerecht dosieren

Das Verbundprojekt WEISS zielt darauf ab, Kühlwasser effizienter – d.h. deutlich über den derzeitigen Stand der Technik hinaus – einzusetzen, um die Absalzwassermenge und damit den Frischwasserverbrauch zu verringern. Angestrebt wird eine Einsparung um bis zu 50 Prozent. Ein durchschnittliches Stahlwerk könnte so künftig bis zu 800.000 Kubikmeter weniger Wasser pro Jahr verbrauchen. Hierzu sollen neue Verfahren zur integrierten Entsalzung in Kühlwasserkreisläufen entwickelt und getestet werden: die kapazitive Deionisation, bei der das Wasser elektrochemisch entsalzt wird, die Verdampfung mit salzbeständigen Polymerwärmetauschern sowie neuartig beschichtete Umkehrosmose-Membranen, die nicht entfernbare Ablagerungen (Scaling und Fouling) vermeiden. Die Entwicklung und Erprobung erfolgt zunächst in Laborversuchen.

Anschließend testen die Projektteilnehmer die Verfahren über einen längeren Zeitraum an zwei ausgewählten betrieblichen Kühlkreisläufen unter Industriebedingungen.

Weitere Schwerpunkte des Projektes sind die Entwicklung von Verfahren zur Vorbehandlung, um potenzielle Störstoffe aus dem Kühlwasser zu entfernen sowie eines Mess- und Regelungskonzeptes für eine bedarfsgerechte Dosierung von Kühlwasserchemikalien. Der optimierte Einsatz der Chemikalien soll den Salzeintrag in den Kühlwasserkreislauf und damit den Wasserverbrauch zusätzlich senken sowie auch den Eintrag von umweltrelevanten Chemikalien und Salzen in Gewässer mindern. Geeignete Verfahrenskombinationen, beispielsweise unter den Aspekten Energie- und Chemikalieneinsatz, wollen die Forschenden durch die Modellierung der Kühlkreisläufe mit der Software SIMBA ermitteln.



Kühlwasserentsalzung mit kapazitiver Deionisation: Das Verfahren wird in einer Pilotanlage im Technikum des BFI erprobt.

### Branchenübergreifende Konzepte und Verfahren

Der effiziente Einsatz der Ressource Wasser und auch der Kühlwasserchemikalien ermöglicht einen an die jeweilige Situation vor Ort angepassten Betrieb der Kühlkreisläufe. Damit können die Produktionsprozesse auch unabhängiger von der Wasserverfügbarkeit gestaltet werden. Die entwickelten Verfahren und Konzepte sollen weltweit für die direkten Kühlkreisläufe der Stahlindustrie vermarktet werden. Für indirekte Kühlungen – Anlagen-/Prozesskühlung ohne Kontakt zwischen Kühlwasser und Produkt – sind sie sogar branchenübergreifend auf alle Kühlwasserkreisläufe übertragbar. Möglichkeiten für die Anwendung bieten daher auch andere Branchen mit großem Kühlwasserbedarf: z.B. die Chemie, Papier- und Erdölindustrie.

#### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

#### Projekttitel

Effiziente Kreislaufführung von Kühlwasser durch integrierte Entsalzung am Beispiel der Stahlindustrie (WEISS)

#### Laufzeit

01.10.2016 – 30.09.2019

#### Förderkennzeichen

02WAV1411

#### Fördervolumen des Verbundprojektes

1.576.000 Euro

#### Kontakt

VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI)  
Abteilung Ressourcentechnologie Flüssige Medien  
Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf  
Martin Hubrich  
Tel.: +49 (0) 211 6707-343  
E-Mail: martin.hubrich@bfi.de

#### Projektpartner

Deutsche Edelstahlwerke GmbH (DEW), Witten  
Ifak Institut für Automation und Kommunikation e.V.,  
Magdeburg  
SMS group GmbH, Düsseldorf  
Technische Universität Berlin, Institut für Technischen  
Umweltschutz, Berlin  
Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Technische  
Chemie II, Essen  
WEHRLE Umwelt GmbH, Emmendingen

#### Internet

[www.bfi.de/de/projekte/weiss](http://www.bfi.de/de/projekte/weiss)

#### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### Redaktion und Gestaltung

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

#### Druck

BMBF

#### Bildnachweise

Vorderseite: Deutsche Edelstahlwerke GmbH (DEW)  
Rückseite: VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI)

#### Stand

März 2018

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)





# REMEMBER – Sauberes Wasser dank neuartiger Membranen

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Grund- und Oberflächenwasser sind die Hauptquellen für die Wasserversorgung von Haushalten, Landwirtschaft und Industrie. Bevor sie als Trink-, Bewässerungs- oder Brauchwasser verwendet werden können, müssen sie mit geeigneten Verfahren gereinigt werden. Dabei kommen vor allem Membrantechnologien zum Einsatz. Bisherigen Membranfiltern machen jedoch Ablagerungen an der Oberfläche zu schaffen, die durch die abzutrennenden organischen und anorganischen Wasserinhaltsstoffe entstehen: Sie schränken die Filterleistung im fortlaufenden Betrieb erheblich ein. Nach Lösungen für dieses Problem sucht das Verbundprojekt REMEMBER. Die Partner entwickeln neuartige Membranen, die während des Filterprozesses erheblich sauberer bleiben und damit einen wirtschaftlicheren Betrieb ermöglichen.

### Grenzen der Membranfiltration

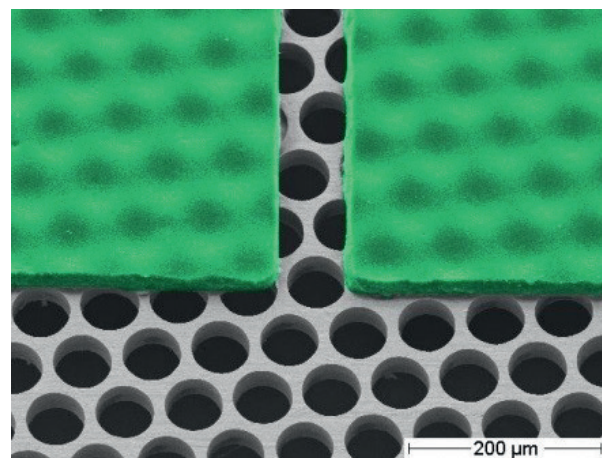
Filtermembranen zur Wasseraufbereitung haben den Vorteil, dass sie sehr flexibel einsetzbar sind. Neben großtechnischen Anlagen gibt es auch kleine, dezentrale Systeme für eine mobile Vor-Ort-Aufbereitung. Membranverfahren haben jedoch einen erheblichen Nachteil: Die abzutrennenden Stoffe – gelöst oder als Partikel – lagern sich an der Membranoberfläche an. Dies kann im Fall von organischen Rückständen zu (Bio-)Fouling und bei anorganischen Salzen zu Scaling führen. Im fortlaufenden Betrieb bewirken diese Ablagerungen, dass der Wasserfluss durch die Membran und damit die Filterleistung kontinuierlich abnehmen. Je nach Verschmutzungsgrad des zu filtrierenden Wassers muss die Filterfläche daher in bestimmten Intervallen gereinigt werden. Eine mechanische oder chemische Reinigung ist zeitaufwändig und teuer.

### Bessere Filterleistung und höhere Lebensdauer

Die bei der Wasserfiltration entstehenden Ablagerungen will das Verbundprojekt REMEMBER mit neuartigen Membransystemen in den Griff bekommen. Die Forschenden setzen dabei auf den physikalischen Effekt der Dielektrophorese: Ungleichmäßige elektrische Felder werden über der Membranoberfläche erzeugt. Diese bewegen von dort geladene Teilchen weg und verhindern so eine Verschmutzung der Membran, ohne den Filterprozess zu stören. Die Membranen können ihre eigentliche Funktion wesentlich besser erfüllen, haben eine deutlich längere Lebensdauer

und müssen weniger häufig gereinigt werden. Die Systeme sind somit wirtschaftlicher und ressourceneffizienter.

Zur Herstellung der Membranen kombinieren die Projektpartner verschiedene neuartige und kostengünstige Beschichtungs- und Strukturierungstechniken, die sie für diese Anwendung weiterentwickeln. So sollen mit Siebdruckverfahren dünne Leiterbahnen und Elektroden auf die polymeren Membranoberflächen aufgebracht werden.



Ein Spezielsieb mit gelochter Metallfolie und einer Schablone aus Emulsionsbeschichtung soll die Herstellung der verbesserten Membranen ermöglichen.

Durch eine neue Beschichtungstechnik auf Titanoxid-Basis erhalten die Membranen anschließend eine dielektrische Schutzschicht, die die wasserabweisende Wirkung verstärkt und Ablagerungen zusätzlich entgegenwirkt.

### Einsatz in großen und kleinen Anlagen

Die Leistungsfähigkeit der neu entwickelten Membransysteme soll zunächst in Praxistests im Labormaßstab systematisch untersucht werden. Anschließend ist der Betrieb entsprechender Membranmodule in Demonstrationsanlagen zur Aufbereitung von Seewasser in Bremen vorgesehen (Größenordnung: 1 m<sup>3</sup>/d).

Die Verbundpartner planen, die Technologie nach erfolgreicher Erprobung langfristig sowohl in stationären Großanlagen einzusetzen als auch in mobile Kleinanlagen zu integrieren. Wirksamere und wartungsarme Membranfilter mit längerer Lebensdauer können einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, gerade in trockenen Regionen ausreichende Mengen an Trink-, Bewässerungs- und Brauchwasser aus Oberflächen- und Grundwasser bereitzustellen. Zudem soll geprüft werden, ob die neuartigen Membranen auch bei der Aufbereitung von industriellem Abwasser eingesetzt werden können.



Bedruckte Membranen versprechen eine bessere Filterleistung und längere Lebensdauer.

#### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

#### Projekttitel

Ressourcen- und Energieeffiziente Wasser-Membranfiltration mittels Dielektrophorese (REMEMBER)

#### Laufzeit

01.10.2016 – 30.09.2019

#### Förderkennzeichen

02WAV1412A-F

#### Fördervolumen des Verbundprojektes

1.528.000 Euro

#### Kontakt

MARTIN Membrane Systems AG  
Daniel Crawford  
Von-Thünen-Str. 1-4  
19071 Brüsewitz  
Telefon: +49 (0) 38874 4326110  
E-Mail: daniel-crawford@martin-membrane.com

#### Projektpartner

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), Bremen  
NB Technologies GmbH, Bremen  
Plasmatrete GmbH, Steinhagen  
Universität Bremen, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Bremen  
Weser Umwelttechnik, Bremen

#### Internet

[www.remember-projekt.de](http://www.remember-projekt.de)

#### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### Redaktion und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

#### Druck

BMBF

#### Bildnachweise

Vorderseite: Hans Frintrup GmbH / NB Technologies GmbH  
Rückseite: MARTIN Membrane Systems AG

#### Stand

März 2018



# WaKap – Wasserentsalzung und Arsenentfernung zur nachhaltigen Wasserversorgung

## Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

Bis vor wenigen Jahren galten viele Länder in Südostasien – darunter auch Vietnam – als Länder ohne signifikante Wasserprobleme. Die Wasserversorgung dieser Länder ist jedoch durch stark wachsende Bevölkerungszahlen und steigende Industrialisierung bedroht. Neben der zunehmenden Versalzung des küstennahen Grundwassers weisen viele Grundwasserquellen in Vietnam hohe Arsenkonzentrationen auf. Um diese Probleme nachhaltig zu lösen, entwickelt das Verbundprojekt WaKap ein innovatives modulares System zur Entsalzung und zur Arsenentfernung für Grund-, Meer- und Brackwasser. Die in Deutschland konzipierte modulare Anlage soll in Vietnam aufgebaut und getestet werden. Die dortigen Verhältnisse können dabei als repräsentativ für viele Länder in Südostasien angesehen werden.

### Salz- und arsenhaltiges Grundwasser

Für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung Vietnams spielen Wasserressourcen eine entscheidende Rolle. Da Meerwasser in viele küstennahe Regionen Vietnams eindringt, enthält das Grundwasser dort hohe Konzentrationen an gelöstem Salz. Durch die verstärkte Entnahme von Grundwasser und dem Anstieg des Meeresspiegels wird sich in den kommenden Jahren die weitere Versalzung des Grundwassers nochmals beschleunigen. Zudem weisen viele Grundwasserquellen in Vietnam teilweise sehr hohe Arsenkonzentrationen auf – eine sehr giftige Substanz. Diese wird in Vietnam und vielen anderen asiatischen Ländern aus dem natürlichen Sedimentgestein freigesetzt. Dadurch werden Grundwasser und Brunnen verseucht. In der Bevölkerung kann die Aufnahme von Arsen über das Trinkwasser zu chronischen Krankheiten wie beispielsweise Krebs führen.

### Autarker Anlagenbetrieb ohne Netzanbindung

Im Verbundprojekt WaKap wollen die beteiligten Partner ein innovatives, modulares und energieeffizientes System entwickeln, um Grund-, Meer- und Brackwasser nachhaltig zu entsalzen. Zudem soll Arsen aus dem Grundwasser entfernt und eine Pilotanlage aufgebaut werden. Durch die Kombination von Kapazitiver Entionisierung (Capacitive Deionisation, CDI) und Umkehrosmose soll im Vergleich zu bestehenden Entsalzungsverfahren der Energieverbrauch erheblich reduziert und gleichzeitig die Menge des produzierten Trinkwassers erhöht werden. Eine wichtige Aufgabe ist die Versorgung dieses kombinierten



Typische Bewässerung eines Gemüsefeldes in der An Giang Provinz an der kambodschanischen Grenze

Prozesses aus CDI und Umkehrosmose mit regenerativen Energien wie Photovoltaik oder Wind. Dies soll einen autarken und dezentralen Betrieb der Anlagen ohne Netzanbindung ermöglichen.

Für arsenhaltiges Grundwasser ist eine In-situ-Vorbehandlung vorgesehen. Hierfür wird Sauerstoff in das Grundwasser eingebracht. Im Wasser gelöstes Arsen wird somit oxidiert und längerfristig unterirdisch in einer Eisen-Oxid-Matrix eingebunden. Wesentliche Vorteile dieses Verfahrens sind seine hohe Effizienz, der niedrige Energiebedarf sowie der chemikalien- und abfallfreie Prozess.

Das Verbundprojekt wird in Vietnam durchgeführt, da die dortigen Verhältnisse als repräsentativ für viele andere Länder in Südostasien angesehen werden können.

Die Grundwasseraufbereitung mit dem In-Situ-Verfahren, um Arsen zu entfernen, und der CDI, um Brackwasser zu entsalzen, wird im Landesinneren in der An Giang Provinz pilotiert. Die Gewinnung von Trinkwasser aus Meerwasser wird an der Küste in Vung Tau getestet.

### Methodik zur Nachhaltigkeitsbewertung

Im Projekt wollen die Forschenden außerdem eine angepasste Methodik zur Nachhaltigkeitsbewertung der einzelnen Prozesse und des Gesamtprozesses ausarbeiten. Die relevanten Kriterien zur Ökologie, Ökonomie und zu gesellschaftlich-sozialen Aspekten sollen dabei entsprechend berücksichtigt werden. Auch die Betriebssicherheit und Störanfälligkeit der technischen Anlagen spielen bei der Bewertung eine wichtige Rolle. Zusätzlich können energieautarke Entsalzungsanlagen die regionale Wirtschaftsentwicklung fördern und tragen so zu gesellschaftlichen Veränderungen bei. Auf Basis der Projektergebnisse soll im Anschluss durch die beteiligten Unternehmen ein marktfähiger Prototyp für Kommunen und private Nutzer in Südostasien entwickelt werden.



Montage einer Umkehrosmose-Membran im vietnamesischen Unternehmen SDVICO

#### Fördermaßnahme

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)

#### Projekttitel

Modulares Konzept zur Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Entionisierung am Beispiel Vietnam (WaKap)

#### Förderkennzeichen

02WAV1413A-D

#### Laufzeit

01.09.2016 – 31.08.2019

#### Fördervolumen des Verbundprojektes

892.000 Euro

#### Kontakt

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft (HsKA)  
 Institut für Angewandte Forschung  
 Prof. Dr. Jan Hoinkis  
 Moltkestr. 30  
 76133 Karlsruhe  
 Telefon: +49 (0) 721 925 1372  
 E-Mail: jan.hoinkis@hs-karlsruhe.de

#### Projektpartner

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe  
 Karl Spiegl GmbH & Co. KG, Nufringen  
 SDVICO, Vung Tau  
 Vietnamesisch-Deutsche Hochschule (VGU), HCM City  
 Winkelkemper GmbH, Wadersloh

#### Internet

[www.wakap.de](http://www.wakap.de)

#### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
 Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit, 53170 Bonn

#### Redaktion und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

#### Druck

BMBF

#### Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: Jan Hoinkis, HsKA

#### Stand

März 2018