

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung

EDITORIAL

Willkommen zur dritten Ausgabe des Newsletters der BMBF-Fördermaßnahme WavE!

Seit nun fast drei Jahren widmet sich die Fördermaßnahme WavE dem Thema „Erhöhung der Wasserverfügbarkeit“ und damit befinden sich die 13 Verbundprojekte in der finalen Phase der Projektbearbeitung. Der Newsletter informiert Sie über Neuigkeiten aus den Verbundprojekten sowie Aktivitäten aus den Querschnittsthemen und weist Sie auf zukünftige Veranstaltungen und Veröffentlichungen hin.

Wir möchten Sie bereits jetzt zur **WavE-Abschlusskonferenz am 03. – 04. Dezember 2019 im dbb forum in Berlin** einladen. Dort werden Sie die Gelegenheit haben, mehr über die Ergebnisse der Verbundprojekte aus drei Themenfeldern und drei Querschnittsthemen zu erfahren. Melden Sie sich jetzt unter: <https://www.bmbf-wave.de/abschlusskonferenz.php>

Weitere aktuelle und umfangreichere Informationen zur Fördermaßnahme WavE, allen Verbundprojekten, der Abschlussveranstaltung sowie zu den bisherigen Publikationen finden Sie unter www.bmbf-wave.de.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Ihr WavE-Team

INHALT

Neuigkeiten aus den Verbundprojekten	
▶ MULTI-ReUse: Durchflusszytometrie zur schnellen Bestimmung der Bakterienkonzentration	2
▶ WaKap: Nachhaltige Arsenentfernung und Wasserentsalzung in Vietnam	2
▶ WaRelp: Von der Theorie in die Praxis	3
▶ TrinkWave: Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen	4
▶ HypoWave: In Zeiten der Dürre: Fallstudien zeigen Machbarkeit der Wasser Wiederverwendung in der Landwirtschaft	5
▶ HighCon: Konzentrate aus dem Wasserrecycling	6
▶ WEISS: Wasserrückgewinnung aus dem Absalzwasser von Kühlkreisläufen in der Stahlindustrie	7
▶ Aktivitäten in den WavE-Querschnittsthemen	7
▶ Kommende Veranstaltungen	9
▶ Veröffentlichungen	9
▶ Verbundprojekte / Kontakt	9

Aktuelles aus WavE

- ▶ Die drei WavE-Querschnittsthemen „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“, „Salze und Reststoffe“ und „Technologien und Prozesse“ waren in den letzten Monaten sehr aktiv. Mehr Informationen zu den Aktivitäten und Veranstaltungen sowie zur Publikation im *gwf Wasser/Abwasser*, 12/2018: „[Mindestanforderungen an eine Wasserwiederverwendung: Hinweise aus Sicht der WavE-Forschungsprojekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung \(BMBF\)](#)“, finden Sie auf den Seiten 7-8.
- ▶ Die Fördermaßnahme WavE war mit zahlreichen Beiträgen auf der Konferenz „**IWA Water Reuse 2019**“ vom **16. – 20. Juni in Berlin** vertreten. Mit über 15 Vorträgen, 7 Postern, einem Workshop zum Thema „Risikomanagement“, einem WavE-Stand sowie drei Technical Tours konnten einem internationalen Publikum aktuelle Ergebnisse aus der Fördermaßnahme präsentiert werden.
- ▶ **SAVE THE DATE:** Die **WavE-Abschlusskonferenz** findet am 03. und 04. Dezember 2019 in Berlin statt. Die Veranstaltung ist öffentlich und kostenfrei. Nähere Informationen erhalten Sie unter: www.bmbf-wave.de/abschlusskonferenz.php.
- ▶ Das **WavE-Verbundprojekt „HighCon – Konzentrate aus der Wasserrecycling“** gewinnt den „**IWA Resource Recovery Cluster Award 2019**“. Lesen Sie [hier](#) die Mitteilung der International Water Association zur Preisverleihung im September 2019.



Abb. 1: WavE auf der IWA Water Reuse 2019 Konferenz in Berlin. Oben: der WavE-Stand. Mitte: Präsentationen und ein Workshop zum Thema Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung. Unten: Technical Tour nach Wolfsburg und Braunschweig bei der das Projekt HypoWave mit seinem Pilot-Standort in Hattorf seine Aktivitäten vorstellte (links: hydroponisches System, rechts: Teilnehmer aus 12 Nationen) (Fotos: DECHEMA e.V.)

Neuigkeiten aus den Verbundprojekten

MULTI-ReUse: Durchflusszytometrie zur schnellen Bestimmung der Bakterienkonzentration

Im WavE-Projekt MULTI-ReUse werden traditionelle kultivierungs-basierte mikrobiologische Monitoring-Verfahren mit Durchflusszytometrie im Offline und Online-Format unterstützt. Während eine Kultivierung der Verifizierung der hygienischen Unbedenklichkeit des Wassers dient, eignet sich die schnelle Quantifizierung von intakten (potentiell lebenden) und geschädigten Bakterien mittels Durchflusszytometrie hervorragend zur Prozesskontrolle. Offline-Labormessungen vermitteln eine Übersicht über mikrobiologische Veränderungen im Aufbereitungsprozess und erlauben die Identifizierung kritischer



Abb. 2: Ansicht der Wasseraufbereitungsanlage des Projektes MULTI-ReUse in Nordenham mit installiertem Online Durchflusszytometer zur schnellen Quantifizierung von intakten und geschädigten Bakterien (Foto: IWW Zentrum Wasser)

Kontrollpunkte, die im Anschluss mit höherer Datenaufösung im Online-Format überwacht werden können. Das Filtrat der Ultrafiltration wurde als kritischer Kontrollpunkt definiert. Im Speziellen konnte gezeigt werden, dass Unterbrechungen der Ultrafiltration schnell zu einer Aufkeimung der Mikrobiologie führen, mit einer geringen zeitlichen Verzögerung von ca. 1,5 Stunden. Integritätsprobleme der Membranen können hierbei bei Aufkeimung unterschieden werden, da beide zu unterschiedlichen mikrobiologischen Wasserprofilen führen. Da die mit Durchflusszytometrie ermittelten Signale unspezifisch sind und keine Speziesinformation beinhalten, wurde das Verfahren durch Mikrobiomsequenzierung ergänzt. Letztere zeigte substantielle Änderungen der bakteriellen Gemeinschaft vor allem durch Ultrafiltration, während die Änderungen während der biologischen Stabilisierung durch Sandfilterpassage und granulierten Aktivkohle weniger ausgeprägt waren. Auf der anderen Seite kann sich die Mikrobiologie im Wasser durch Aufkeimungsprozesse stark verändern, wobei die Temperatur einen substantiellen Einfluss auf die entstehende Wasserbiozönose hat. Das Aufkeimungspotential der im Wasser befindlichen autochthonen Bakterien kann wiederum gut mittels Offline Durchflusszytometrie erfasst werden und ist abhängig vom verfügbaren assimilierbaren Kohlenstoff. Insgesamt wurde dieses mit der MULTI-ReUse-Pilotanlage im Vergleich zum Rohwasser um ca. 1 Log-Einheit reduziert. Die nach Aufkeimung erreichten Bakterienzahlen im wiederaufbereiteten Wasser waren in der gleichen Größenordnung wie sie in stagniertem, aus Oberflächenwasser gewonnenem Trinkwasser erreicht werden.

Weitere Informationen zum Projekt MULTI-ReUse:
www.water-multi-reuse.org

WaKap: Nachhaltige Arsenentfernung und Wasserentsalzung in Vietnam

Im Rahmen des WaKap-Projekts wurde eine zweite Pilotanlage zur Entfernung von Eisen, Arsen und zur Entsalzung von Grundwasser am im Juni 2018 in Tra Vinh installiert (siehe Abbildung 3). Der kom-



Abb. 3: Pilotanlage des Projektes WaKap in Tra Vinh (Fotos: Vu Luong)

binierter Prozess besteht einerseits aus einer Vorbehandlung zur unterirdischen Enteisung und Entarsenierung, welche auf einem Oxidationsprozess beruht und vom Projektpartner Fermanox konzipiert wurde. Die Fermanox-Anlage zeigt eine hervorragende unterirdische Eisen-, Arsen- und Manganentfernung bei einer sehr hohen Aufbereitungsleistung von bis zu 10 m³/Tag. Zur Senkung der Leitfähigkeit (TDS = 3,5 mS/cm) auf unterhalb der Trinkwassergrenzwerte wird zudem eine neuartige Technologie der Kapazitiven Entionisierung (CDI) verwendet. Die prinzipielle Funktionalität wurde gezeigt, aber die Betriebsparameter der CDI werden derzeit noch optimiert und angepasst. Hauptziel ist die Ausbeute zu erhöhen und somit den spezifischen Energiebedarf zu senken.

Die Pilotanlage in Tra Vinh wird autonom mit Photovoltaik und Win-

den Energie betrieben. Zur Bewertung des Potentials von erneuerbaren Energien in Vietnam wird vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung die Leistung der installierten PV- und Windkraftanlage untersucht und mit Wetterdaten vor Ort verglichen. Hierfür wurde eine Wetterstation zur Aufzeichnung der Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, u.a. installiert.

Eine dritte Pilotanlage zur küstennahen Trinkwassergewinnung ist geplant und wird im dritten Quartal in Vietnam in Betrieb genommen.

Die Kombinationsanlage bestehend aus Umkehrosmose (UO) und CDI wird in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Spiegl GmbH in dem Distrikt Can Gio im Mekongdelta errichtet. Der Distrikt liegt südöstlich von Ho Chi Minh City und weist aufgrund von Meerwasserintrusion eine hohe Oberflächen- und Grundwasserversalzung ($TDS = 10 - 30 \text{ g/L}$) auf. Das modulare Konzept zur Wasserentsalzung wird neue Möglichkeiten für die Trinkwasserversorgung in dieser Region eröffnen.

Mehr Informationen zu WaKap finden Sie unter: www.wakap.de

WaRelp: Von der Theorie in die Praxis

Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt WaRelp beschäftigt sich seit etwa 2,5 Jahren mit der Frage nach einer Optimierung der Wassernutzung in Industrieparks. Neben der konzeptionellen Betrachtung von neu entwickelten Wasserver- und Entsorgungskonzepten werden im Rahmen des Teilprojektes 2 praktische Versuche durchgeführt um technische Problemstellungen zu untersuchen, welche für die Zielsetzung der Wasserwiederverwendung in Industrieparks als besonders relevant identifiziert wurden. Dazu gehört die Reduzierung des refraktären CSB (TP 2.1), die biologische Behandlung salzhaltiger, organisch belasteter Abwässer (TP 2.2) sowie Verfahren zur Entsalzung (TP 2.3).

Im Teilprojekt TP 2.1 untersucht das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover die Frage, wie sich der in Industrieabwässern oftmals problematische Gehalt an refraktärem CSB mittels spezialisierter biologischer Verfahren weiter reduzieren lässt. Dafür werden am Institut kontinuierliche Versuche mit verschiedenen Reaktortypen, u.a. Festbett-Biofilmverfahren und membranbelüftete Biofilmreaktoren, und schwer abbaubaren Substraten durchgeführt. Die einzelnen Reaktortypen erlauben eine weitgehend isolierte Betrachtung der einzelnen Einflussparameter auf den verbesserten Abbau (z.B. langes Schlammalter beim Biofilmverfahren). Ergänzend wird im Rahmen eines „Abwasserscreenings“ die biologische Abbaubarkeit von Industrieabwässern unterschiedlicher Branchen erfasst.

Im Teilprojekt TP 2.2 wird unter Federführung des Instituts IWAR der TU Darmstadt die biologische Behandlung salzhaltiger, organisch belasteter Abwässer untersucht. In bisherigen Laborversuchen wurde u.a. die Widerstandsfähigkeit des Belebtschlammes auf Salzkonzentrationen von bis zu 30 g/L getestet. Daneben wurde in Reinwasser die Wirkung verschiedener Salze und Salzkonzentrationen auf den Stoffübergang

in halbtechnischen Versuchen bestimmt. Der abschließende Schritt besteht in der Verifizierung der im Labor erarbeiteten Ergebnisse mit realem industriellem Abwasser bzw. Belebtschlamm durch Pilotierung auf einem Industriegelände des assoziierten Partners Merck KGaA.

Im Teilprojekt TP 2.3 beschäftigt sich die Firma EnviroChemie GmbH mit der Anwendung von elektrisch getriebenen Membranverfahren zur Entsalzung von industriellen Abwasserteilströmen. Bislang wurden im Projektverlauf künstlich gemischte Salzlösungen, Umkehrosmosekonzentrate und Abwässer aus der chemisch-pharmazeutischen Industrie im Labormaßstab entsalzt. Dafür wurden zwei Verfahren angewendet: Die Elektrodialyse und die membrangestützte kapazitive Deionisierung. Es konnten hohe Entsalzungsgrade erreicht werden, die eine Wiederverwendung des entsalzten Wassers für unterschiedliche Zwecke ermöglichen. Die im Labormaßstab erzielten Behandlungsergebnisse der Abwässer der chemisch-pharmazeutischen Industrie werden in der folgenden Projektphase durch eine zusammen mit der TU Darmstadt durchgeführte Pilotierung validiert.

Über die oben genannten Forschungsfragestellungen hinaus ergibt sich durch die gemeinsame Pilotierung der Teilprojekte TP 2.2 und 2.3 die Möglichkeit der gemeinsamen Erprobung von Entsalzungs- und biologischem Behandlungsverfahren. Durch eine Kopplung der genannten Verfahren beeinflussen sich diese in Abhängigkeit der Reihenfolge jeweils durch Entnahme von Organik bzw. Salz gegenseitig, was Vor- und Nachteile für das jeweils nachgeschaltete Verfahren bedeutet. Im Rahmen der Pilotierung soll daher eine mögliche Kopplung der Verfahren durch praktische Versuche untersucht werden.

Weitere Informationen zu WaRelp finden Sie unter www.wareip.de.

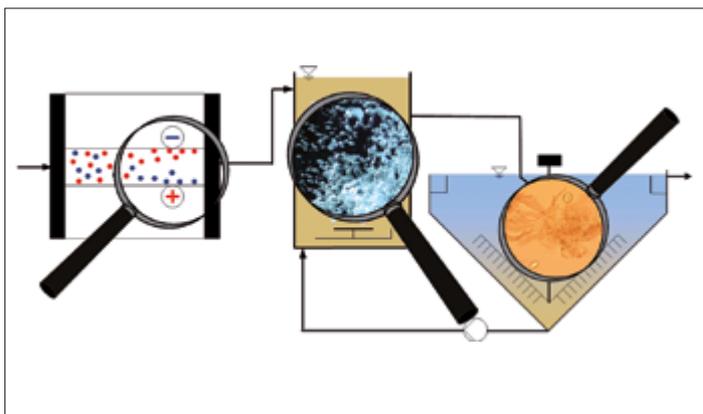


Abb. 4: Kopplung von Entsalzungsverfahren im elektrischen Feld und der aeroben biologischen Behandlung (links); Ansicht der gemeinsamen Pilotierung von der TU Darmstadt und der EnviroChemie GmbH auf dem Werksgelände des assoziierten Partners Merck KGaA (rechts)

TrinkWave: Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen

Die Auswirkungen des Klimawandels sowie die Verschmutzung und Übernutzung vorhandener Trinkwasserressourcen verstärken die Wasserknappheit weltweit. Hinzu kommen 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. Angesichts dieser Situation stellt sich die Frage, ob sich gebrauchtes Wasser so aufbereiten lässt, dass es ohne Beeinträchtigung für Gesundheit und Umwelt zur Stützung der Trinkwasserversorgung wiederverwendet werden kann? Genau dieser Frage gehen die Partner des Verbundprojekts TrinkWave nach.

Im Fokus der Untersuchungen stehen dabei die Entwicklung naturnaher technischer Reinigungsverfahren, die aus gebrauchtem Wasser hochwertiges und damit zusätzliches Wasser für die Versorgung bereitstellen. Aufgrund des hohen Energiebedarfs und der Erzeugung von Konzentraten wird dabei auf den Einsatz von Hochdruckmembranen bewusst verzichtet. Aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen in der Grundwasserbewirtschaftung, Grundwasseranreicherung und Uferfiltration in Deutschland werden in einem sogenannten Multi-Barrierensystem mehrere aufeinanderfolgende Verfahrensschritte kombiniert, um möglichst alle störenden Stoffe aus einem Abwasser oder einem beeinträchtigten Oberflächenwasser zurückzuhalten. Dabei liegt der Fokus auf der Entfernung von Krankheitserregern, Antibiotikaresistenzen und organischen Spurenstoffen. Das Kernelement dieser neuen naturnahen Aufbereitung ist eine Bodenpassage in der durch eine strikte Kontrolle der Hydraulik und der Konzentration des verfügbaren Kohlenstoffs eine Sequenz von definierten Redoxzonen etabliert wird. Unter den Betriebsbedingungen dieser sequentiellen Verfahrensführung (engl. „sequential managed aquifer recharge technology – SMART“) kann sich eine spezielle mikrobiologische Gemeinschaft entwickeln, die besonders leistungsfähig ist auch schwerabbaubare organische Spurenstoffe und Krankheitserreger sehr effizient zu entfernen.

Die Leistungsfähigkeit des SMART Konzeptes konnte an einem Grundwasseranreicherungsstandort der Berliner Wasserbetriebe demonstriert werden (Abbildung 6). Momentan wird das SMART Konzept weiterentwickelt, um den Platzbedarf durch hohe Versickerungsraten zu senken sowie einen hohen Grundwasserschutz und eine hohe Prozessstabilität zu gewährleisten. Hohe Versickerungsraten werden dabei über Sickerschlitzzgräben realisiert gefolgt von kontrollierten Redoxzo-

nen im Untergrund. Erstmals gelang es dabei die Zuführung von Elektronenakzeptoren auch in situ zu realisieren, um eine oxische Redoxzone mit hoher biologischer Aktivität zu etablieren (Abbildung 5).

Für die Sicherstellung der Produktqualität dieser Art der Wasserwiederverwendung und eines zuverlässigen Betriebes wurden von den Projektpartnern multidisziplinäre Bewertungsansätze entwickelt, in die technische, wasserrechtliche und sozialwissenschaftliche Aspekte einfließen. Diese Bewertungsansätze dienen u.a. dazu, wasserrechtliche Konflikte zwischen Grundwasserschutz und Wasserwiederverwendung wissenschaftlich zu bewerten, eindeutige Kriterien für die Anforderung an die Qualität festzulegen und so die Akzeptanz für eine Wiederverwendung zu erhöhen. Die Verfahrensbewertung erfolgt dabei anhand von sogenannten Water Reuse Safety Plans, die in Zukunft eine standardisierte Risikobewertung ermöglicht.

Mehr Information zum TrinkWave-Vorhaben finden Sie unter:
www.trinkwave.wasser.tum.de



Abb. 5: Versuchsaufbau für das SMART Verfahren des Projektes TrinkWave im Pilotmaßstab an der TU München (Foto: Technische Universität München)



Abb. 6: Sequentielle Grundwasseranreicherung im Demonstrationsmaßstab am Standort Berlin-Tegel (Foto: Universität Oldenburg)

HypoWave: In Zeiten der Dürre: Fallstudien zeigen Machbarkeit der Wasser-Wiederverwendung in der Landwirtschaft

Wetterextreme wie lang anhaltende Trockenheit stellen die Landwirtschaft vor neue Herausforderungen. Gefragt sind wassersparende Bewässerungstechnologien und eine Pflanzenproduktion, die unabhängiger von langen Trockenperioden agieren kann. Hier bietet sich das hydroponische Anbauverfahren an, das mit wenig Wasser auskommt. Im Forschungsprojekt HypoWave wird dieses Verfahren mit speziell aufbereitetem Abwasser erprobt. Die ersten Fallstudien zeigen die Machbarkeit dieser wasser- und nährstoffeffizienten landwirtschaftlichen Produktion.

In Zeiten des Klimawandels, in denen extreme Wetterereignisse wie Trockenperioden auch in Deutschland zunehmen, werden auch in der Landwirtschaft Anpassungsmaßnahmen notwendig: Besonders in wasserarmen Regionen beansprucht die landwirtschaftliche Produktion den Großteil des vorhandenen Wassers. In der hydroponischen Pflanzenproduktion im Gewächshaus werden Setzlinge in Gefäßen über eine Nährstofflösung versorgt. Dabei versickert kein Wasser und es verdunstet deutlich weniger. Zudem kann die Nährstofflösung zirkulieren.

Optimiert werden kann dieses wassersparende Verfahren noch durch den Einsatz von speziell aufbereitetem Abwasser. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojekt HypoWave wird diese optimierte Variante seit Herbst 2016 in einer Pilotanlage auf der Kläranlage Hattorf bei Wolfsburg erprobt. Das interdisziplinäre Forschungsteam hat mit den ersten beiden Fallstudien nun vielversprechende Ergebnisse veröffentlicht. Sie zeigen beispielhaft an zwei Regionen – dem Landkreis Gifhorn in Niedersachsen und der Gemeinde Raeren in Belgien – wie die angepasste Aufbereitung und Wiederverwendung von kommunalem Abwasser für den hydroponischen Gemüse- und Schnittblumenanbau gelingen kann. „Für kleinere Gemeinden von 500 bzw. 1.650 Einwohnerwerte kann hier auf 3.600 bzw. 6.000 m² eine wirtschaftliche Produktion erzielt werden“, sagt Marius Mohr, Koordinator der Fallstudien vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. „Die Praxispartner sind an einer Fortsetzung der Kooperation interessiert.“

HypoWave-Verfahren hat Potenzial als alternative Anbauform

Die umfangreichen Interviews, die das Forschungsteam mit Akteuren in den Beispielregionen geführt hat, zeigen die Potenziale für das HypoWave-Verfahren. Besonders erfreulich sei das Interesse für den Gemüseanbau mit gereinigtem Abwasser in der Region Gifhorn, wo es schon Erfahrung im Bereich der Beregnung gebe. „Mit dem Interesse zur Zusammenarbeit von Kläranlagenbetreibern und Landwirten wird eine wichtige Hürde für die Wasserwiederverwendung genommen“, sagt Martina Winker, Projektkoordinatorin am ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung. „Das deutet darauf hin, dass die flexible HypoWave-Systemlösung auch in vergleichbaren Regionen das Potenzial als alternative Anbauform hat.“

Voraussetzung dafür ist ein fundiertes Wissen darüber, was bei Planungsprozessen für die technisch wie wirtschaftlich erfolgreiche Umsetzung eines hydroponischen Anbauverfahrens mit Wasserwiederverwendung notwendig ist. Neben gut koordinierten Partnerschaften zwischen Wasserverbänden, Landwirtschaft und allen weiteren Beteiligten sind geeignete Geschäfts- und Betreibermodelle ganz wesentlich. Das zeigen beide Fallstudien – die zweite skizziert dies nochmals am Beispiel des Wasser- und Nährstoffrecyclings zum Anbau von Schnittblumen. „Mit Blick auf den großen Absatzmarkt für Schnittblumen im grenzüberschreitenden EUREGIO-Gebiet könnte das modulare HypoWave-Verfahren insbesondere für deren Anbau in Teilen Belgiens interessant sein“, bewertet Projektkoordinatorin Martina Winker die Ergebnisse der Fallstudie für Ostbelgien. „Wir freuen uns sehr über diese positiven Ergebnisse“, ergänzt Fallstudienleiter Marius Mohr vom IGB, „zeigen sie uns doch, dass die modulare HypoWave-Systemlösung auch im europäischen Kontext attraktiv ist.“

Weitere Informationen zu den Publikationen in HypoWave finden Sie unter www.hypowave.de/ergebnisse/publikationen



Abb. 7: Illustration der Fallstudie in Raeren, Belgien (aquitectura, 2018)

HighCon: Konzentrate aus dem Wasserrecycling

Ziel von HighCon ist die Entwicklung innovativer, mehrstufiger und selektiver Verfahren zur Wiederverwendung von Industrieabwässern bis hin zum Recycling der Konzentratinhaltsstoffe. Um die Konzentrate wiederverwenden zu können, sind innovative systemtechnische Lösungen gefragt, bei denen unterschiedlichste Behandlungsverfahren, aber auch Vermeidungs- oder Substitutionsmaßnahmen zusammenwirken müssen. Insbesondere die selektive Trennung von anorganischen Substanzen wie z.B. gelösten Salzen stellt eine Herausforderung dar.

Am Produktionsstandort der DEK Deutsche Extrakt Kaffee GmbH Berlin wurde von Juli bis Ende November 2018 die HighCon Demonstrationsanlage zur Untersuchung der weitergehenden Abwasser- und Konzentrataufbereitung betrieben. Das biologisch gereinigte Abwasser wurde mittels Umkehrosmose (UO) aufkonzentriert. Grundsätzlich konnte mit der UO eine gute Recyclingausbeute bei guter Permeatqualität für denkbare Wiederverwendungen als Kühlwasser oder als Kesselspeisewasser (ggf. nach einer weiteren Aufbereitung) erreicht werden. Das Konzentrat der UO wurde mit Hilfe der folgenden Technologien bis hin zur Salzzrückgewinnung aufbereitet: Nanofiltration (NF), Elektrodialyse (ED), und Membrandestillation (MD) sowie die alternative Destillation/Kristallisation.

Durch die NF konnte eine hervorragende Trennung von Organik und einwertigen Ionen erreicht werden, sodass die Organik-Konzentrationen mit $< 10 \text{ mg/L TOC}$ im NF Permeat sehr gering ist. Das NF-Permeat wurde mittels ED und MD weiter aufkonzentriert. Die Destillation/Kristallisation wurde vorerst mit Hilfe von Rotationsverdampfer-Versuchen im Labormaßstab durchgeführt. Bei einer vollständigen, nicht selektiven Kristallisation wurde ein nahezu Organik freies Salzgemisch mit folgenden Hauptbestandteilen erhalten: Trona ($\text{Na}_3(\text{HCO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Halit (NaCl), Nahcolith (NaHCO_3) und Kaliumnitrat (KNO_3) (s. Abbildung 9).

Die Fraktionen wurden mittels Röntgendiffraktometer (XRD) ermittelt. Bei der Untersuchung der selektiven Kristallisation konnte bereits gezeigt werden, dass sich die Anteile an NaCl und KNO_3 in der ersten Trennstufe deutlich reduzieren lassen. Weiterhin lassen erste Simulationsergebnisse zur Kristallisation eine gute Auftrennung von Trona und Nahcolith vermuten. Die Salzbilanzen für den Gesamtprozess

werden – so weit möglich – geschlossen, wodurch sich Optimierungspotentiale für die Konzentratbehandlung aufzeigen lassen.

Die Demonstration wird momentan in Freiburg beim Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE fortgesetzt (s. Abbildung 9). Hier wird die Aufbereitung des UO-Konzentrats aus der Abwasseraufbereitung der L'Oréal Produktion Deutschland GmbH & Co. KG, Karlsruhe untersucht. Das Konzentrat zeichnet sich gegenüber dem UO-Konzentrat der DEK durch hohe Salzgehalte und vergleichsweise geringen Organik-Konzentrationen aus. Insbesondere das neuentwickelte Verfahren der Elektrodialyse Metathese (EDM) sowie der Einsatz der MD für die Konzentration hoch salzhaltiger Industrieabwässer werden unter den gegebenen Randbedingungen umfangreich erprobt.

Weitere Informationen über HighCon finden Sie auf unserer Website www.highcon.de



Abb. 8: Ansicht der HighCon Demonstrationsplattform beim Fraunhofer ISE, Freiburg. Zu sehen sind die folgenden Technologien (von vorne nach hinten): NF, EDM, MD (Fotos: TU Berlin)



Abb. 9: A. Proben aus der Umkehrosmose (UO) am Standort der DEK Berlin, Zulauf (links), Permeat (mitte), Konzentrat (rechts); B. Rückgewonnenes Salz aus dem UO-Konzentrat nach der Kristallisation am Ende der Konzentratbehandlung (Fotos: TU Berlin)

WEISS: Wasserrückgewinnung aus dem Absalzwasser von Kühlkreisläufen in der Stahlindustrie

Sieben Partner, darunter namhafte Unternehmen und Forschungseinrichtungen, beteiligen sich am Projekt „Effizientes Kühlwassermanagement durch integrierte Entsalzung am Beispiel der Stahlindustrie“, kurz WEISS. Das vom BMBF geförderte Projekt wird vom VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH (BFI) koordiniert und mittlerweile als Reallaborprojekt eingestuft.

Das wichtigste Ziel der Verfahrensentwicklung war die Rückgewinnung von entsalztem Wasser aus Absalzwasser eines Kühlkreislaufes zur Einsparung von Frischwasser. Hierfür wurden baugleiche Umkehrosmoseanlagen (RO) bei identischen Versuchsbedingungen getestet, wobei eine RO mit konventionellen Membranen und eine RO mit Antifouling beschichteten Membranen (Universität Duisburg / Essen (UDE)) bestückt waren. Parallel wurde eine kapazitative Deionisation (CDI; BFI) betrieben. Zur weiteren Einengung wurde das Konzentrat beider RO einer Hochdruck-Umkehrosmose (HD-RO; Fa. Wehrle) zugeführt, deren Superkonzentrat in einer Evaporationsstufe (Fa. Fontaine) maximal aufkonzentriert wurde, deren salzbeständigen Polymerwärmtauschern besonders hohe Betriebssicherheit erlauben.

Das Kühlkreislaufwasser aus Stahlwerken, insbesondere aus der direkten Kühlung, bei welchem das Wasser mit dem heißen Stahl in Kontakt kommt, ist mit Ölen und Zunderpartikeln belastet, die die Leistungsfähigkeit der Membranen beeinträchtigen können. Hierfür wurden Vorbehandlungen zur Entfernung der Störstoffe getestet, insbesondere ein neuartiger Magnetabscheider (BFI) wurde eingesetzt, da selbst die Oxidationsprodukte (Zunder) von Edelstahl magnetisch sind.

In Versuchscontainern integrierte SMS die Testeinrichtungen für die gemeinsamen Pilotversuche beim Projektpartner DEW in Hagen und erstellte die übergeordnete Steuerung.

Über 99 % des Absalzwassers wurde mittels der 3 Entsalzungsstufen (konventionelle RO; Hochdruck-RO, Evaporation) zurückgewonnen, die Leitfähigkeit der Produktmischung lag hierbei unter 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und war damit deutlich besser als die geforderte Mindestqualität von 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Genauere Informationen zum Projekt finden Sie unter: www.bfi.de/de/projekte/weiss-effiziente-kreislauffuehrung-von-kuehlwasser-durch-integrierte-entsalzung-am-beispiel-der-stahlindustrie



Abb. 10: Pilotanlage aus dem Projekt „WEISS“ zur Entsalzung von Kühlwasser (Foto: SMS group GmbH)

Aktivitäten in den WavE-Querschnittsthemen

WavE-Querschnittsthema „Technologien und Prozesse“

In den WavE-Verbundprojekten gibt es viele Überschneidungen bezüglich Technologien und Prozessen. Das Querschnittsthema dient der Vernetzung der in WavE engagierten Verbundvorhaben, die sich im weiteren Sinne mit der Erforschung und Anwendung von Trenntechnologien zur Erzeugung von Permeaten oder Diluaten aus belasteten Abwässern oder Prozesslösungen beschäftigen. Ein Ziel ist es, die Einsatzgrenzen der Technologien bzw. Prozesse in unterschiedlichen Applikationen abzustecken und Randbedingungen zum erfolgreichen Einsatz zu definieren.

In einem Workshop zum Thema „Konzentrierung und Behandlung hochsalzhaltiger Lösungen“, der am 12. Juni 2019 in Köln stattfand, wurden innovative Technologien thematisiert. Neben den klassischen Verfahren der Eindampfung versprechen neuere Technologien ökonomische und ökologische Vorteile. Insbesondere sind hierzu die Hochdruck-Umkehrosmose, die Membrandestillation und die Vorwärtsosmose in der Diskussion. Rund 50 Fachleuten aus Hochschulen, Behörden und Industrie, Betreiber und Anlagenbauer, wurden in Impulsvorträgen die Kerndaten und -fakten zu einzelnen Verfahren dargestellt und Anwendungen, Einsatzbereiche und Technologiereifegrad vorgestellt. Der Stand innovativer Technologien im Vergleich zu Ver-

dampfungsverfahren wurde erarbeitet, die Stärken und Schwächen, sowie die Chancen und Risiken der neuartigen Verfahren betrachtet und an den klassischen Verdampfungsverfahren gespiegelt.



Abb. 11: Workshop zum Thema Konzentrierung und Behandlung hochsalzhaltiger Lösungen in Köln (Foto: TH Köln)

Aktivitäten in den WavE-Querschnittsthemen

WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“

Veröffentlichung in der gwf Wasser/Abwasser

Im Dezember 2018 veröffentlichte die Gruppe des Querschnittsthemas „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“ einen Beitrag zu „Mindestanforderungen an eine Wasserwiederverwendung: Hinweise aus Sicht der WavE-Forschungsprojekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)“. Dieser liefert eine Stellungnahme zu der laufenden Diskussion zum Entwurf einer EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung in Europa. Die Autoren befassen sich vor allem mit den Fragestellungen, die für das deutsche Wasserfach relevant sind. Lesen Sie den gesamten Beitrag hier.

Workshops zum Thema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“

Der Beitrag in der gwf Wasser/Abwasser war Grundlage für die Diskussion eines Workshops mit Behördenvertretern und Experten am 6. Dezember 2018 bei der DECHEMA in Frankfurt am Main. Es wurde diskutiert, unter welchen Bedingungen eine Wasserwiederverwendung in Deutschland etabliert werden kann, welche Szenarien vorstellbar sind und was Bedarfe sind, um Akzeptanz zu schaffen. Zwei Anwendungsbereiche wurden betrachtet: zum einen die landwirtschaftliche und urbane Bewässerung

(Grünflächenbewässerung, Straßenreinigung etc.), zum anderen die Stützung von Wasserressourcen (Grundwasseranreicherung, Talsperren, Oberflächengewässer etc.). Die Diskussion und der Austausch über die ganzheitliche Sicht und die verschiedenen konkreten Einsatzmöglichkeiten wurde als sehr positiv empfunden. Die Fortführung des Dialogs ist wichtig, um konkrete Anforderungen zu diskutieren.

Im Rahmen der internationalen Konferenz IWA „Water Reuse 2019“ in Berlin fand am 16. Juni 2019 ein weiterer interaktiver Workshop zum Querschnittsthema statt. Die Möglichkeiten und Herausforderungen für zwei Verfahren zur Wiederverwendung, die in der jüngsten Vergangenheit ein signifikantes Wachstum aufweisen - die landwirtschaftliche Bewässerung und die künstliche Grundwasseranreicherung - wurden thematisiert und zwischen führenden Experten und Workshop-Teilnehmern diskutiert. Im Workshop wurden gewonnene Erkenntnisse über Möglichkeiten und Umsetzungsfragen dieser Praktiken unter Berücksichtigung von Erfahrungen aus verschiedenen Ländern (Spanien, Kalifornien, Deutschland und Belgien) präsentiert. In einer moderierten Podiumsdiskussion wurde diskutiert, wie bestehende Herausforderungen aussehen und wie diese in Bezug auf die Praktiken zur Wasserwiederverwendung am besten überwunden werden können. Die Ergebnisse der Diskussionen fließen in eine weitere Publikation ein, die die Gruppe des Querschnittsthemas für Ende 2019 plant.

WavE-Querschnittsthema „Salze und Reststoffe“

Workshops zum Thema Konzentrate

Bei der Wasserwiederverwendung fallen neben dem aufbereiteten Wasser weitere Stoffströme an, die Salze und weitere Reststoffe enthalten. Diese so genannten Konzentrate entstehen in der industriellen Wasserwiederverwendung, aber auch im kommunalen Bereich durch Abwasseraufbereitung oder in der Trinkwasseraufbereitung.

Im Rahmen des Querschnittsthemas „Salze und Reststoffe“ werden Fragestellungen und Ergebnisse in Bezug auf Anforderungen für die Verwertung und Entsorgung von Salzen und Reststoffen, geeignete Technologien für die Behandlung von hoch konzentrierten (Salz-) Strömen, aber auch die Analytik in Konzentraten sowie Parameter zur Prozesssteuerung und Überwachung in Konzentratströmen diskutiert.

Zum Thema „Genehmigungsrechtliche Aspekte im Umgang mit Konzentraten und Reststoffen“ trafen sich im Juni 2018 Vertreter von Behörden, Entsorgern und Industrie zu einem Diskussionsforum bei der DECHEMA in Frankfurt a.M. und diskutierten Aspekte und Perspektiven im kommunalen und industriellen Bereich. Es wurde zum einen deutlich, dass einheitliche Richtlinien zum Umgang mit Konzentraten für die Planungssicherheit und Umsetzung der in WavE untersuchten Technologien erforderlich sind. Des Weiteren wurden Kommunikation und Know-how-Transfer als wichtige Voraussetzungen für die Genehmigungsfähigkeit eines Vorhabens gesehen. Ein verstärkter Dialog zwischen Antragstellern und Behördenvertretern ist ein wichtiges Ziel für die Umsetzung der Technologien.

Am 10. Mai 2019 fand in Freiburg, kombiniert mit einem Fachseminar des WavE-Projektes HighCon („Konzentrate aus der Wasserwiederverwendung“), ein Workshop zum rechtlichen Umgang mit Konzentraten aus der industriellen Wasseraufbereitung statt. Behörden, Industrie und Forschung waren vertreten. Ein weiterer Workshop, der den Sachverhalt im kommunalen Bereich diskutieren soll, ist am 08. Oktober 2019 in Nordenham geplant.

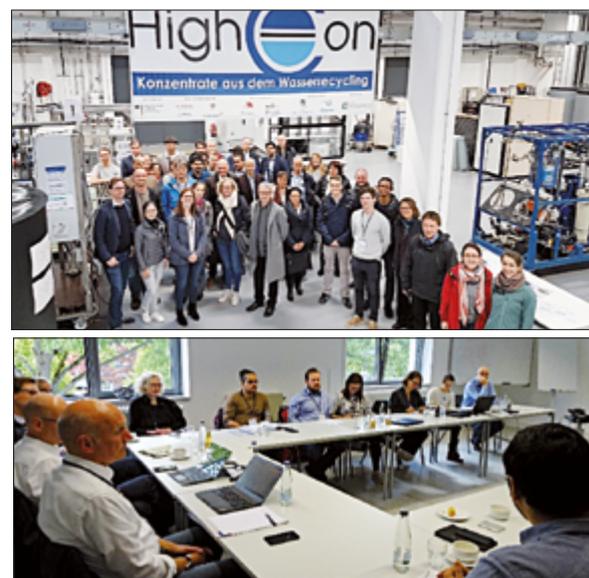


Abb. 12: Fachseminar und Workshop in Freiburg zum Thema „Rechtlicher Umgang mit Konzentraten aus der industriellen Wasseraufbereitung“ (Foto: TU Berlin)

KOMMENDE VERANSTALTUNGEN

Hier können Sie mehr über WavE erfahren:

- ▶ **21.10.19:** Water Reuse Europe Knowledge Exchange Event, Lille, Frankreich.
Mehr Informationen unter:
<https://www.water-reuse-europe.org/event/kex2019>
- ▶ **14.-15.11.2019:** Industrietage Wassertechnik, Frankfurt.
Mehr Informationen unter: <https://dechema.de/wassertechnik2019>
- ▶ **25.-26.11.2019:** Symposium Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung, Frankfurt.
Mehr Informationen unter:
https://dechema.de/Symposium+Strategien+zur+Boden_+und+Grundwassersanierung-p-20082540.html
- ▶ **03.-04.12.2019:** WavE-Abschlussveranstaltung, Berlin
Mehr Information unter:
<https://dechema.de/WavE2019.html>
- ▶ **30.03.-02.04.2020:** IWA Conference Water in Industry 2020, Nanjing, China
Mehr Information unter: <http://www.iwa-win.org>
- ▶ **04.-08.05.2020:** IFAT, München.
Mehr Informationen unter: www.ifat.de
- ▶ **29.-30.09.2020:** Spurenstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf, Frankfurt.
Mehr Informationen unter: <https://dechema.de/suk2020.html>

VERÖFFENTLICHUNGEN

- ▶ **Multi-ReUse:** Imagefilm erklärt das Forschungsprojekt Multi-ReUse: <https://iww-online.de/multi-reuse-imagefilm-erklart-das-forschungsprojekt>
- ▶ **Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“:**
„Mindestanforderungen an eine Wasserwiederverwendung: Hinweise aus Sicht der WavE-Forschungsprojekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)“, GWF Wasser/Abwasser, 12/2018.
https://www.gwf-wasser.de/fileadmin/GWF/Downloads/gwf_Wasser_Abwasser_Ausgabe_12_2018_WAVE.pdf
- ▶ **TrinkWave: aktuelle Publikationen:**
<https://www.wasser.tum.de/trinkwave/publikationen>
- ▶ **HypoWave: aktuelle Publikationen**
<http://www.hypowave.de/ergebnisse/publikationen>

Mehr unter: www.bmbf-wave.de

DIE 13 VERBUNDPROJEKTE DER BMBF-FÖRDERMASSNAHME WavE

Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser

- ▶ **DiWaL:** Entwicklung eines ressourceneffizienten Wassermanagement- und Anlagenkonzepts für Vorbehandlungs- und Tauchlackieranlagen unter Nutzung der Elektroimpulstechnologie zur Dekontamination von industriellen Wässern und Lacken. <https://www.ihm.kit.edu/724.php>
- ▶ **HighCon:** Konzentrate aus der Abwasserwiederverwendung. www.highcon.de
- ▶ **PAKmem:** Aufbereitung problematischer Prozess- und Abwässer mit keramischen Nanofiltrationsmembranen. www.pakmem.de
- ▶ **Re-Salt:** Recycling von industriellen salzhaltigen Prozesswässern. <http://resalt.web.th-koeln.de>
- ▶ **WaRelp:** Water-Reuse in Industrieparks. www.wareip.de
- ▶ **WaterMiner:** Räumlich-zeitlich abgestimmte Kreislaufführung und Wiederverwendung bergbaulicher Abwässer am Beispiel eines urban geprägten Bergbaugebietes in Vietnam www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/forschung/waterminer
- ▶ **WEISS:** Effiziente Kreislaufführung von Kühlwasser durch integrierte Entsalzung am Beispiel der Stahlindustrie www.bfi.de/de/projekte/weiss-effiziente-kreislauffuehrung-von-kuehlwasser-durch-integrierte-entsalzung-am-beispiel-der-stahlindustrie

Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser

- ▶ **REMEMBER:** Ressourcen- und energieeffiziente Wasser-Membranfiltration mittels Dielektrophorese www.remember-projekt.de
- ▶ **WaKap:** Modulares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung mittels kapazitiver Entionisierung am Beispiel Vietnam www.projektwakap.wordpress.com

Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser

- ▶ **EPoNa:** Ertüchtigung von Abwasser-Ponds zur Erzeugung von Bewässerungswasser in Namibia www.epona-africa.com/index.php/en
- ▶ **HypoWave:** Einsatz hydroponischer Systeme zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung www.hypowave.de
- ▶ **MULTI-ReUse:** Modulare Aufbereitung und Monitoring bei der Abwasser-Wiederverwendung www.water-multi-reuse.org
- ▶ **TrinkWave:** Planungsoptionen und Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen www.wasser.tum.de/trinkwave

KONTAKT

Wissenschaftliche Begleitung der BMBF-Fördermaßnahme WavE



DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.
Theodor-Heuss-Allee-25
D-60486 Frankfurt am Main
Fax: +49 (0)69 7564-117

Dr. Thomas Track

Tel.: +49 (0)69 7564-427

E-Mail: thomas.track@dechema.de

Dr. Christina Jungfer

Tel.: +49 (0)69 7564-364

E-Mail: christina.jungfer@dechema.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

www.bmbf-wave.de

