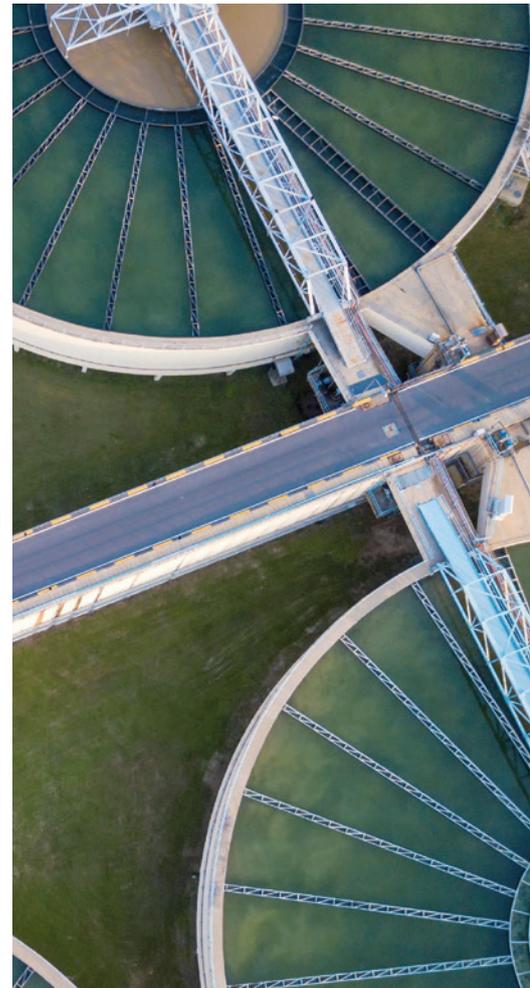


Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

Wave

Wassertechnologien: Wiederverwendung



Wassertechnologien: Wiederverwendung

Statusseminar

07. / 08. Februar 2023

DECHEMA-Haus, Frankfurt am Main

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA

Nachhaltiges Wassermanagement

IMPRESSUM

Herausgeber:



DECHEMA e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II):

Beim BMBF:
Dr. Helmut Löwe
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Beim Projektträger:
Dr.-Ing. Markus Delay
Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Editor:

Vernetzungs- und Transfervorhaben der BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II)

Verantwortlich im Sinne des Presserechts:
Dr. Thomas Track
DECHEMA e.V.
Tel.: +49 (0)69 7564-427
Fax: +49 (0)69 7564-117

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 02WV1560

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren der einzelnen Beiträge.
Die Broschüre ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.

Erschienen im Februar 2023
zum Statusseminar der BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II)

Bildnachweise:

Titelseite: v.l. © shutterstock_549967909; AdobeStock_104018185; shutterstock_1024670731

Seite 4: iStock_1142265929; Seite 5: AdobeStock_90707021

BMBF-Fördermaßnahme Wassertechnologien: Wiederverwendung (WavE II)

Hintergrund und Ziele	4
Struktur der Fördermaßnahme	5
Untersuchungsstandorte der Verbundprojekte	6
Übersicht der Verbundprojekte	7

Vorstellung der Verbundprojekte

Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser

FITWAS	8
Med-zeroSolvent	10
RIKovery	12
NERA	14
WEISS_4PN	16
ReWaMem	18

Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser

innovatION	20
SULFAMOS	22
HaSiMem	24
KonTriSol	26

Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser

Nutzwasser	28
FlexTreat	30
PU ₂ R	32
HypoWave+	34
TrinkWave Transfer	36

Querschnittsthemen

Bewertung	38
Digitalisierung	39
Technologien und Verfahren	40
Analytik, Monitoring, Überwachung	41
Implementierung von Projekten	42

Hintergrund und Ziele



Mensch, Umwelt und Wirtschaft benötigen täglich Wasser in ausreichender Menge und Qualität. Allerdings wird Wasser in vielen Regionen der Erde zunehmend knapper – selbst in Deutschland haben starke Trockenperioden in den vergangenen Jahren regional zu Ernteausfällen oder zu Einschränkungen in der industriellen Produktion geführt. Eine wachsende Weltbevölkerung, stark zunehmende industrielle und landwirtschaftliche Aktivitäten sowie eine beschleunigte Urbanisierung erhöhen global den Bedarf an Wasser. Dem stehen begrenzte Wasserressourcen gegenüber, was zu Nutzungskonkurrenzen führt. Wasserknappheit bedroht zunehmend Ökosysteme und beeinträchtigt die wirtschaftliche und politische Entwicklung ganzer Regionen und Länder. Die trockenen Sommer der letzten Jahre haben gezeigt, dass zunehmend Lösungen benötigt werden, um einem regionalen Wassermangel nachhaltig entgegenwirken zu können.

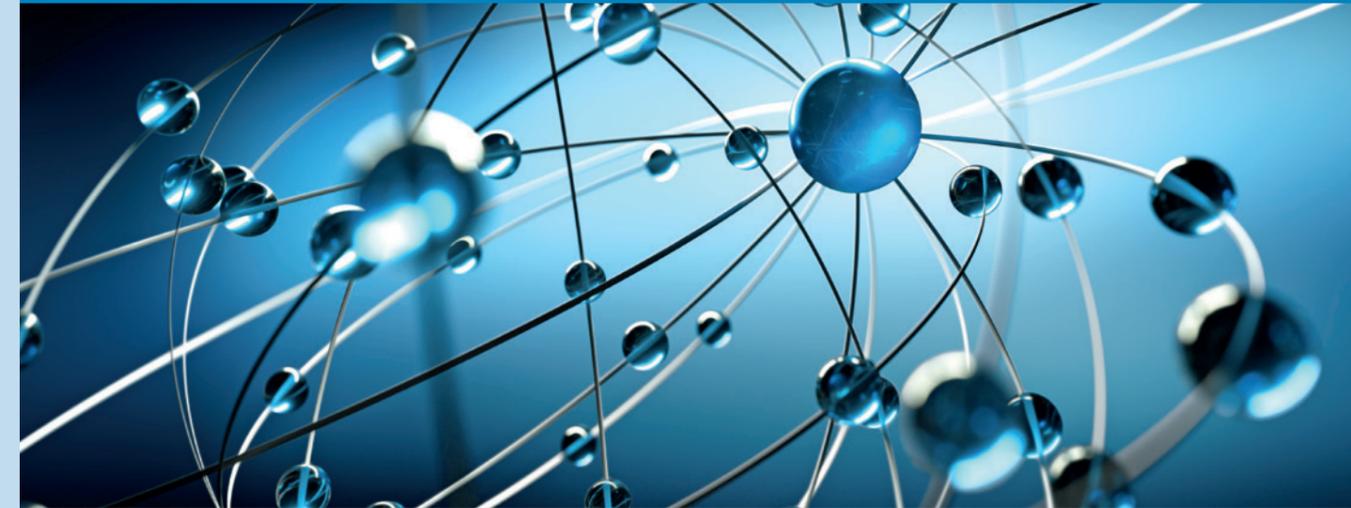
Das Schließen von Wasserkreisläufen durch Wiederverwendung spielt eine Schlüsselrolle. Diese kann dazu beitragen, die Wasserverfügbarkeit nachhaltig zu erhöhen und Wasser effizienter zu nutzen.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II) auf den Weg gebracht; diese läuft seit Februar 2021. WavE II baut auf der Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE) auf, die bereits 2016 startete.

Ziel beider Fördermaßnahmen ist es, innovative Technologien, Betriebskonzepte und Managementstrategien zur Wasserwiederverwendung und Entsalzung zu entwickeln, um die Wasserverfügbarkeit nachhaltig zu erhöhen. In der Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ stehen nun auch Reallabore, Standardisierung und die Potenziale der Digitalisierung stärker im Fokus.

Verbundprojekte mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis sowie ein Vernetzungs- und Transfervorhaben sollen mit ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dazu beitragen, Wasser effizienter zu nutzen sowie alternative Wasserressourcen für verschiedene Sektoren zu erschließen. Die Untersuchungen und Entwicklungen erfolgen unter praxisnahen Bedingungen und beziehen auch Demonstrationsanlagen im technischen Maßstab mit ein. Besondere Bedeutung kommt der Übertragbarkeit der technologischen und konzeptionellen Ansätze auf andere Standorte mit ähnlichen Randbedingungen zu – auch im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen auf dem internationalen Technikmarkt und die erfolgreiche Anwendung für Lösungen „made in Germany“.

Struktur der Fördermaßnahme



Im Rahmen von „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II) werden 13 Verbundprojekte und ein Vernetzungs- und Transfervorhaben vom BMBF gefördert, die sich in dieser Programm-begleitenden Broschüre zum Statusseminar vorstellen. Weiterhin präsentieren zwei laufende Verbundpro-

jekte aus der Fördermaßnahme WavE (TrinkWave Transfer und KonTriSol) ihre aktuellen Ergebnisse.

Die Forschungsschwerpunkte können den drei folgenden Themenfeldern zugeordnet werden:



Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser



Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser



Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden von einem **Lenkungskreis** als begleitendem Gremium unterstützt, dem neben den Koordinatorinnen und Koordinatoren der Verbundprojekte auch externe Fachleute aus der wasserwirtschaftlichen Praxis angehören. Der Lenkungskreis fungiert als Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis und dient dem direkten Wissens- und Informationsaustausch.

Die Fördermaßnahme wird durch ein **Vernetzungs- und Transfervorhaben** unterstützt, das allen Akteuren bei der Abwicklung der Fördermaßnahme zur Seite steht. Das Vernetzungs- und Transfervorhaben beider Fördermaßnahmen Wassertechnologien: Wiederverwendung und WavE wird von der DECHEMA e.V. wahrgenommen und ist ein zentraler Anlaufpunkt aller Akteure der Fördermaßnahmen. In ihrer Funktion

hilft das Vorhaben, die Verbundprojekte der Fördermaßnahmen fachlich zu begleiten, themenübergreifend zu vernetzen (intern und extern) und den Ergebnistransfer in die Praxis (national – europäisch – international) zu unterstützen.

Kontakt Vernetzungs- und Transfervorhaben:

Dr. Thomas Track
E-Mail: thomas.track@dechema.de

Dr. Christina Jungfer
E-Mail: christina.jungfer@dechema.de

Sabrina Giebner
E-Mail: sabrina.giebner@dechema.de

Untersuchungsstandorte der Verbundprojekte



Übersicht der Verbundprojekte



Themenfeld:
Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser

- 1 FlexTreat**
Flexible und zuverlässige Konzepte für eine nachhaltige Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft
Koordination: Prof. Dr.-Ing. Thomas Wintgens, RWTH Aachen, Aachen
- 2 HypoWave+**
Implementierung eines hydroponischen Systems als nachhaltige Innovation zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung
Koordination: Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn, TU Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig
- 3 Nutzwasser**
Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung (Nutzwasser als alternative Wasserressource)
Koordination: Prof. Jörg E. Drewes, TU München – Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, München
- 4 PU₂R**
Point-of-Use Re-Use: Dezentrale landwirtschaftliche Wiederverwendung von häuslichem Abwasser zur Verringerung von Nutzungskonkurrenzen
Koordination: Dr. Aki Sebastian Ruhl, Umweltbundesamt, Berlin
- 15 TrinkWave Transfer***
Großtechnische Erprobung neuer Entwicklungen bei der Sequentiellen Grundwasseranreicherung
Koordination: Prof. Jörg E. Drewes, TU München – Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, München



Themenfeld:
Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser

- 5 FITWAS**
Wiederverwendung von Filterspülwässern aus der Grundwasseraufbereitung zur Sicherung der Trinkwasserversorgung
Koordination: Dr. Barbara Wendler, DVGW-Forschungsstelle an der TU Hamburg, Hamburg
- 6 Med-zeroSolvent**
Neue Wege im medizintechnischen Wassermanagement – Etablierung innovativer Methoden für die abwasserfreie Produktion durch energieeffiziente Behandlung von stark belasteten Prozesswässern aus der Membranherstellung
Koordination: Prof. Peter Krebs, TU Dresden – Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Dresden

7 NERA

Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie
Koordination: Prof. Dr.-Ing. Michael Sievers, CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld

8 ReWaMem

Recycling von Wäschereiabwasser zur Wiederverwendung des Abwassers mittels keramischer Nanofiltration
Koordination: Sebastian Auer, Kompetenznetzwerk Wasser und Energie e.V., Hof

9 RIKovery

Recycling von industriellen salzhaltigen Wässern durch Ionentrennung, Konzentrierung und intelligentes Monitoring
Koordination: Dr. Yuliya Schießer, Covestro Deutschland AG, Leverkusen

10 WEISS_4PN

Integrative Anwendung von Innovationen und digitales Kühlleistungsmanagement zur Reduzierung des Wasserbedarfs in der Stahlproduktion
Koordination: Stefan Schmidt, SMS group GmbH, Hilchenbach



Themenfeld:
Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser

11 HaSiMem

Wasserrückgewinnung aus Haldensickerwässern auf der Basis von Membrandestillationsprozessen und Kopplung mit Kristallisation
Koordination: Bernhard Neupert, K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen

12 innovatION

Selektive Entfernung monovalenter Ionen aus salzhaltigen Wässern für die Grundwasseranreicherung und Trinkwasseraufbereitung
Koordination: Prof. Dr.-Ing. André Lerch, TU Dresden, Dresden

13 SULFAMOS

Sulfatabreicherung mittels Vorwärtsosmose und Hohlfasertauchmodulen
Koordination: Isabel Jordan, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke bei Freiberg

14 KonTriSol*

Konzentrate aus der Trinkwasseraufbereitung – Lösungsansätze für die technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Hemmnisse beim Einsatz von NF/RO-Prozessen in der Trinkwasseraufbereitung
Koordination: Anja Rohn, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser

* Projekt aus der Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE)

Projektziele

Ziel des FITWAS-Projektes ist es, durch die Wiederverwendung von Filterspülwässern aus der Grundwasseraufbereitung die Verfügbarkeit von Trinkwasser zu erhöhen. Bei der Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasser fallen bei norddeutschen Wasserversorgern Filterspülwässer in der Größenordnung zwischen 1 % und 4 % an. Diese eisen- und manganhaltigen Filterspülwässer werden derzeit i.d.R. als Abwasser entsorgt und sind damit für die Trinkwasserversorgung unbrauchbar. Zur Wiederverwendung dieser Wässer werden in FITWAS Membranverfahren mit unterschiedlichen Verfahrenskonzepten und Membranmodulen/-materialien im Vergleich zur konventionellen Aufbereitung (z.B. Sandfiltration) bzw. Entsorgung untersucht, ausgehend von Laborversuchen bis hin zu Praxistests an vier Wasserwerksstandorten. Parallel werden Verwertungsoptionen für den Filterschlamm evaluiert und getestet.

Zwischenergebnisse

Da keramische Membranen bisher nicht zur Aufbereitung von Filterspülwasser eingesetzt werden, aber ein hohes Potential für schwierige Wässer haben, lag der Schwerpunkt der Laborversuche auf keramischen Membranen aus den Materialien SiC und Al₂O₃. Die keramischen Flachmembranen werden im Unterdruckbetrieb in einer Laboranlage (Tankvolumen ca. 6 Liter, Membranfläche ca. 100 cm²) getestet. Mit beiden Membranen wurde dabei ein hoher Filtratflux im Vergleich zu polymeren Membranen erreicht. Eine vorherige Sedimentation des Filterspülwassers wirkt sich negativ auf den Betrieb der Membranfiltration aus. Bei sedimentiertem Filterspülwasser sinkt die Permeabilität der Membranen irreversibel ab. Durch Rückspülung der Membranen zur Ablösung des Filterkuchens kann die Filtratleistung also nicht vollständig wiederhergestellt werden. Homogenisiertes Filterspülwasser bildet einen besser rückspülbaren Filterkuchen, so dass



Pilotanlage zur Aufbereitung von Filterspülwasser mittels getauchter Polymere Membranen (Quelle: HAMBURG WASSER)



Laufzeit

01.02.2021 – 31.01.2024

Koordination:

Dr. Barbara Wendler
DVGW-Forschungsstelle TUHH (DVGW-TUHH)
Am Schwarzenberg-Campus 3, 21073 Hamburg
E-Mail: barbara.wendler@tuhh.de

Webseite

www.tuhh.de/www/fitwas

Verbundprojektpartner

CERAFILTEC Germany GmbH Blue Filtration, Saarbrücken
Hamburger Wasserwerke GmbH (HWW), Hamburg
Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV), Brake
PHL Substratkontor GmbH & Co. KG, Friesoythe
Umweltbundesamt (UBA), Berlin

diese Betriebsweise zu bevorzugen ist. Weiterhin wird mit der Membran aus SiC im Vergleich zu Al₂O₃ der gewünschte Filtratflux bei geringerem angelegtem Unterdruck erreicht. In den Laborversuchen wurde eine hydraulische Rückspülung über 20 Sekunden eingesetzt. Im Folgenden ist geplant, kurze Rückspülstöße (Back Pulse) von wenigen Sekunden zu nutzen und so die Filtratausbeute weiter zu verbessern.

Die Laborversuche waren Basis für Start-Parameter beim Betrieb einer Pilotanlage mit keramischen Membranen an einem Wasserwerksstandort von HAMBURG WASSER. Der erwartete Bereich für den Filtratflux liegt bei 75 - 150 L/m²h.

Die Pilotversuche am ersten Wasserwerksstandort sind im Sommer 2022 gestartet. Im Wasserwerk Süderelbmarsch von Hamburg Wasser wurde zuerst eine Sandfilter-Versuchsanlage in Betrieb genommen, um die Aufbereitung von sedimentierten Filterspülwässern mit Flockung und Sandfiltration zu testen. Erste Ergebnisse zeigen, dass während der Filtration eine zuverlässige Trübungsreduktion erreicht wird. Die Filtratqualität entspricht den Anforderungen für eine (der Sandfiltration) nachgeschaltete UV-Desinfektion. Diese ist notwendig, um das Wasser im Wasserwerk wieder zu Trinkwasser aufbereiten zu können.

Parallel wird von HAMBURG WASSER die Membranfiltration mit getauchten polymeren Membranen ohne vorherige Sedimentation untersucht (siehe Abbildung, Größenordnung 1 m³/h). Das Filterspülwasser weist eine Trübung bis zu 1000 NTU und Gesamteisengehalte bis 200 mg/L auf. Es wird ein industrielles Membranmodul mit Hohlfasermembranen im out-in Unterdruckbetrieb eingesetzt. Die Versuchsschwerpunkte liegen auf der Betriebsstabilität, der Filtratqualität, sowie der Erarbeitung von Reinigungsstrategien (Rückspülung, Belüftung und chemische Reinigung), um einen dauerhaft hohen Filtratflux zu realisieren. Es zeichnet sich hierbei eine Größenordnung für den Flux von 60 L/m²h für die polymere Membran ab.

Ausblick

Da im Herbst 2022 im gleichen Wasserwerk auch eine Pilotanlage mit keramischen Flachmembranen im Unterdruckbetrieb aufgebaut und in Betrieb genommen wurde, können im Folgenden beide Membrantypen direkt verglichen werden.

Parallel ist die Vorbereitung der Pilotversuche in einem Wasserwerk des OOWV erfolgt. Hierfür ist ein Umbau der bisherigen Speicherung der Filterspülwässer erforderlich, um

die Filterspülwässer entsprechend der anfallenden Chargen ohne Vermischung und Verunreinigung zur Membranfiltration führen zu können. Der Versuchsstart der Pilotversuche mit den dortigen Filterspülwässern steht in 2023 an. Es wird hier eine weitere Konfiguration der Membranfiltration untersucht, nämlich polymere Hohlfasermembranen im in-out- Druckbetrieb, was weitere Vergleichsmöglichkeiten der Verfahren schafft. Unter halbtechnischen Bedingungen sind weiterhin Untersuchungen zur maximal erreichbaren Ausbeute des jeweiligen Verfahren sowie zur ökonomischen Verwertung der Filtrerrückstände geplant.

Med-zeroSolvent

Neue Wege im medizintechnischen Wassermanagement – Etablierung innovativer Methoden für die abwasserfreie Produktion durch energieeffiziente Behandlung von stark belasteten Prozesswässern aus der Membranherstellung

Projektziele

Das Ziel des Verbundvorhabens Med-zeroSolvent besteht in der Entwicklung eines energieoptimierten, mehrstufigen Verfahrens zur Aufbereitung lösungsmittelhaltiger Prozesswässer aus der Herstellung von Dialysemembranen. Wesentliche Verfahrensbestandteile sind technische und naturnahe Biofilmverfahren für den biologischen Abbau der untersuchten Lösungsmittel Dimethylacetamid (DMAc) und N-Methylpyrrolidon (NMP). Zur Einhaltung der Qualitätsanforderungen für die Wasserwiederverwendung wird die biologische Abwasserbehandlung mit einem Membranverfahren gekoppelt. Darüber hinaus wird zur Unterstützung des biologischen Abbaus im Produktionsprozess entstehende Abwärme in den Abwasserbehandlungsprozess integriert.

Für einen flexiblen Betrieb wird ein Steuerungssystem entwickelt, über das den Aufbereitungsstufen mögliche Nutzungszwecke mit der dafür benötigten Wasserqualität zugeordnet werden. Damit kann behandeltes Prozesswasser in verschiedenen Qualitätsstufen aus dem Aufbereitungsverfahren ausgeschleust werden.

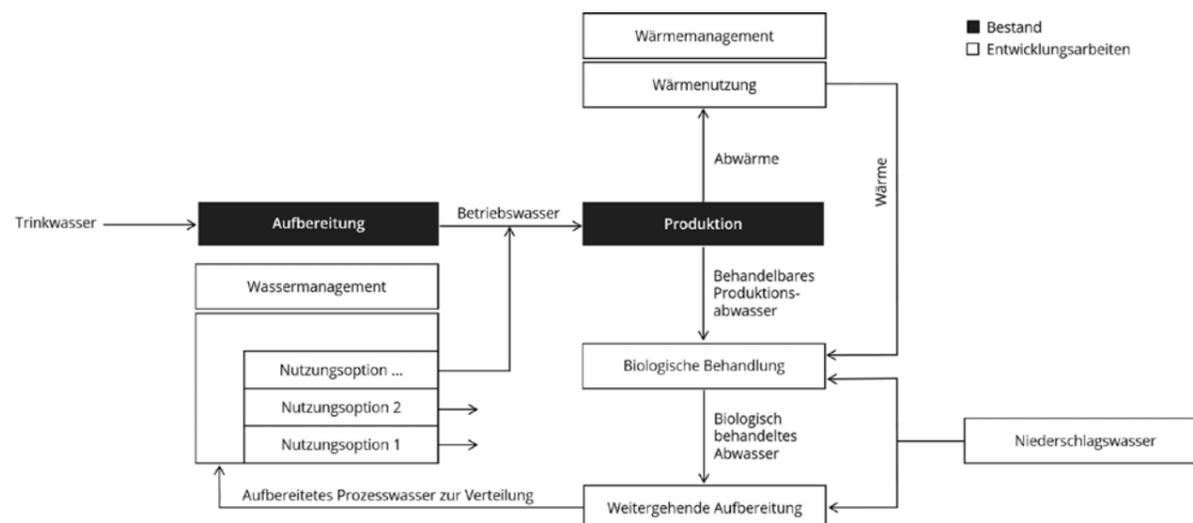
Neben der Einsparung an Frischwasser sollen mit dem Verfahren Aufwand und Kosten für den bisher genutzten Weg der Prozesswasserentsorgung gesenkt werden. Damit wird auch die Verlagerung umweltkritischer Substanzen auf kommunale Kläranlagen durch Umsetzung von Maßnahmen an

der Quelle vermieden. Gleichzeitig sinkt der Transportaufwand für die externe Prozesswasserentsorgung und die damit verbundenen Kohlendioxidemissionen.

Zwischenergebnisse

In den bisher durchgeführten Arbeiten wurden im Wesentlichen Grundlagen für die anstehende Pilotphase untersucht. Dies beinhaltet die Entwicklung geeigneter Methoden zum Nachweis der relevanten Substanzen, die Durchführung von Prozessanalysen in den beteiligten Werken und die Durchführung kleintechnischer Abbaueversuche mit zweistufigen Vertikalfiltern, Moving-Bed-Biofilm-Reaktoren (MBBR) und Anaerobverfahren.

In den Abbaueversuchen wurde einerseits synthetisches Abwasser eingesetzt, andererseits zur Bewertung der Vergleichbarkeit, reales Abwasser aus der Membranproduktion. Im Ergebnis zeigte sich, dass DMAc sowohl unter aeroben als auch unter anaeroben Bedingungen abbaubar ist. Die Flächenbelastung der Vertikalfilter lag mit 160 – 320 g CSB/(m² d) deutlich über der von vergleichbaren, mit kommunalem Abwasser betriebenen, Vertikalfiltern. Es wurde nachgewiesen, dass zumindest kurzzeitig CSB-Konzentrationen von bis zu 15 g CSB/L ohne Beeinträchtigung des Gesamtwirkungsgrades behandelbar sind. Die Wahl des Filtermaterials der ersten Stufe ist dabei entscheidend für die Reinigungsleistung. Mit MBBR-Verfahren kann ein vergleichbar hoher Wirkungsgrad



Konzept zur Kreislaufschließung im Projekt Med-zeroSolvent (Quelle: T. Schalk, TU Dresden, Professur Siedlungswasserwirtschaft)



erzielt werden. Grundsätzlich wird der DMAc-Abbau durch den pH-Wert beeinflusst. Dabei sinkt der Wirkungsgrad ab pH-Werten > 9 deutlich.

Die Methodenentwicklung für die Bestimmung von DMAc, NMP und BPA wurde abgeschlossen. Gegenwärtig laufen Untersuchungen zur Etablierung einer onlinefähigen Nachweismethode zur Bestimmung von DMAc mit einem UV-Vis-Spektrometer.

Das ökotoxikologische Potenzial der realen Prozesswässer aus der Membranherstellung sowie der DMAc- und DMA-Reinsubstanzen wurde mit verschiedenen Testverfahren untersucht. Neben den bereits etablierten Tests zur Erfassung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS-Test), mutagener (AMES-Test) und gentoxischer Effekte (Mikrokern-Test) wurden Untersuchungen zur Wachstumshemmung und Herbizidtoxizität mit dem kombinierten Algentest sowie Untersuchungen zum östrogenen Potential von BPA (A-YBS-Test) etabliert und bewertet. Darüber hinaus wurde die Mischtoxizität von DMAc und DMA sowie realer Prozesswässer gegenüber Algen und Daphnien (Primärkonsumenten) getestet.

Ausblick

Ein wesentlicher Teil der Methodenentwicklung ist abgeschlossen worden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Verfahrensführung der Pilotanlage ein. Aktuell werden Untersuchungen zum aeroben und anaeroben Abbau von NMP, zur Optimierung des Betriebs von Vertikalfiltern bei hohen Zulaufkonzentrationen und zum Einfluss von BPA auf den biologischen Abbau durchgeführt.

Ein membranbasiertes Verfahren zur weitergehenden Abwasseraufbereitung wird derzeit entwickelt. Der Fokus liegt auf dem Einsatz ionenselektiver Membranen, um den Aufwand für die Denitrifikation der während der biologischen Behandlung entstehenden hohen Nitratkonzentrationen zu senken. Die Ergebnisse dienen zur Entwicklung eines Moduls für die Pilotanlage.

Laufzeit
01.04.2021 – 31.03.2024

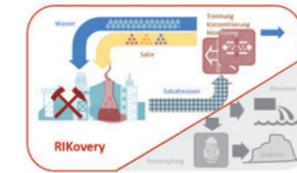
Koordination:
Prof. Dr. Peter Krebs
Technische Universität Dresden
Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft
01062 Dresden
Besucheradresse: Bergstraße 66, 01069 Dresden
E-Mail: peter.krebs@tu-dresden.de

Webseite
www.medzerosolvent.de

Verbundprojektpartner
B. Braun Avitum Saxonia GmbH, Radeberg
CUP Laboratorien Dr. Freitag GmbH, Radeberg
DAS Environmental Expert GmbH, Dresden
Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige GmbH (ILK), Dresden
Me-Sep, Dresden
Technische Universität Dresden, Institut für Hydrobiologie, Dresden
wasserWerkstatt Ingenieurbüro für ökologische Wasserwirtschaft, Dresden

Die biologischen Behandlungsmodul der Pilotanlage sind fertig gestellt worden. Parallel dazu wird das Steuerungssystem entwickelt. Dieses ist so angelegt, dass über eine mit der Steuerung kommunizierende Simulationssoftware ein digitaler Zwilling geschaffen werden kann, der entweder in Echtzeit die Prozesse der Pilotanlage abbildet oder Aussagen über das Anlagenverhalten für geplante Lastzustände zulässt.

Parallel zu den Entwicklungsarbeiten werden die Prozessanalysen in den beteiligten Werken fortgesetzt und Untersuchungen zur Energieoptimierung, insbesondere zur Wärmeerzeugung und zur Wärmenutzung, weiter vertieft.



Projektziele

Die zunehmende Wasserknappheit erhöht die Notwendigkeit, salzhaltiges Wasser wiederzuverwenden und gleichzeitig die entfernten Inhaltsstoffe einer erneuten Nutzung zuzuführen. Derzeit werden in Deutschland jährlich mehr als 6 Mio. t Chlorid über das Abwasser in Oberflächengewässer eingeleitet. Mehr als ¾ davon stammen aus der chemischen (51 %) und der mineralverarbeitenden Industrie (26 %). Dabei sind sowohl Prozessabwässer und Teilströme bestehender Aufbereitungsprozesse als auch Salzabwässer aus Halden oder salzhaltigen Grundwässern relevant.

Da es sich bei den Salzbelastungen häufig um Mischungen aus verschiedenen Salzen handelt und/oder die Konzentration für eine direkte Nutzung zu gering ist, sind Aufbereitungsverfahren erforderlich, um eine Weiternutzung zu ermöglichen. Verfahrenstechnisch gelingt eine Abtrennung von Salzen durch Eindampfanlagen, die jedoch mit sehr hohem Energieaufwand verbunden sind und selten eine Nutzung der Reststoffe/Salze erlauben. Das RIKovery-Projekt konsortium verfolgt die Vision, salzhaltige industrielle Wasserströme möglichst vollständig zu nutzen, und damit natürliche Wasserressourcen zu entlasten.

serströmen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich Herkunft des Wassers, Konzentrationsniveau und ionischer Zusammensetzung der Salze oder NebenkompONENTEN. Es ist nicht zu erwarten, dass mit einer einzigen Technologie eine umfassende Aufbereitung möglich wird. In RIKovery sollen daher die Potenziale von vier innovativen Technologien (Osmotic Assisted Reverse Osmosis OARO, High Pressure Nanofiltration HPNF, Forward Osmosis FO, Flow-Electrode Capacitive Deionization FCDI) systematisch untersucht und die jeweils aussichtsreichen Einsatzbereiche erarbeitet werden. Übergeordnetes Projektziel ist die Erstellung einer fundierten Entscheidungsgrundlage (CAPEX, OPEX, LCA, technische Machbarkeit) für die Implementierung von Salz- und Wasser-Rückgewinnungsverfahren im Produktionsmaßstab.

Zwischenergebnisse

Für die Aufkonzentrierung von NaCl-Lösungen für die Chlor-Alkali-Elektrolyse konnte der Einsatz der HPNF bei 120 bar zur weiteren energieeffizienten Aufkonzentrierung der Salzwässer im industrierelevanten Maßstab (4"-Membranelemente) erfolgreich in Langzeittests erprobt werden. Eine Pilotierung der Technologie wird mit einer Verspätung von ca. 5 Monaten voraussichtlich im Januar 2023 starten.

Auch für die Aufbereitung von hochsalzhaltigen Wässern der Kali-Industrie, mit dem Ziel der Trennung von ein- und zweiwertigen Ionen, konnte die Technologie der HPNF bei 120

bar erfolgreich im Labor getestet werden. Der Einfluss von Konzentrationsschwankungen in Bezug auf die Salzfracht und -Zusammensetzung sowie der Einfluss organischer Belastungen (TOC) auf die Membranelemente wird derzeit näher untersucht.

Die NF-Membranelemente, die für die o.g. Anwendungsfälle auf Basis eines Membranscreenings als geeignet identifiziert wurden, sind derzeit bis 83 bar spezifiziert. Ihre Anwendung bei 120 bar erwies sich für beide Einsatzbereiche bisher als zielführend.

Die Forward Osmosis (FO) wurde für die Aufkonzentrierung der mit der HPNF behandelten Wässer der Kali-Industrie erfolgreich getestet. Hierfür wurden verfügbare Membranelemente mit 2,3 m² Membranfläche verwendet. Es konnten Aufkonzentrierungen bis in den Sättigungsbereich erreicht werden, was über die erwarteten Ergebnisse für die Anwendung dieses Trennverfahrens hinausgeht.

In Bezug auf die OARO wurde, nach eingehender Recherche und Kommunikation mit Modul-Herstellern sowie Technologieanbietern, ein 60 m²-Membranmodul beschafft. Die experimentelle Untersuchung unter entsprechenden Betriebsbedingungen befindet sich in Planung.

Die Betrachtung der Trennung und Aufkonzentration aus einem Wasser mit NaCl und Na₂SO₄ mittels FCDI wurde erfolgreich durchgeführt. Die Zielvorgaben einer Abtrennungselektivität von deutlich mehr als 20 gegenüber Sulfat-Ionen und einer Konzentration auf 150 g/L NaCl im Konzentratstrom wurden in den unterschiedlichen Modulgrößen gezeigt. Mit der Mischlösung aus Na₂CO₃ und Na₂SO₄ wurde unter den gegebenen Einsatzbedingungen keine Selektivität von über 20 erreicht. Weiter zeigen die Pilotmodule eine schlechtere Performance als jene im Labormaßstab, hier wird weiter an der Optimierung bis zum Eintreffen der Pilotanlage gearbeitet. Der Bau der Pilotanlage verzögert sich und die Pilotierung wird voraussichtlich erst im Sommer 2023 starten.

Zur Wiederverwendung von Salzen und Wässern für nachfolgende Prozesse sind spezifische Parameter einzuhalten, um Betriebssicherheit zu gewährleisten. Es wird sowohl an einer online-fähigen Prozessüberwachung für bekannte als auch an einer Qualitätssicherung für unbekannte Inhaltsstoffe gearbeitet.

Im Arbeitspaket des intelligenten Monitorings für unbekannte Inhaltsstoffe wurde ein Probenvorbereitungskonzept

Laufzeit

01.02.2021 – 31.01.2024

Koordination:

Dr.-Ing. Yuliya Schiesser
Covestro Deutschland AG
51373 Leverkusen, Kaiser-Wilhelm-Allee 60
E-Mail: yuliya.schiesser@covestro.com

Webseite

www.rikovery.rwth-aachen.de

Verbundprojektpartner

AFIN-TS Analytisches Forschungsinstitut für Non-Target Screening GmbH, Augsburg
BWS Anlagenbau & Service GmbH, Oberndorf a.N.
Evonik Operations GmbH, Hanau-Wolfgang
K+S AG, Unterbreizbach
RWTH Aachen, Aachen
Technische Hochschule Köln, Köln
TZW: DVGW – Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

entwickelt, welches es ermöglicht, den hohen Salzgehalt in den Proben auf weniger als 0,1 g/L zu verringern. Es wurde eine Analysenmethode mittels superkritischer Fluidchromatographie gekoppelt mit massenspektrometrischer Detektion etabliert, die einen breiten Polaritätsbereich abdeckt. Diese wurde für die Non-Target Screening Analyse von Proben eingesetzt und eine Datenauswertungsstrategie erarbeitet.

Die Fluoreszenzspektroskopie bietet sich für die schnelle onsite-Analytik an. Dazu wurden Methoden für die Bestimmung von aromatischen Verbindungen erarbeitet. Im weiteren Projektverlauf ist geplant, die Technik bei einer Pilotierung einzusetzen und deren Eignung als Frühwarnsystem für Prozessveränderungen zu testen (unnormale Veränderungen in der Fluoreszenz).

Die in Re-Salt-Projekt entwickelte und in RIKovery zur Online-Analytik ausgebaute Methode zur Ermittlung der Einzelverbindungen aus salzhaltigen Wässern wird zur Pilotierung am Standort Krefeld-Uerdingen (Covestro) vorbereitet.

Ausblick

In der zweiten Projekthälfte werden die Erkenntnisse aus praxisrelevanten Pilotierungen sowie ökonomische und ökologische Bewertungen unter standardisierten Kriterien erarbeitet.

Aufgabenstellungen zur Wiederverwendung von salzhaltigen industriellen Wässern



Hochdrucknanofiltrationsanlage für 120 bar Anwendung (Quelle: BWS Water).

NERA

Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie

Projektziele

Im Projekt NERA wird ein neues elektrochemisches Verfahren zur Reinigung metallhaltiger Abwässer entwickelt. Das Verfahren erlaubt durch die nahezu chemikalienfreie Entfernung von Schwermetallen eine effizientere Rückgewinnung von Prozesswasser, weil eine Aufsalzung des Abwassers bei dessen Aufbereitung vermieden wird. Darüber hinaus sollen Abwasserinhaltsstoffe wie Phosphat und Schwermetalle zurückgewonnen und in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden.

Für die vorgesehene Entwicklung des neuen Aufbereitungsverfahrens sind zudem Material- und Reaktorsystementwicklungen erforderlich. Hierzu zählen insbesondere neuartige Elektrodenmaterialien für eine ablagerungsfreie Fällung von Abwasserinhaltsstoffen sowie ein wartungsarmes Reaktor-konzept mit minimiertem Verbrauch an elektrischem Strom. Letzteres soll aus regenerativen Quellen gespeist werden, so dass insgesamt auch eine nahezu klimaneutrale Abwasser-aufbereitung möglich wird.

Das entwickelte Verfahren soll mit Abwasser aus Lackierprozessen der Automobilindustrie exemplarisch an einem Standort im Pilotmaßstab erprobt, bewertet und für ein zu-

kunftsweisendes Wasserwirtschaftskonzept berücksichtigt werden. Für ein solches Konzept sollen nicht nur verschiedene Abwasserströme zu Rohwasser aufbereitet, sondern auch die Anforderungen zur Rückgewinnung von Prozesswasser aus aufbereiteten Abwässern ermittelt werden.

Zwischenergebnisse

Als geeignetes Kathodenmaterial für eine ablagerungsfreie Fällung von Schwermetallen und Phosphaten wurde ein Graphit-Polymer-Compound gefunden. Die Zusammensetzung wurde anhand der Anforderungen für elektrische Leitfähigkeit, Steifigkeit, Nicht-Haftung der abgeschiedenen Metallverbindungen, Bruchfestigkeit und Materialbedarf optimiert. Mit Hilfe einer diskontinuierlich betriebenen Technikumsanlage und ausgewählten Materialien für Gegenelektrode und Membranen wurden optimierte Reaktor- und Prozessparameter wie z.B. Elektrodenabstand, Strömungsprofil, Stromdichte, pH-Wert, Wechselwirkungen zwischen Anoden- und Kathodenkammer etc. erarbeitet.

Es zeigte sich, dass eine die Entfernung von Schwermetallen, d.h. Zink, Nickel, Mangan von in der Summe ca. 50 mg/L (Original-Abwasser) auf jeweils unterhalb 0,5 mg/L chemikalienfrei, d.h. ohne Zugabe von Fällungsmitteln und sonstigen



Proof-of-Concept Versuchsanlage im CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal (Quelle: CUTEC)



Laufzeit

01.02.2021 – 31.01.2024

Koordination:

Prof. Michael Sievers
CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal
Leibnizstraße 23, 38678 Clausthal-Zellerfeld
E-Mail: michael.sievers@cutec.de

Webseite

www.projekt-nera.de

Verbundprojektpartner

Common-Link AG, Karlsruhe
Eisenhuth GmbH & Co. KG Osterode am Harz
Institut für Chemische und Elektrochemische
Verfahrenstechnik der TU Clausthal (ICVT), Clausthal-
Zellerfeld
Volkswagen AG (assoziiertes Partner), Braunschweig

chemischen Hilfsstoffen entfernt werden konnten. Weitere Untersuchungen zur Optimierung der Prozessparameter führten zu einer Verminderung des Stromverbrauchs auf ca. 1 bis 1,5 kWh/m³ Abwasser. Für Abwässer aus Phosphatieranlagen wurde ein mehrstufiges Verfahren mit optimierter Verschaltung von unterschiedlich betriebenen Reaktoren entwickelt, um einerseits Schwermetalle sowie andererseits schwermetallarmes Phosphat getrennt voneinander zurückzugewinnen und gleichzeitig die Grenzwerte nach Anhang 40 AbwV einzuhalten.

Die vorgesehene Prozesswasserrückgewinnung aus dem aufbereiteten Abwasser wurde mittels ein- und zweistufiger Umkehrosmose untersucht. Vergleichsversuche mit dem derzeit verwendeten Rohwasser aus der Okertalsperre zeigten, dass bei gleicher Permeatqualität mehr als 90 % des chemikalienfrei aufbereiteten Abwassers zurückgewonnen werden können. Allerdings sind gegebenenfalls Optimierungs- oder Wassermanagement-Maßnahmen in Bezug auf die Entfernung bzw. Vermeidung von Organik erforderlich, um Fouling in der Umkehrosmose zu minimieren.

Für die Pilotanlage wurde ein neues Reaktorkonzept mit drehenden, d.h. auf einer Welle befestigten, Kathoden und dazwischen angeordneten Anodenkammern erst konzeptionell und anschließend im Rahmen einer Detailplanung entwickelt. Zwei kontinuierlich betriebene Proof-of-Concept Technikumsanlagen wurden aufgebaut, um die Funktionsfähigkeit des neuen Reaktorsystems abzusichern, bevor die Pilotanlage gebaut wird.

Ausblick

Für den ausgewählten Pilot-Standort der Automobilindustrie ergibt sich für das untersuchte Abwasser ein Wassereinsparpotenzial von ca. 50.000 m³/a. Viele weitere Standorte dieses Herstellers sind ähnlich gelagert, so dass ein guter Beitrag zur regionalen Entlastung von Wasserressourcen bei Anwendung des Verfahrens möglich ist.

Das entwickelte Verfahren zur chemikalienfreien (Hydroxid-)Fällung von Schwermetallen ist zudem für verschiedene Industriezweige übertragbar, bei denen Abwässer aus der Metalloberflächenbehandlung durch Konversionsverfahren prozessbedingt anfallen (vgl. Merkblatt DWA-M 358).

Es bietet sich darüber hinaus auch sehr gut für eine Entkalkung und Enthärtung von Wässern jeglicher Art an, da Härtebildner wie z.B. Calcium und Magnesium auch chemikalienfrei als Hydroxide fällbar sind. Auch die Aufbereitung von Konzentraten aus der Umkehrosmose dürfte eine gute Option sein, weil das Scaling minimiert und dadurch die Wasserausbeute erhöht werden kann.

Damit sind Anwendungen in vielen gänzlich unterschiedlichen Industriezweigen, aber auch in der Brauchwasser- und Trinkwasseraufbereitung interessant, insbesondere in Anbetracht des bisher ermittelten geringen spezifischen Stromverbrauchs.



Projektziele

Das vielschichtige Verbundprojekt WEISS_4PN setzt gleich mit mehreren Optimierungsansätzen der Wiederverwendung und Ressourcenschonung von industriell genutztem Wasser an. Forschungsthemen sind u.a. die Vorfiltration und Entsalzung von Abwässern um diese den Kühlkreisläufen an Stelle von externem Frischwasser wieder zur Verfügung zu stellen, des Weiteren Themen wie die Erhöhung von Standzeiten von Umkehrosmosemembranen durch Verwendung von Antifouling-Beschichtungen, Etablierung von neuartigen Verfahren wie membrangestützter Kapazitiven Deionisation (MCDI), selektive Verdampfer als ZLD-Lösung oder der prä-diktive Einsatz von digitalen Produktionsdaten als Regelgröße für ein digitales Kühlleistungsmanagement.

In einem integrierten Stahlwerk führte die SMS Group gemeinsam mit der Fa. Wehrle Anfang 2022 Versuche im Pilotmaßstab aus, um Abwässer und Absalzwässer u.a. per Ultrafiltration und Umkehrosmoseanlagen (ROs) aufzubereiten. Zudem wurden selbige Wässer und die vor Ort „gewonnenen Konzentrate“ aus den ROs weitergereicht an das BFI und die TU Berlin um dort mit MCDIs und selektiven Verdampfern ebenso Erkenntnisse zu erarbeiten.

Die Universität Duisburg-Essen arbeitet an der Entwicklung von Materialien und Methoden zur Beschichtung von Umkehrosmosemembranen in Modulen. Die dabei erzeugten Hydrogelschichten dienen zur Verbesserung der Antifouling-

eigenschaften der Membranen und tragen zur Erhöhung der Lebensdauer der Umkehrosmose bei.

Ein intelligentes Kühlleistungsmanagement bietet die Möglichkeit, die Leistung von Kühlkreislaufsystemen optimal zu nutzen. Hierzu baut das BFI einen digitalen Zwilling des der Kühlkreislaufsysteme auf, zudem wertet aixprocess Realdaten eines Stahlwerks und der zugehörigen Wasseraufbereitungsanlage im Rahmen eines „Big Data Engineerings“ aus.

Weitere Einblicke finden Sie unter SMS group GmbH: WEISS_4PN (sms-group.com).

Zwischenergebnisse

Antifouling Beschichtung für Umkehrosmosemembranen (UDE)

Die Formulierung der Beschichtung ist vorerst abgeschlossen und wurde erfolgreich auf Membranen aufgebracht. Tests mit saurer Spülung sind erfolgt und ein Ablösen mit basischer Spülung durchgeführt. Es zeigte sich ein Effekt, dass die Kapazität der Membranen nach Entfernung der Modifizierung um 2-3 % absinkt (unabhängig von der Anzahl der vorgenommenen Modifizierungen). Die Modifizierung wird bei den Langzeitversuchen der zweiten Pilotierungsphase im Dauerversuch erprobt.

MCDI (BFI)

Die membrangestützte kapazitive Deionisation wurde dem Ablauf der zentralen Abwasserbehandlung (ZABA) und der

Absalzung aus der Stranggussanlage (hoher Fluorid-Gehalt mit Risiko von Ausfällungen -> keine Anwendung RO) zunächst unter Einsatz von konventionellen marktverfügbaren MCDIs betrieben. Vergleichsversuche mit modifizierten Ionentauschermembranen, die bei der Behandlung von anderen Kühlwässern Vorteile bieten, wurden für den Ablauf ZABA bzw. werden mit der Absalzung der Stranggussanlage durchgeführt.

Niedertemperatur Destillation Kristallisation (TU Berlin)

Die Laboranlage wurde mit einem synthetisch hergestelltem Konzentrat als auch mit dem Konzentrat aus unserer Pilotierung erfolgreich gefahren. Beim synthetischen Konzentrat wurde auch bereits ein technisch verwendbares Salz herausfraktioniert.

Pilotierung (SMS & Wehrle)

Die Erst-Pilotierung ist abgeschlossen, Vorfiltrationen (u.a. UF von Wehrle) als auch der Betrieb von Nieder- & Hochdruckumkehrosmosen wurde abgeschlossen. Die Auswertung der Versuchsergebnisse ist in Bearbeitung.

Stoffstromsimulation einer Wasserwirtschaft eines integrierten Hüttenwerkes (BFI)

Ein Gesamtmodell einer komplexen mehrgliedrigen Wasserwirtschaft ist erstellt und es wurden verschiedene Szenarien (Variation Zusatzwasserzusammensetzung, Teilrückführung des aufbereiteten Ablaufs der ZABA) simuliert. Aktuell werden Geodaten zur Prognose von Wasserengpässen eingepflegt.

Korrelation von Anlagedaten aus einem Warmbandwerk mit der zugeh. Wasseraufbereitung

(Aixprocess - AP5 Digitale Werkzeuge)
Daten sind aufbereitet und eine erste Korrelationsmatrix inklusive Sensitivitätsanalyse sind als weitere Diskussionsbasis erstellt.

Wirtschaftlichkeitsanalyse, Nachhaltigkeitsbewertung, Dokumentation (APs 6-8)

Noch keine Aktivitäten – steht erst zum Ende des Projektes an.

Ausblick

Ziel des Projektes ist die Reduktion des Frischwasserbedarfs durch Verringerung der Absalz-wassermenge, die Entsalzung von im Stahlwerk anfallenden Abwässern zur Einspeisung in den Kühlkreislauf sowie optimale Nutzung des Frischwasserangebots und der installierten Kühlkapazität durch modellgestützte Prognosen und Betrieb.

Laufzeit

01.04.2021 – 31.03.2024

Koordination:

Stefan Schmidt
SMS group GmbH (SMS)
Abteilung FRE - Neuentwicklungen
Wiesenstr. 30, 57271 Hilchenbach
E-Mail: stefan.schmidt@sms-group.com

Webseite

www.sms-group.com/innovation/funding-projects/weiss-4pn

Verbundprojektpartner

aixprocess GmbH, Aachen
ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH, Eisenhüttenstadt
Technische Universität Berlin, Berlin
Universität Duisburg-Essen, Essen
VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI), Düsseldorf
WEHRLE Umwelt GmbH, Emmendingen

Zusätzlich zur ersten Pilotierung zur Ermittlung optimaler Betriebsparameter ist im Frühjahr 2023 eine zweite Langzeit-Pilotierung geplant, wo u.a. der Dauerbetrieb von Vorbehandlungen dokumentiert und ausgewertet und die neue Formulierung der Antifoulingbeschichtung erprobt werden wird. Des Weiteren stehen dann weitere Wässer und Konzentrate für weiterführende Tests aller Verbundpartner zur Verfügung.

Als verkaufsfähige Produkte stehen nach Umsetzung der Ergebnisse z.B. Softwaremodelle, Antifoulingbeschichtungen zur Erhöhung von Standzeiten, weiterentwickelte Anlagen bzw. Anlagenvarianten und -kombinationen aus Nano- & Ultrafiltrationen, Umkehrosmoseanlagen u.v.m..

Unser Dank gilt dem BMBF als Fördermittelgeber, dem Projektträger PTKA, der DECHEMA für die Unterstützung des Projektes und nicht zuletzt allen Verbundpartnern für ihren engagierten Einsatz.



MCDI mit modifizierten Membranen und optionaler Vorbehandlungsstufen (Mehrschichtfilter, Aktivkohle, Enthärtung, Antiscalant Dosierung), Hersteller II (Quelle: BFI)





Projektziele

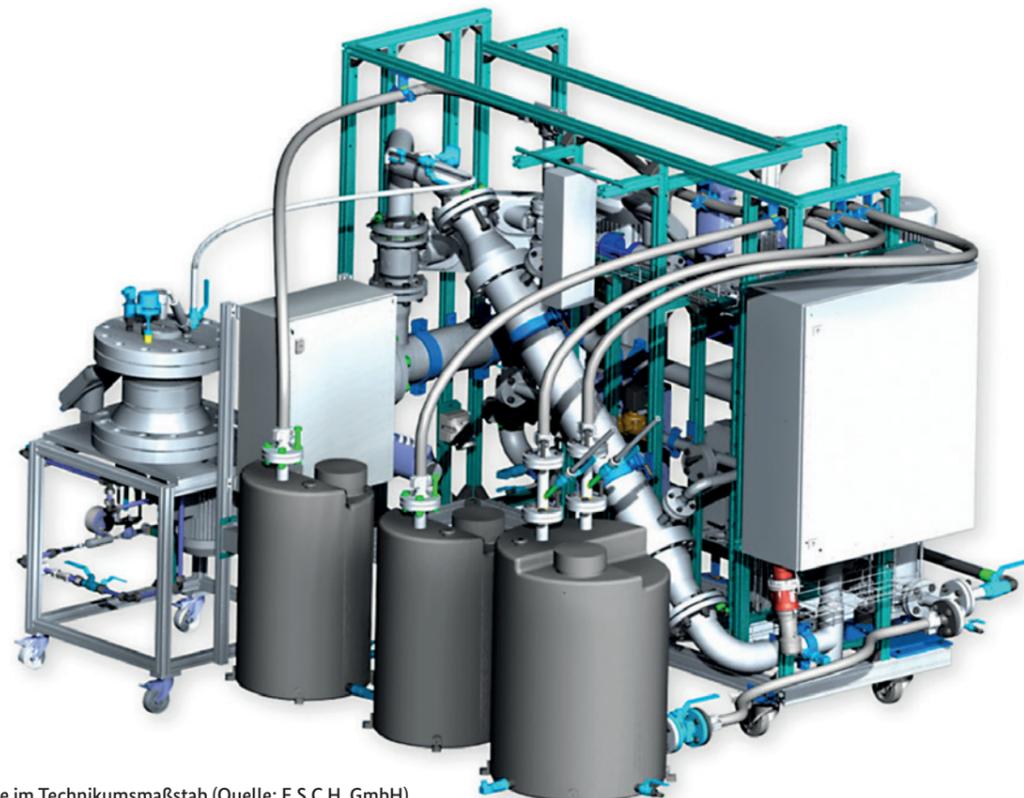
In der Wäscherei- und Textilreinigungsbranche fallen große Mengen Abwasser an, die einen entsprechenden Einsatz an Frischwasser voraussetzen. Je nach Waschgut werden unterschiedliche Wasserausgangsqualitäten zur Durchführung der Reinigung benötigt und unterschiedlich stark verschmutzte Abwässer erzeugt.

Ziel des Projektes ist die Senkung des Frischwasserbedarfs in Textilwäschereien durch systematische Abwasseraufbereitung. Bei diesem Entwicklungsvorhaben handelt es sich um eine Verfahrenskette, welche bei einem der Projektpartner beispielhaft umgesetzt werden soll. Im ersten Schritt bedarf es zunächst der Entwicklung neuartiger keramischer Membranträger und Membranen sowie der Entwicklung von auf Advanced-Oxidation-Process-Verfahren basierenden Behandlungsmethoden für die anfallenden Konzentrate aus der Membranfiltration. Zusätzlich ist die begleitende Weiterentwicklung eines Onlinetools zur spezifischen Betrachtung individueller Prozessketten nötig.

Im Bereich der Wäschereiabwässer stehen Matten- und Handtuchabwässer im Fokus. Eine Besonderheit ist der Wunsch, Abwässer, die durch Waschung stark gefärbter Handtücher entstanden sind, so aufzubereiten, dass diese auch zum Waschen nichtgefärbter Handtücher eingesetzt werden können. Im Vorfeld müssen die anfallenden Abwässer charakterisiert werden, mit besonderer Beachtung der Schwermetall- und Restsalzkonzentration, um ein aufbereitetes Abwasser später wiederverwenden zu können.

Zwischenergebnisse

An der Hochschule Hof wurde eine Laboranlage für einen Plug-Flow-Tubular-Cavitation-Reactor geplant und gefertigt, womit erste Versuche zu hydrodynamisch erzeugter Kavitation sowohl für einzelne Abwasserströme als auch für Retentat aus Nanofiltration (NF) durchgeführt wurden. Rohre (1K, 19K, 151K, 163K) sowie Rotations scheiben (RS; $d = 152 \text{ mm}$ und $d = 312 \text{ mm}$) wurden gefertigt, mit Membranfiltern (MF) beschichtet und zur Weiterbeschichtung an das Fraunhofer IKTS geschickt. Nach Festlegung der benötigten Wasserqualitäten durch die Fa. CHMS wurden erste Laborversuche mit den Rohren abgeschlossen.



Pilotanlage im Technikumsmaßstab (Quelle: E.S.C.H. GmbH)

Die Membranentwicklung fand in direkter Abstimmung mit der Fa. Rauschert mittels Membransynthese statt. Diese erfolgte auch auf RS mit größeren Durchmessern. Probleme beim Brennen der RS konnten behoben und neue Charakterisierungsmöglichkeiten für MF-Membranen auf Basis der Größenausschlusschromatographie (GPC) entwickelt werden. Die Charakterisierung aller Geometrie erfolgte via Einzelmolekülrückhalt, wobei auch eine Verfeinerung einer GPC-Methodik für die Bestimmung des Gemischmolekülrückhalts für NF-Membranen erreicht werden konnte.

Die Pilotanlage im Technikumsmaßstab wurde mit einem erweiterten Mess-, Steuerungs- und Regelungskonzept entwickelt, welches die Stoffströme, die -qualitäten sowie die Wärme- und Energieverbräuche berücksichtigt, und im Technikum der E.S.C.H. GmbH aufgebaut.

Nach Implementierung einer manuellen Rückspülung mittels Druckluft, um Verblockungserscheinungen an der Membran entgegenzuwirken, kam es zur finalen Implementierung der Messwerte für pH und Leitfähigkeit in die Anlagensteuerung.

Durchgeführte Filtrationsversuche wurden hinsichtlich spezifischer Kennwerte unter Berücksichtigung von Standzeiten ausgewertet, und die Messdaten an das Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE) übergeben. Auch wurden Skripte zur Auswertung, Umgang mit Messwerten und Beurteilung der Reproduzierbarkeit erstellt. Die ersten Filtrationsversuche mit Realabwasser zeigten Verunreinigungen und Ablagerungen in der Anlage durch Stör- und bestimmte Inhaltsstoffe. Die Notwendigkeit eines vorgeschalteten selbstreinigenden Partikelfilters wird derzeit untersucht.

Ausblick

Das Potenzial der entwickelten Abwasserreinigung lässt einen wirtschaftlichen Erfolg der Wäschereien erwarten. Durch Veröffentlichung des Web-Tools über den Deutschen Textilreinigungsverband soll ein hoher Verbreitungsgrad erreicht werden. Die wissenschaftlich-technische Verwertung erfolgt durch Publikationen sowie Teilnahme an Tagungen, Workshops und Begleitforschung der Bundesregierung.

Laufzeit

01.02.2021 – 31.01.2024

Koordination:

M.A. Sebastian Auer
Kompetenznetzwerk Wasser Energie e.V.
Schaumbergstraße 8, 95032 Hof
E-Mail: sebastian.auer@wasser-energie.net

Webseite

www.rewamem.de

Verbundprojektpartner

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Garching
CHMS (Coburger Handtuch- und Mattenservice) GmbH & Co. KG, Rödental
E.S.C.H. GmbH, Unterwellenborn
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Hermsdorf
Hochschule Hof, Hof
Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH, Veilsdorf

Die im Projekt entstandenen Prototypmembranen werden anderen Partnern für Forschungszwecke nicht unentgeltlich zur Verfügung stehen. Zudem stellen die entdeckten Möglichkeiten der Membrancharakterisierung einen Innovationssprung dar. Die verfeinerte Charakterisierung von NF-Schichten als auch die Option der Charakterisierung von RS-Filtern mittels Gemischmessungen und GPC sind dabei wesentliche Punkte, mit dem Ziel der zukünftigen Qualitätsbewertung der Supporte und Zwischenschichten.

Durch die Entwicklung industriell vertriebsfähiger Hochdruck-RS-Module und dem Erkenntnisgewinn bezüglich der Energieeffizienz durch den Einsatz unterschiedlicher Membrangeometrien ist die Stärkung der FuE-Kompetenz der Projektpartner im Bereich Abwasserbehandlung mit Membrananlagen zu erwarten. Die Verwertung der Ergebnisse als Basis zur Auslegung einer großtechnischen Anlage für Wäschereien ist gesichert.

Projektziele

Grund- und Oberflächenwasser mit einer hohen Konzentration monovalenter Ionen, wie Natrium, Chlorid oder Nitrat werden für die Nutzung als Trinkwasserressource oder für die Bewässerung meist durch die Umkehrosmose vollentsalzt und anschließend wieder remineralisiert. Das Ziel von innovatION ist die selektive Entsalzung der monovalenten Ionen durch die membrangestützte kapazitive Deionisation (mMCDI). Hierfür werden innerhalb des Verbundprojekts selektive Ionenaustauschermembranen hergestellt, welche den Rückhalt von monovalenten Ionen begünstigen. Polyvalente Ionen, wie z. B. Calcium und Magnesium sollen dabei im Produktwasser verbleiben. Mit Hilfe von Experimenten im Labor- und Pilotmaßstab soll die Entsalzungsleistung bezüglich der Trinkwassernutzung, sowie für die Grundwasseranreicherung für unterschiedliche Prozessbedingungen untersucht werden. Anschließend werden die Entsalzungs- und Infiltrationsprozesse in Modellen gegenübergestellt. Durch die Anwendung einer ganzheitlichen ökonomisch-ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung wird die entwickelte Technologie internationalen Zielgrößen wie den Nachhaltigkeitszielen gegenübergestellt, um entsprechende Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Zwischenergebnisse

Die FUMATECH BWT GmbH und das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. stellten innerhalb innovatION verschiedene Ionenaustauscherharze und Membranen her um einen monovalent selektiven Stofftransport durch die Membran zu erzielen. Durch die Fertigstellung der mMCDI-Laborversuchsanlagen, welche von der DEUKUM GmbH und elkoplan staiger GmbH angefertigt wurde, kann die Selektivität der Membranen experimentell bestimmt werden. In den Experimenten an der Professur für Verfahrenstechnik in Hydrosystemen konnte eine Selektivität für Chlorid und Nitrat nachgewiesen werden. Die Entsalzungsleistung der Membranen hängt dabei von den spezifischen Membraneigenschaften wie dem elektrischen Widerstand und den Prozessparametern wie der elektrischen Spannung ab. In den Langzeitexperimenten mit Grundwasser aus Langeoog konnten Eisen-, Aluminium-, Calcium-, Magnesium- und organische Verbindungen als Scaling- und Foulingparameter identifiziert werden. Somit wird in regelmäßigen Abständen eine Reinigung mit Säure und Lauge an der mMCDI empfohlen.

Die in der Strömungsmodellierung optimierten Geometrien zur Reduzierung des Druckverlustes sind in die Fertigung übernommen worden. Zur Kalibrierung und Validierung des

Strömungsmodells fanden Versuche mit einer dafür gebauten Testzelle statt. Des Weiteren ist es gelungen, die kapazitiven Elektroden zu optimieren, wobei im Fall des Bindemittels für den „Aktivkohle-Slurry“ auf gesundheitsschädliche Lösemittel, wie bisher verwendet (DMAC, NMP), verzichtet werden konnten und eine Umstellung auf ein wasserlösliches Polymer erfolgte.

Die Ergebnisse der Säulenversuche zur Grundwasseranreicherung der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg zeigen, dass der Kationenaustausch sowie Lösungs- und Fällungsprozesse unterschiedlich ausgeprägt in Abhängigkeit von den vorherrschenden Bodeneigenschaften, Mineral- und Wasserzusammensetzung auftreten. Geochemische Modellierungen der gewonnenen Ergebnisse zeigen die Komplexität der ablaufenden Interaktionen und die Bedeutung einzelner Parameter.

Durch die ökonomische und ökologische Bewertung der Professur für BWL, insb. Nachhaltigkeitsmanagement und Betriebliche Umweltökonomie der Technischen Universität Dresden liegen Benchmarkwerte für Kostengrößen sowie Umweltwirkungsindikatoren und deren kontextbezogene Variablen zu Systemgrenzen für die mMCDI vor. Außerdem wurde eine Material- und Energiestromanalyse für die Herstellung und Betriebsphase erstellt. Die Entsorgungsphase wird über Schätzungen erfasst um den gesamten Lebenslauf des Produktsystems mMCDI beurteilen zu können. Auf Basis der erhobenen Daten sind hierfür Lebenszyklusmodellierungen erstellt und Szenarien berechnet worden.

Ausblick

Derzeit wird die mMCDI-Pilotanlage für 30-100 L/h aufgebaut, welche 2023 im Wasserwerk auf Langeoog des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbands für einen selektiven Rückhalt von Natrium und Chlorid in Betrieb genommen werden soll. Zusätzlich soll an diesem Standort eine Bodensäule aufgebaut werden um die Infiltration des selektiv entsalzten Grundwassers zu bewerten. Hierbei sind mögliche Einträge von Spurenelementen durch Mineralauflösungen und Mobilisierung kolloidaler Partikel aktuelle Fragestellungen.

Nach einer ca. vier monatigen Betriebsdauer wird 2024 die Pilotanlage im Wasserwerk Blockhaus des Kreisverbands für Wasserwirtschaft Nienburg in Nienburg aufgebaut, um hier selektiv Nitrat im Grundwasser zu reduzieren. Während der

Laufzeit

01.02.2021 – 31.01.2024

Koordination:

Prof. Dr.-Ing. André Lerch
Technische Universität Dresden
Professur für Verfahrenstechnik in Hydrosystemen
E-Mail: andre.lerch@tu-dresden.de

Webseite

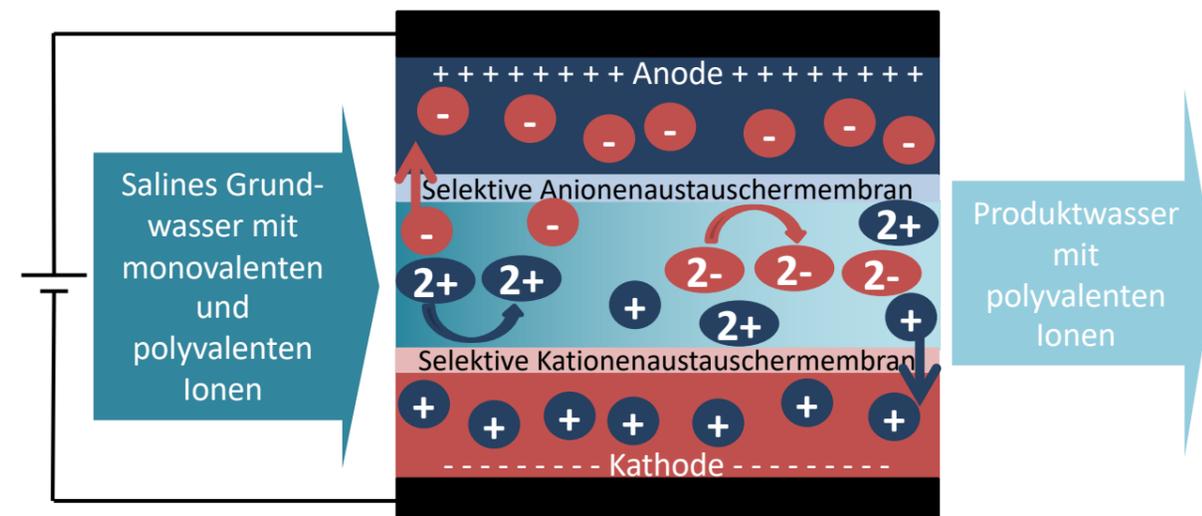
www.innovat-ion.de

Verbundprojektpartner

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, AG Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt, Oldenburg
DEUKUM GmbH, Frickenhausen
elkoplan staiger GmbH – Automation für die Umwelt- und Verfahrenstechnik, Nürtingen
FUMATECH BWT GmbH, Bietigheim-Bissingen
Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg, Nienburg
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.
AG Polymere Membranmaterialien (IPF), Dresden
Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV), Brake
Technische Universität Dresden, Dresden
KWR Water B.V., Nieuwegein, Niederlande (assoziierter Partner)
United Nations University, Inst. for Integrated Management and Material Fluxes and of Resources, Dresden (assoziierter Partner)

Praxistests wird die selektive Entsalzungsleistung, das Scaling und Fouling an den Membranen und die Reinigungszyklen der mMCDI analysiert. Zusätzlich soll eine datenbasierte Prozessoptimierung erfolgen.

Neben den Praxistest sollen die Prozesse der selektiven Entsalzung in der mMCDI und Infiltration des selektiv entsalzten Wassers modelliert werden. Die Prozessparameter, Investitionskosten, Betriebskosten sowie ökologische Bewertungen und die Verwertung bzw. Entsorgung der Konzentrate werden zukünftig in einer Multikriterienanalyse erfasst und bewertet.



Funktionsprinzip der kapazitiven membrangestützten Deionisation für einen hohen Rückhalt monovalenter Ionen (Quelle: Rosentreter & Meier-Haack, 2022)

Projektziele

Zu den Spätfolgen des Braunkohletagebaus in Deutschland gehört die großflächige Eisen- und Sulfatbelastung von Grund- und Oberflächenwässern. Neben der Beseitigung der Bergbaufolgen sind infolge stetig zunehmender Trockenperioden zudem weitere Rohwasserquellen zur Trinkwassergewinnung zu erschließen.

Mit dem SULFAMOS-Projekt soll als Hauptziel ein Verfahren auf der Basis der kontinuierlichen Vorwärtsosmose entwickelt und demonstriert werden, um Sulfat aus Abwässern, Oberflächen- und Grundwässern so abzureichern, dass diese als Bewässerungs- und Trinkwasser nutzbar sind. Da zukünftig ein Mangel des Rohstoffes Gips in der Bauindustrie zu erwarten ist, der bisher in den Rauchgasentschwefelungsanlagen der Braunkohlekraftwerke erzeugt wurde, besteht das zweite Hauptziel darin, dass in Form von Gips ausgefälltes Sulfat als Rohstoff nutzbar zu machen.

Für den Prozessschritt der Vorwärtsosmose (VO) steht dafür die Entwicklung eines neuen Typs Hohlfasermembran im Fokus. Mit diesem neuen Membrantyp erfolgt die Entwicklung eines Tauchmoduls, das in einer Verfahrenskombination aus

Membranmodul und Fällungsmodul in Demonstratorgröße eingebaut wird. Mit dieser Kombination soll ein kontinuierlicher Betrieb der Gesamtanlage ohne Verblocken der Membranen ermöglicht werden. Anhand der Demonstrationsanlage werden die Verfahren im Feld an verschiedenen Modellstandorten mit unterschiedlichen Wasserzusammensetzungen getestet und die Produkte Wasser und Gips hinsichtlich ihrer Verwendungsmöglichkeiten qualifiziert.

Zwischenergebnisse

Im Projekt wurden erfolgreich Membranen zur Behandlung sulfathaltiger Wässer mittels VO-Osmose hergestellt. Da die zunächst entwickelten neuartigen TFC-MicroPES-Hohlfasermembranen keine ausreichende mechanische Stabilität für den Einsatz in einem Tauchmodul aufwiesen, wurden alternativ CA-Membranen hergestellt und erprobt. Diese zeigten eine deutlich höhere Stabilität als die vorherigen Membranen und erreichten ebenso den geforderten Sulfatrückhalt von mindestens 90 %.

Da für die Entwicklung der Membranen mehr Zeit benötigt wurde als ursprünglich geplant, wurde die Versuchsanlage im Pilotmaßstab als Hybridvariante ausgelegt. Diese besteht

aus dem Tauchmodul, das um klassische VO-Module mit innen geführtem Rohwasser ergänzt wird. Damit werden zum einen Untersuchungen des Tauchmoduls und zum anderen die Erzeugung eines ausreichend großen Konzentratvolumenstromes zur anschließenden Untersuchung der Gipsfällung ermöglicht.

Die ursprünglich vorgesehene Aufbereitung der Zuglösung mittels Ionenaustauscher (IA) musste durch eine Umkehrosmostufe (UO) ersetzt werden, da neueste Erkenntnisse zeigten, dass mit dem IA-Verfahren kein stabiler Anlagenbetrieb erreichbar ist. Die Programmierung der vollautomatisierten Versuchsanlage ist abgeschlossen und muss lediglich um die Signale des noch fehlenden Gipsfällungsmoduls ergänzt werden.

Die produzierten CA-Membranen wurden unter Praxisbedingungen mit realem Grubenwasser in Minimodulen getestet. Zur Beobachtung der einsetzenden Fällung an der Membranoberfläche wurde zudem ein Testmodul aus Acrylglas angefertigt. In einem nächsten Schritt wurde ein Tauchmodul gebaut und zur Behandlung eines realen Grubenwassers eingesetzt.

Versuche zur Gipsfällung wurden sowohl mit Modellwässern als auch den aus dem realen Grubenwasser erzeugten Konzentraten durchgeführt. Dabei konnte eine erfolgreiche Gipsfällung nachgewiesen werden, wobei Restsulfatkonzentration von 1,3 g/L erreicht wurden. Je höher die Ausgangskonzentration des Sulfats im Konzentrat war, umso effizienter verlief die Gipsfällung.

Für die Simulation der Strömungssituation am Tauchmodul sowie der Ablagerung von Fällungsprodukten wurde ein 3-D-Modell erstellt.

Ausblick

Projektbegleitend erfolgt weiterhin die kontinuierliche Fertigung von Membranen zur Bestückung der Pilotanlage. Weitere Versuche werden zur Behandlung realer Wässer sowie zur Reinigung der Membranen durchgeführt. Anhand der erhaltenen Erkenntnisse werden Anpassungen der Pilotanlage hinsichtlich der Membranen selbst, der Prozessführung sowie gegebenenfalls notwendiger Vorbehandlungen vorgenommen.

Laufzeit

01.05.2021 – 31.10.2023

Koordination:

Isabel Jordan
G.E.O.S Ingenieurgesellschaft mbH
Schwarze Kiefern 2, 09633 Halsbrücke
E-Mail: i.jordan@geosfreiberg.de

Webseite

www.sulfamos.de

Verbundprojektpartner

fluvison Industries GmbH, Frickenhausen
Fraunhofer-Gesellschaft, Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik (IGB), Stuttgart
HTW Dresden, Lehrgebiet Wasserwesen, Dresden
MionTec GmbH, Leverkusen
Zweckverband Wasser/Abwasser Bornaer Land, Borna

Nach Feststellung der Leistungsfähigkeit der Pilotanlage zur Wasserbehandlung und der Gestaltung der Randbedingungen zur Gipsfällung kann die Auslegung des Gipsfällungsmoduls erfolgen. Damit wird die Versuchsanlage komplettiert und kann an ausgewählten Demonstrationstandorten eingesetzt werden.

Zur energetischen Optimierung der Versuchsanlage soll die zur Aufbereitung der Zuglösung eingesetzte UO-Stufe mit einem Drucktauscher zur Energierückgewinnung ausgestattet werden. Dennoch wird der Energieaufwand im Vergleich zum ursprünglich geplanten IA deutlich höher ausfallen.

Die in der Pilotanlage erzeugten Fällungsprodukte werden in Qualität und Quantität untersucht und in einem nächsten Schritt weiterbehandelt. Ziel ist die Herstellung eines für die Baustoffindustrie einsetzbaren Produktes. Störende Verunreinigungen sollen durch Anpassung der Prozessgestaltung entfernt werden.



Versuchsanlage zur Vorwärtsosmose des Projektpartners mionTec mit Blick auf die Membranseite (Quelle: Joachim Alt, mionTec 2022)



Projektziele

Ziel des HaSiMem-Projektes („Wasserrückgewinnung aus Haldensickerwässern auf der Basis von Membrandestillationsprozessen und Kopplung mit Kristallisation“) ist die Entwicklung eines effizienten Aufbereitungsverfahrens für Haldensickerwässer, welche aus Halden der Salzindustrie anfallen. Bei den Haldensickerwässern handelt es sich um hochkonzentrierte Salzlösungen, die in Folge von Niederschlägen auf die Rückstandshalden entstehen und in Haldenrandgräben und Drainagen gefasst und der Entsorgung zugeführt werden. Aus Rückstandshalden der Projektpartner K+S und LMBV (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft) fallen jährlich mehr als 2.5 Mio. m³ Haldensickerwässer an. Eine Möglichkeit, die Bildung von Haldensickerwässern nachhaltig zu reduzieren, ist die Abdeckung der Halden. Eine deutliche Reduktion der Abwässer ist dadurch aber erst in einigen Jahren bzw. Jahrzehnten zu erwarten. Die Prüfung einer Aufbereitung von Haldensickerwässern ist daher sinnvoll. Hierfür wird in diesem Projekt auf eine Kombination von Vakuum-Membrandestillation (VMD) zum Wasserentzug mit anschließender Kristallisation gesetzt, welche es in einem Feldversuch zu erproben gilt. Aus der Kombination dieser beiden Verfahren erhoffen sich die Projektpartner neben der Gewinnung von Frischwasser die Erzeugung von konzentrierten Salzlösungen oder/und Salze, welche entweder als Edukte weiterverarbeitet oder als Produkte gewinnbringend verkauft werden können.

Zwischenergebnisse

Um dem Scaling im Membranmodul zuvorzukommen, wird die VMD bei hoher Durchströmung und gleicher Temperatur wie die Kristallisation durchgeführt. Ziel ist das Einsetzen der Kristallisation aufgrund der geringen Verweilzeit im MD-Modul erst im Kristallisator erfolgen zu lassen. Versuche mit einem gemieteten VMD-Modul der Fa. EvCon zeigten gute Ergebnisse mit untersättigter Lösung, aber bereits knapp unterhalb der Sättigung ein schnell einsetzendes NaCl-Scaling auf der Polymermembran, welches den Transmembranfluss von über 1 kg m⁻² h⁻¹ auf 0.3 kg m⁻² h⁻¹ einbrechen ließ. Die Membran konnte nur durch intensives Spülen regeneriert werden. Weitere Versuche unter Einbezug einer Kühlungs-kristallisation bei 25 °C und anschließender VMD ermöglichten zwar die Ermittlung eines technisch sinnvollen Betriebspunkts, bei dem der Kristallisationsprozess wie gewünscht erst im Kristallisationsreaktor eintritt, allerdings ist dieser durch die nötige Energie für Kühl- und Heizvorgänge ökonomisch nicht zu halten.

Versuche mit einer Auswahl an Membranen im VAGMD-Aufbau (Vacuum Air Gap Membrane Distillation) von SolarSpring haben zusätzlich gezeigt, dass die die Form der Abstandshalter (Spacer) zwischen Feedstrom und Membran einen erheblichen Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit der Membran gegen Wetting/Lösungsdurchbruch hat. Eine Versuchsreihe zur Optimierung von Feedkanal- und Spacergeo-

metrie erlaubte die Optimierung der Kanalgeometrie, welche für die nun folgende Herstellung der Membranmodule verwendet wurde. Es wurde ein erster Prototyp zur Konzentration gesättigter Haldenabwässer in einer 4-Kanal Bauweise gefertigt. Durch ein unvorhergesehenes Fertigungsproblem wies dieser allerdings Leckagen auf, die Verbesserung des Fertigungsprozesses ist Teil aktueller Bemühungen.

Am IKTS werden anorganische hydrophobe Membranen für die Membrandestillation entwickelt und erprobt. Keramische Rohrmembranen wurden durch unterschiedliche Methoden erfolgreich hydrophobiert. In Vakuummembrandestillationsversuchen zeigten diese Membranen hohe Permeatflüsse von bis zu 40 kg/m²h und perfekte Rückhalte auch bei Verwendung hochsaliner Gemische. Bei Stabilitätstests in chemisch aggressiver Umgebung (hohe und geringe pH-Werte) und bei Membranversuchen mit abrasiven Inhaltsstoffen bewiesen die Membranen ihre gute Stabilität. Für die Erhöhung der spezifischen Membranfläche wurden auf Basis von Stofftransportsimulationen geeignete Mehrkanalmembran-geometrien gewählt und Membranen synthetisiert. Die Ergebnisse der Stofftransportsimulationen wurden zwischenzeitlich durch praktische Versuchsergebnisse bestätigt.

Ausblick

Für die praxisnahe Erprobung der Mehrkanalgeometrien der Keramikmembranen, die auch in industrieller Länge von 1,2 m gefertigt werden, wird aktuell eine Technikumsversuchsanlage entwickelt und aufgebaut. Weiterführende Versuche mit realen Salzlösungen werden durchgeführt und ausgewertet, um in Abstimmung aller Projektpartner optimale Verschaltungsmöglichkeiten von Membranprozess und Kristallisation zu finden. Des Weiteren werden verschiedene Verfahren zur energetischen Optimierung des Membranprozesses simulativ und experimentell untersucht.

Laufzeit

01.02.2021 – 31.01.2024

Koordination:

Bernhard Neupert
K-UTEC AG Salt Technologies
Am Petersenschacht 7, 99706 Sondershausen
E-Mail: bernhard.neupert@k-utec.de

Webseite

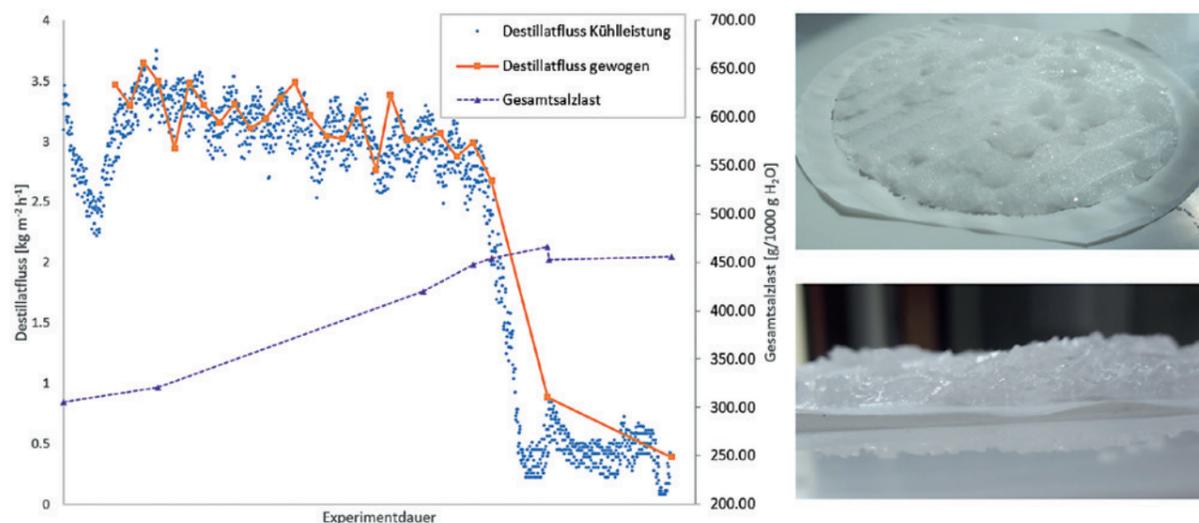
www.hasimem.de

Verbundprojektpartner

Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Hermsdorf
K+S Aktiengesellschaft, Kassel
SolarSpring GmbH, Freiburg
LMBV mbH Kali-Spat-Erz, Sondershausen (assoziiierter Partner)

Für Membranen auf Polymerbasis stellen die Polarisations-effekte an der Feed-Membran-Grenzfläche und die daraus resultierende Gefahr der Kristallisation auf der Membran das Haupthindernis für eine ökonomisch sinnvolle Anwendung der VMD in Kombination mit einer Kristallisation dar. Verschiedene Konzepte zur Verringerung dieser Effekte werden aktuell im Technikumsbetrieb untersucht.

Die Produktion weiterer Modul-Prototypen durch Solar-Spring wird aktuell in einen eigenen Produktionsstandort verlegt, sodass mit der Herstellung eines Prototypen für das HaSiMem-Projekt Anfang Januar begonnen werden kann.



Beobachteter Einbruch der Destillatleistung durch schnell einsetzendes NaCl-Scaling auf einer Polymermembran. (Quelle: K. Huse/HaSiMem)

Projektziele

Im Forschungsprojekt KonTriSol bearbeiten elf Projektpartner aktuelle Fragestellungen rund um die Konzentratproblematik der Membranverfahren Nanofiltration und Umkehrosmose (NF und UO). Die Zukunftsfähigkeit dieser mit vielen Vorteilen versehenen Technologien soll damit sichergestellt werden. Die überwiegende Praxis, die Konzentrate in ein Gewässer einzuleiten, bedarf der Zustimmung der zuständigen Wasserbehörden. Diese stehen aus Umweltschutzgründen den Konzentraten zunehmend kritisch gegenüber, insbesondere wenn naturfremde Stoffe enthalten sind. Dazu gehören auch Scalinginhibitoren (sog. Antiscalants), die für einen störungsfreien Betrieb der Membranverfahren i. d. R. zugegeben werden müssen. Die Datenbasis, auf der Entscheidungen über Konzentrateinleitungen gefällt werden, ist lückenhaft, weil die möglichen Auswirkungen bisher nicht systematisch untersucht wurden. Auch der Stand der Technik ist teilweise nicht vollständig bekannt.

Das Arbeitsprogramm von KonTriSol umfasst deshalb umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen zur Charakterisierung und Reduzierung von Antiscalants (AS), zu ökotoxikologischen Teststrategien und Bewertungen von Scalinginhibitoren und Konzentraten sowie zur Optimierung von Einleitstellen. Weiterhin werden Verfahren der Konzentratbehandlung im Hinblick auf ihre Eignung getestet.

Darüber hinaus sollen Membranverfahren und ihre Alternativen ganzheitlich vergleichend bewertet, genehmigungsrechtliche Hemmnisse analysiert und Lösungsstrategien erarbeitet werden.

Zwischenergebnisse

Für das primäre Ziel der Enthärtung von Trinkwasser stehen neben NF/UO die Verfahren Ionenaustausch (CARIX) und Schnellentcarbonisierung (SEC) zur Verfügung. Zu typischen Anwendungsfällen in Deutschland wurden in KonTriSol Informationen und Daten zusammengetragen, analysiert und vergleichend bewertet.

Chemische Analysen der am häufigsten eingesetzten AS-Produkte ergaben, dass der Wirkstoffgehalt nur zwischen 30 und 80 % liegt. Bei den weiteren Bestandteilen handelt es sich überwiegend um synthesebedingte Nebenprodukte. Der Rückhalt von AS mit verschiedenen Membranen wurde untersucht und ein standardisierbarer Rückhaltetest zum Nachweis eines Mindestrückhalts erarbeitet. Für den Nachweis von Polyacrylsäuren auch in sehr niedrigen Konzentrationen erfolgte im Projekt die Entwicklung einer Analysenmethode.

Untersuchungen zum Verhalten der Antiscalants in Kombination mit Desinfektionsmaßnahmen haben gezeigt, dass Produkte auf DTPMP- und ATMP-Basis mit Chlor, Chlordioxid und Ozon zu AMPA (Metabolit eines PSM) reagieren können.

Für die Bewertung der Wirksamkeit von AS und die Reduzierung eingesetzter Mengen müssen die Scaling-Mechanismen bekannt sein. In KonTriSol wurden entsprechende Tests entwickelt, um geeignete Produkte und Dosiermengen für den spezifischen Anwendungsfall zu ermitteln.

Um mögliche Auswirkungen von Konzentrateinleitungen auf die Stellvertreterorganismen von Süßgewässern bewert-

ten zu können, wurde in KonTriSol ein ökotoxikologisches Bewertungskonzept erarbeitet. Die Biotestbatterie umfasst sowohl akute, aquatisch relevante, als auch mechanismus-spezifische, humantoxikologisch relevante, Auswirkungen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Testbatterie auf die akuten aquatischen Effekte priorisiert werden sollte, da keine humantoxikologischen Effekte im relevanten Konzentrationsbereich auftraten. Ein Vergleich der reinen Wirkstoffe mit technischen Produkten zeigte, dass möglicherweise Nebenprodukte durch die Synthese zusätzliche toxische Effekte auslösen. Nach bisherigem Erkenntnisstand sind aus ökotoxikologischer Perspektive AS auf PBCT-Basis am unbedenklichsten, wohingegen ATMP-Produkte und vor allem DTPMP-Produkte stärkere Effekte zeigen.

Mit den im Projekt untersuchten oxidativen, adsorptiven und/oder Fällungsverfahren zur Behandlung von Konzentraten aus der Trinkwasseraufbereitung ist eine Minimierung oder Vermeidung des Eintrags von unerwünschten Stoffen in die Umwelt grundsätzlich möglich. Auch eine weitere Aufkonzentrierung und Salzurückgewinnung ist machbar bzw. technisch möglich. Allerdings sind für all diese Verfahren je nach Inhaltsstoffen und Konzentrationen teilweise relativ hohe Mengen an Aufbereitungsstoffen bzw. Energie notwendig. Die Wirtschaftlichkeit muss deshalb von Fall zu Fall geprüft werden.

Ausblick

Eine verfahrenstechnische Lösung zur Minimierung von AS könnte die Closed-Circuit-RO in Kombination mit einem neuartigen Messsystem zur frühzeitigen Feststellung von Scaling sein. Derzeit erfolgen dazu detaillierte Untersuchungen an einer Pilotanlage, deren Ergebnisse zum Projektende verfügbar sein werden.

Weiterhin werden aktuell standortspezifische Modellierungen der Mischungsdynamik von Konzentrateinleitungen in Abhängigkeit der Einleitbedingungen und der Ausgestaltung der Mischzone durchgeführt. Empfehlungen für die Optimierung sollen abgeleitet werden.

Laufzeit
01.09.2019 – 31.05.2023

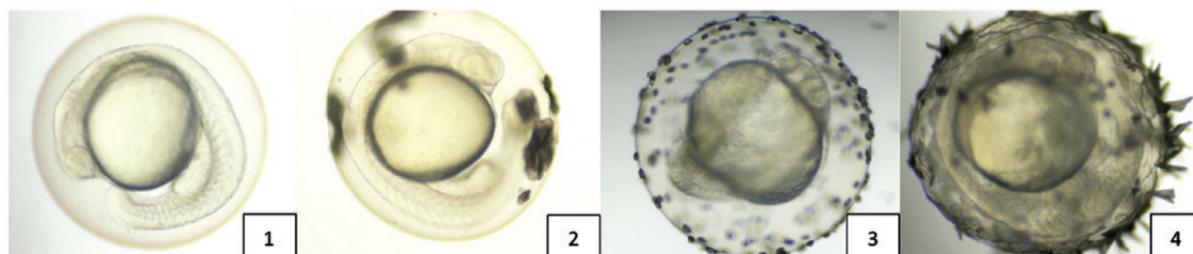
Koordination:
Dipl.-Ing. Anja Rohn
IWW – Zentrum Wasser
Moritzstraße 26, 45476 Mülheim
E-Mail: a.rohn@iww-online.de

Webseite
www.kontrisol.de

Verbundprojektpartner
Cornelsen Umwelttechnologie GmbH, Essen
Delta Umwelt-Technik GmbH, Teltow
DVGW: Technologiezentrum Wasser (TZW) und
Forschungsstelle TUHH, Karlsruhe und Hamburg
Goethe-Universität, Frankfurt a. M.
LAGOTEC GmbH, Magdeburg
Solenis Technologies Germany GmbH, Krefeld
SUEZ WTS Germany GmbH, Ratingen
Technische Universität Berlin, Berlin
Universität Duisburg-Essen, Duisburg und Essen

Nach Abschluss aller Untersuchungen erfolgt auf Basis der öko- und humantoxikologischen Befunde sowie den Empfehlungen für die Gestaltung von Einleitstellen eine Beurteilung der von Konzentraten und Antiscalant-Produkten ausgehenden Risiken.

Die Membranverfahren und die Verfahrensalternativen werden unter Berücksichtigung der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse ganzheitlich bewertet. Behörden und Wasserversorger erhalten eine Zusammenfassung nützlicher Informationen und Kriterien zur Beurteilung von Konzentrateinleitungen in Form einer Handreichung.



Verschiedenartige kristalline Ablagerungen an der Eihülle von Fischembryos nach 24 h. Belastung mit verschiedenen Konzentraten (Bild 2-4, Belastung mit 80% Konzentrat Anteil) im Vergleich zur negativ Kontrolle (Bild 1) (Quelle: Johann Wolfgang Goethe-Universität, Abt. Evolutionsökologie und Umwelttoxikologie)

Nutzwasser

Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung (Nutzwasser als alternative Wasserressource)

Projektziele

Gesamtziel des Nutzwasser-Projektes ist es, Managementstrategien für eine Wasserwiederverwendung zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung praxisnah zu entwickeln. Schwerpunkte sind dabei u.a. die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für eine genehmigungsrechtliche Implementierung, die Festlegung von Wasserqualitätsanforderungen für unterschiedliche Bewässerungspraktiken sowie Cloud-basierte Echtzeit-Ansätze zur Bedarfsbestimmung und automatisierte Systeme zur Qualitätssicherung. Aufbauend darauf erfolgt eine Analyse des Nutzwasserdargebots sowie die Konzeptionierung von Speichersystemen im Bestand. Klarwasser wird über ein robustes Multibarrieren-Aufbereitungsverfahren, bestehend aus keramischer Ultrafiltration (UF) mit nachgeschalteter Ozonung (O₃), BAK-Filtration und abschließender UV-Desinfektion behandelt, um eine einwandfreie Nutzwasserqualität zu erzeugen. Eine ökonomisch-ökologische Begleitforschung erarbeitet adäquate Betreibermodelle und bewertet die Nutzwasseranwendung ganzheitlich. Ein Technologie- und Wissenstransfer sowie eine zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit soll den Entscheidungsträgern und der interessierten Öffentlichkeit die Konzepte zur Nutzwasseranwendung anschaulich näherbringen.

Das Nutzwasserprojekt wird durch einen interaktiven und transparenten Stakeholder-Prozess begleitet. Am Ende des Projektes werden Handlungsempfehlungen entwickelt, um eine erfolgreiche Übertragung von Nutzwasseranwendungen in anderen Regionen zu unterstützen.

Zwischenergebnisse

Für die Erarbeitung der genehmigungsrechtlichen Aspekte für Nutzwasseranwendungen wurde eine operative Arbeitsgruppe gebildet und das Nutzwasser wasserrechtlich eingeordnet. Für den Risikomanagementplan wurden betroffene Parteien und Zuständigkeiten bestimmt, eine Systemanalyse durchgeführt, sowie Gefahren, Schutzgüter und Expositionspfade identifiziert.

Für die Ableitung von adäquaten Wasserqualitätsanforderungen wurden Kriterien für die Beurteilung der mikrobiologischen und physikochemischen Wasserqualität festgelegt. Die umfangreichen physikochemischen und mikrobiologischen Untersuchungen konnten bisher die einwandfreie Qualität des erzeugten Nutzwassers bestätigen. Z. B. konnte nachgewiesen werden, dass der Nutzwasser-Aufbereitungszug *E. coli* um >10.8 log-Stufen und Phagen bis zu >12 log-Stufen



reduzieren konnte. Relevanten Belastungen von bewässerten Kulturen / Böden können bisher ausgeschlossen werden.

Für die Bestimmung/Prognose des Bewässerungsbedarfs wurde ein cloudbasiertes IoT-System aufgebaut. Die Bedarfsbereitstellung/Speicherung wurde konzeptioniert: Für die urbane Bewässerung soll das Nutzwasser über eine Druckrohrleitung transportiert werden, welche als Pipe-in-Pipe Lösung im Hauptsammelkanal realisiert wird. Dafür wurde eine Studie durchgeführt, welche zu dem Ergebnis der Machbarkeit mit wenigen Einschränkungen kam. Erste Kostenschätzungen wurden angestellt.

Es wurde der Aufbereitungszug bestehend aus keramischer UF, O₃, BAK-Filtration und abschließender UV-Desinfektion erfolgreich installiert und bereits betrieblich optimiert. Für die kontinuierliche Prozesskontrolle wurden die online-Durchflusszytometrie und Multiparametersonden (SAK-254-, Nitrat-, Nitrit-, DOC-, pH-, LF-, Trübung) erfolgreich integriert.

Für die wirtschaftswissenschaftliche Analyse der unterschiedlichen Nutzwasseranwendungen wurden ökonomische und ökologische Zielindikatoren definiert.

Im Rahmen des übergeordneten Stakeholder-Prozesses wurden relevante Interessengruppen aktiv eingebunden. Für die Öffentlichkeitsarbeit wurde ein Besucherzentrum und eine Webseite eingerichtet (<https://www.nutzwasser.org/public/index.html>). Es sind bereits 9 themenrelevante Publikationen entstanden.

Ausblick

Basierend auf den Wasserqualitätsdaten und Schadstoff-Analysen der bewässerten Kulturen und Böden wird das Risiko im Kontext von Nutzwasseranwendungen bestimmt. Bisherige Erfahrungen mit der Betriebsstabilität der Nutzwasseraufbereitung sowie Daten aus der Online-Prozesskontrolle werden in Hinblick auf Betriebsstörungen und damit einhergehende Auswirkungen auf die Wasserqualität analysiert und bewertet. Diese Risikobewertungen werden Bestandteil des Risikomanagementplans werden. Aufbauend darauf, soll das Risiko für Umwelt und menschliche Gesundheit bewertet werden.

Für die Umsetzung der Nutzwasseranwendung für die Bewässerung im urbanen Bereich wird derzeit die dafür erforderliche Genehmigungsplanung durchgeführt. Bis Ende 2023 ist angestrebt, die entsprechende Genehmigung zu erhalten.

Laufzeit

01.04.2021 – 31.03.2024

Koordination:

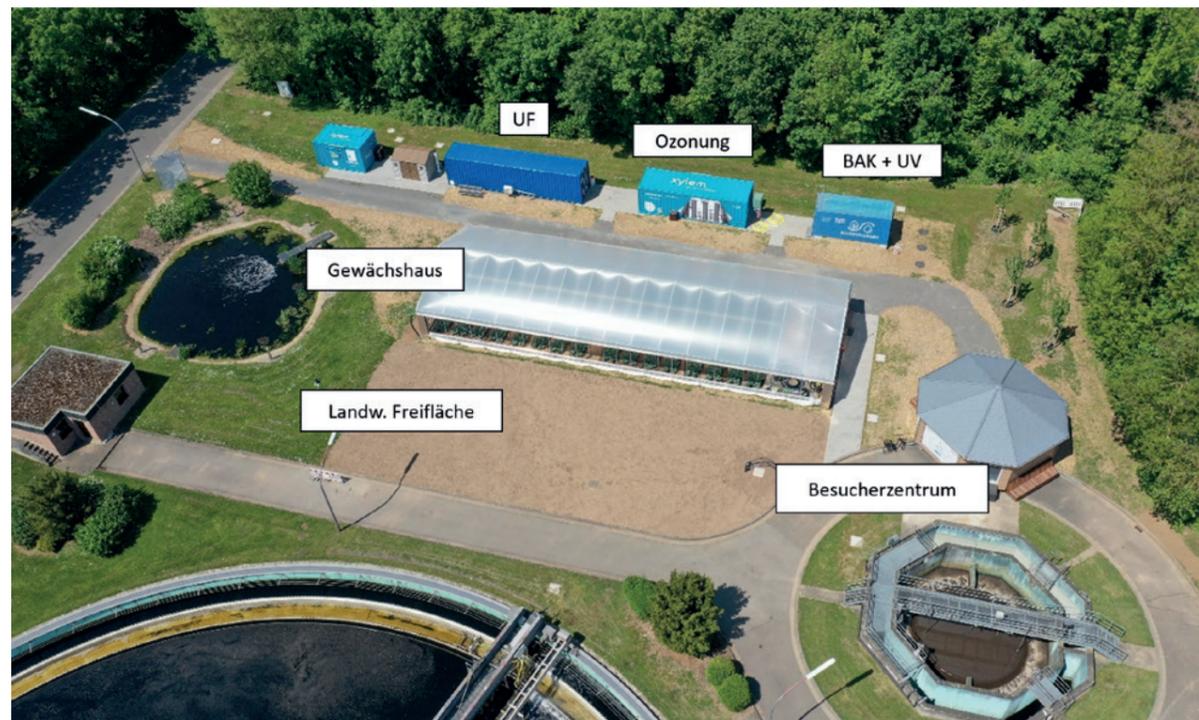
Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes
Technische Universität München (TUM)
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
Am Coulombwall 3, 85748 Garching
E-Mail: jdrewes@tum.de

Webseite

www.nutzwasser.org

Verbundprojektpartner

Bay. Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH, Darmstadt
COPLAN AG, Passau
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung, gGmbH, Mülheim an der Ruhr
HOLINGER Ingenieure GmbH, Merklingen
Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Garching bei München
Regierung von Unterfranken, Würzburg
Stadtentwässerung Schweinfurt, Schweinfurt
TZW:DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe
Xylem Services GmbH, Herford
Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., Freising (assoziierter Partner)
Stadt Schweinfurt – Referat III Umweltschutz, Schweinfurt (assoziierter Partner)



Luftbild des Reallabors „Nutzwasser“ auf dem Betriebsgelände der Kläranlage Schweinfurt. (Quelle: Nutzwasser)

Projektziele

Ziel des Vorhabens *FlexTreat* ist es, durch die Entwicklung und Demonstration flexibler und an die landwirtschaftlichen Bedürfnisse angepasster technischer und naturnaher Aufbereitungssysteme die sichere Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft zu fördern.

Dies umfasst die Entwicklung und Anwendung von wissenschaftlich-technischen Grundlagen für den sicheren Einsatz von aufbereitetem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung im In- und Ausland. Außerdem sind die Untersuchung und Optimierung der Reinigungsleistung von innovativen, weitergehenden Abwasserbehandlungsverfahren in Bezug auf ein breites Spektrum von physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Wasserqualitätsparametern (inkl. Antibiotika-Resistenzen und Transformationsprodukte von Spurenstoffen) Ziele des Projektes (Arbeitspaket 1).

Im Arbeitspaket 2 geht es um die Demonstration der Vorteile von Digital Green Tech (Digitaler Zwilling, online-Simulation, maschinelles Lernen, Nutzung mobiler Endgeräte) für die Prozessüberwachung und Optimierung von Aufbereitungsverfahren. Das umfangreiche Arbeitspaket 3 dient der Risikobewertung und dem Risikomanagement über das komplette System des Kläranlageneinzugsgebiets, der Abwasserbehandlung, der weitergehenden Aufbereitung, Speicherung, Verteilung und

Bewässerung bis zum landwirtschaftlichen Produkt. In einem weiteren Arbeitspaket befindet sich die Anwendbarkeit und Unterstützung der Verwertung der entwickelten Konzepte und Technologien für die Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft im In- und Ausland inkl. Entwicklung einer zielgruppenorientierten Kommunikation.

Kontextziel ist die Entwicklung von Inputs für Umsetzungsrichtlinien, inkl. eines integrierten Ansatzes zum Risikomanagement und eines Leitfadens zu „Technologien für eine sichere Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft“, der die neuen europäischen Anforderungen berücksichtigt und ergänzt.

Zwischenergebnisse

Die an vier Standorten befindlichen Versuchsanlagen (siehe Abbildung) werden seit mindestens Januar 2022 betrieben und regelmäßig in verschiedenen Betriebseinstellungen beprobt. Der Versuchsanlagenbetrieb ist bis Ende 2023 geplant. Nach den ersten Beprobungen zeichnet sich für alle Verfahrensketten eine Einhaltung bzw. Erreichbarkeit der Klasse A nach EU-Verordnung über die Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung ab.

Die Verfahrenskette in Braunschweig ist entlang der gesamten Aufbereitung mit umfassender Online Messtechnik ausgestat-



Laufzeit

01.02.2021 – 30.01.2024

Koordination:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Wintgens
 Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA)
 Mies-van-der-Rohe-Str. 1, 52074 Aachen
 E-Mail: sekretariat@isa.rwth-aachen.de

Webseite

www.flextreat.de

Verbundprojektpartner

Abwasserverband Braunschweig, Wendeburg
 Analytik Jena AG, Jena
 AUTARCON GmbH, Kassel
 Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz
 Erftverband, Bergheim
 inge GmbH, Greifenberg
 Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH (KWb), Berlin
 p2m berlin GmbH, Berlin
 PEGASYS Gesellschaft für Automation und Daten-systeme mbH, Meschede
 Universitätsklinikum Bonn, Bonn
 Xylem Services GmbH, Herford

tet, welche im Rahmen des Arbeitspaketes zu Digital Green Tech zur Datenversorgung eines Digitalen Zwillings genutzt wird. Dieser wurde hardware- und softwareseitig etabliert. Der auf neuronalen Netzen basierte Digitale Zwilling samt Prozessanalyse- und Betriebsvorhersagetool wird fortlaufend weiterentwickelt und hinsichtlich seiner Performance optimiert. Zusätzlich wird ein an den Endnutzer angepasster Zugriff auf die Anlage per App (Handy/Tablet) entwickelt.

Im Rahmen des Arbeitspaketes zum Risikomanagement werden neben den routinemäßigen Beprobungen zur Erweiterung der Datendichte auch entlang des gesamten Eintragspfades Wasser-Boden-Pflanze tieferegehende Untersuchungen durchgeführt. Dabei wird ein breites Spektrum an experimentellen, analytischen und verarbeitenden Herangehensweisen genutzt. Mit Bezug zu den Aufbereitungszielen wird an einer statistisch abgesicherten Methode zur Validierung von Verfahrensketten („log credit validation“) gearbeitet. Des Weiteren wird, aufbauend auf Arbeiten aus der Fördermaßnahme WavE I, ein umfassendes, integriertes Bewertungskonzept des Risikomanagements in Bezug auf die Verfahrensketten aus dem Arbeitspaket 1 konzipiert.

Die notwendigen Schritte für eine flächendeckende Implementierung der landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung wurde beim 5. Projekttreffen in Braunschweig Anfang Oktober 2022 lebhaft diskutiert. Neben den Projektpartnern waren im Rahmen eines Stakeholder-Dialogs Vertreter von Kläranlagenbetreibern, Genehmigungsbehörden, landwirtschaftliche Wassernutzer sowie von anderen Forschungsprojekten eingeladen. Dieser Meinungsaustausch förderte beispielsweise die Wichtigkeit der (genehmigungsrechtlichen sowie finanziellen) Planungssicherheit für verschiedene Stakeholder zu Tage. Der Prozess zur rechtlichen Umsetzung der EU-Verordnung in Deutschland ist im Gange.

Ausblick

Der Anlagenbetrieb wird an allen Pilotstandorten auch in 2023 fortgesetzt, um die Datendichte zur Risikobewertung zu erhöhen und verschiedene Betriebseinstellungen und Jahreszeiten abdecken zu können. Die dabei anfallenden chemischen und mikrobiologischen Daten dienen der zwingend notwendigen statistischen Untermauerung der Risikobewertung.

Die Untersuchungen unter dem Stichwort Digital Green Tech gehen von der Etablierung in die Test- und Optimierungsphase über.

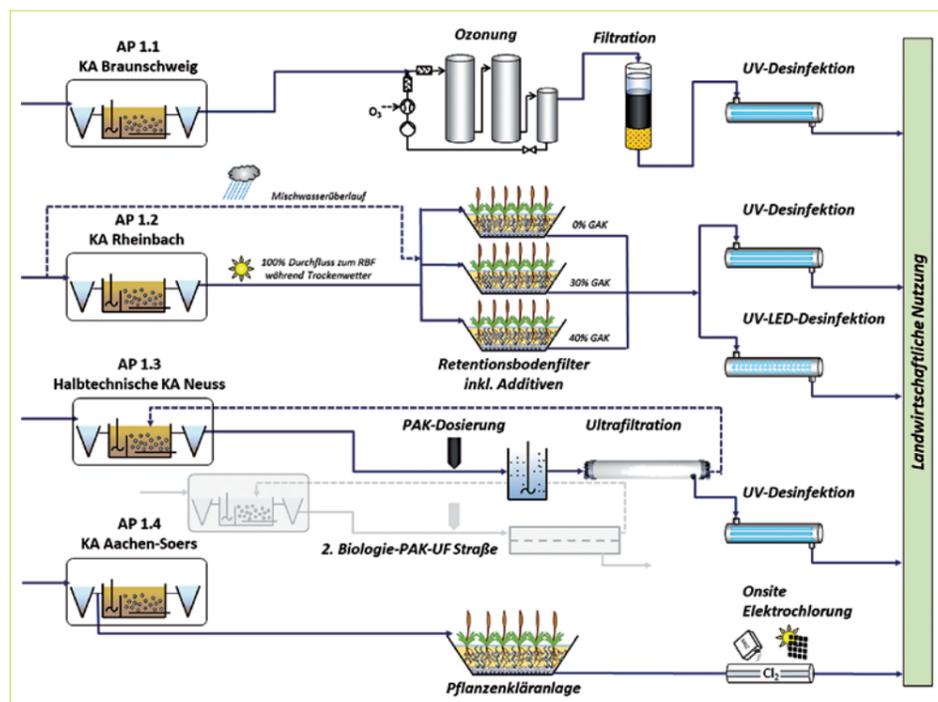
Genannte Untersuchungen zur umfassenden Risikobewertung werden fortgeführt und profitieren von einer weiteren Vegetationsphase im Sommer 2023.

Zusätzlich werden neben der Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Akzeptanzanalysen und dem Stakeholder-Dialog auch weitere Fallstudien im mediterranen Raum bearbeitet werden, welche potentielle Übertragbarkeiten und Markterweiterungen der Technologien ermöglichen sollen. Es gibt dazu Fallstudienstandorte in Spanien, Ägypten und Bahrain.

Die Projektpartner beteiligen sich ebenfalls aktiv an der fachlichen Beratung im Rahmen der Entwicklung des DWA Merkblattes M-1200 zur Wasserwiederverwendung.

Weitergehende Disseminationen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen von im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen werden im Laufe des Jahres erwartet. Weitere Informationen, Ankündigungen und geeignete Ansprechpartner finden Sie hier wie bisher unter www.flextreat.de.

Die vier *FlexTreat*-Standorte und Verfahrensketten zur weitergehenden Aufbereitung für die landwirtschaftliche Wiederverwendung. (Quelle: FlexTreat)





Projektziele

In PU₂R wird ein mobiler, dezentral einsetzbarer Membranbelebungsreaktor (MBR), der mikrobiologische und chemische Anforderungen für die Bewässerung von Nutzpflanzen erfüllt und gleichzeitig den Erhalt von Nährstoffen im Wasser ermöglicht, entwickelt. Unter Laborbedingungen, in Lysimeterversuchen und im Freiland wird Einflüsse wiederverwendeten Wassers auf das Pflanzenwachstum untersucht und mit Hilfe angepasster Bewässerungssysteme optimiert. Anhand chemischer und mikrobiologischer Analysen werden potentielle Belastungen von Wasser, Boden und Pflanzen mit Spurenstoffen, Bakterien (inklusive Resistenzen) und Viren untersucht. Unter Nutzung reaktiver Transportmodellierung wird ein quantitatives Vorhersageinstrument entwickelt.

Datenerhebungen und Dialogprozesse mit unterschiedlichen Stakeholdern bilden die Grundlage für eine Ermittlung des regionalen und überregionalen Potenzials dezentraler Wasserwiederverwendung. Die umfassenden Forschungsaktivitäten und Erhebungen ermöglichen eine wissenschaftlich fundierte Einschätzung möglicher Risiken und eine Ableitung sich daraus ergebender Anforderungen und Maßnahmen zum Risikomanagement, die in regulatorische Prozesse und Normungsaktivitäten eingehen könnten.

Zwischenergebnisse

Planung und Bau der MBR-Pilotanlage sind größtenteils abgeschlossen. Ein vereinfachter digitaler Zwilling der Aufbereitungsanlage wurde erstellt, und Prozessparameter für Sommer- und Winterbetrieb wurden optimiert. Potentiale der UV-Anlage als zusätzliche Barriere zur Spurenstofftransformation und die Zugabe von Wasserstoffperoxid zur Etablierung eines AOP („Advanced Oxidation Process“) wurden untersucht.

Für die Quantifizierung organischer Spurenstoffe mittels Chromatographie mit überkritischem Fluid (SFC) wurden Methoden für über 100 Analyten entwickelt. Extraktionen aus den Kompartimenten Boden und Pflanze wurden optimiert. Methoden zur Anreicherung und zum quantitativen Nachweis von Adenoviren in aufbereitetem Wasser wurden weiterentwickelt. Rucola, Getreide und Weidelgras wurden in Gewächshausversuchen zunächst mit Klarlauf einer großen kommunalen Kläranlage bewässert, und erste Analysen an Wasser, Boden und Pflanzenmaterial (Wurzel und essbare Teile) wurden durchgeführt. Für Rucola wurde eine erste differenzierte Spurenstoffbetrachtung und Frachtbilanzierung zwischen den Komponenten vorgenommen.

Die vier Lysimeter (1 m² Querschnittsfläche) mit Bodenmaterial des Reallaborstandortes befinden sich im Dauerbetrieb. Batchversuche zur Kinetik von Abbau und Sorption organischer Spurenstoffe in Wasser und Boden wurden ergänzend durchgeführt, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussgrößen auf das thermodynamische Gleichgewicht (Bodenart, pH, Ionenstärke und Kationen).

Eine Potenzialanalyse für die dezentrale Wasserwiederverwendung für Brandenburg zeigt, dass während einer Bewässerungsperiode ca. 20 % des Bewässerungswassers durch aufbereitetes Schmutzwasser aus abflusslosen Sammelgruben ersetzt werden könnten. Düngemittelleinsparungen und ökologisch positive Effekte kommen hinzu.

Das energieautarke Bewässerungssystem mit Tropfbewässerung wurde testweise im Reallabor installiert. Mit dem Aufbau eines Freilandlabors mit abgedichteten Groß-Lysimetern (je 100 m²) wurde begonnen.

Aktuell werden Stakeholder-Dialoge in und um den Reallaborstandort durchgeführt und in Konferenzbeiträgen und Zeitungsartikeln erfolgten Vorstellungen des PU₂R-Projektes und seiner Ziele.

Ausblick

Die Inbetriebnahme der MBR-Pilotanlage mit Wasser aus der Vorklärung einer kommunalen Kläranlage steht bevor. Zur Minimierung der Einfahrzeit und Einstellung stabiler Fahrweisen der Anlage wird ein MBR im Labormaßstab, mit dem Prozessvarianten schneller eingestellt und untersucht werden können, genutzt. Im Anschluss erfolgt der Betrieb der MBR-Pilotanlage mit Schmutzwasser aus abflusslosen Sammelgruben.

Die bisherige Spurenstoffanalytik wird um den Non-Target-Ansatz und die Untersuchung von Transformationsprodukten erweitert. Die Anbauversuche im wissenschaftlichen Gewächshaus werden fortgeführt und um die Bewässerung mit dotiertem Wasser und mit Wasser aus der MBR-Pilotanlage erweitert. Bodenprozesse und Stofftransport werden an Säulenversuche weiter untersucht. Das Modell zur Simulation des Spurenstofftransports wird weiterentwickelt und mit den Messdaten aus den Lysimetern validiert.

Es ist geplant, den PU₂R-Ansatz mit konventionellen Praktiken hinsichtlich ökologischer Aspekte und Kosten zu vergleichen und zu bewerten.

Laufzeit

01.02.2021 – 30.01.2024

Koordination:

Dr. Aki Sebastian Ruhl
Umweltbundesamt (UBA)
Schichauweg 58, 12307 Berlin
E-Mail: akisebastian.ruhl@uba.de

Webseite

www.umweltbundesamt.de/PU2R

Verbundprojektpartner

FH Münster, Institut für Infrastruktur, Wasser, Ressourcen, Umwelt (IWARU), Münster
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Department Analytik (UFZ), Leipzig
Humboldt-Universität Berlin, Pflanzenernährung und Düngung, Berlin
Ingenieurbüro Irriproject, Potsdam
Microdyn-Nadir GmbH, Wiesbaden
Technische Universität (TU) Braunschweig, Bodenkunde und Bodenphysik, Braunschweig
UV-EL GmbH & Co. KG, Dresden
Berliner Wasserbetriebe, F&E, Berlin (Assoziierter Partner)
Technische Universität Berlin, Wasserreinhaltung, Berlin (Assoziierter Partner)

In der Bewässerungsperiode 2023 soll der Acker des Reallabors mit Wasser aus der MBR-Pilotanlage bewässert werden. Die Groß-Lysimeter des zweiten Freilandlabors werden weiter eingefahren.

Der Risikomanagementplan für die dezentrale Bewässerung im Reallabor wird final ausgearbeitet und zur Genehmigung und für die Bewässerungserlaubnis eingereicht werden.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen der ersten Ergebnisse werden aktuell verfasst. Beiträge auf nationalen und internationalen Konferenzen stellen das PU₂R-Konzept und Ergebnisse zur Diskussion.



Mit Sommerbraugerste bepflanzt Lysimeter am UBA-Standort Berlin-Marienfelde und Container mit der Pilotanlage links im Hintergrund. (Quelle: PU₂R)

HypoWave+

Implementierung eines hydroponischen Systems als nachhaltige Innovation zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung

Projektziele

Regionale Konkurrenzen um die Ressource Wasser nehmen zu. Deshalb sind neue Konzepte und Verfahren für die Wasserwiederverwendung erforderlich. In HypoWave wurde ein wasserressourceneffizientes Konzept für die Landwirtschaft untersucht, in dem recyceltes Wasser für die hydroponische Pflanzenproduktion verwendet wird. HypoWave+ baut auf den Ergebnissen des Vorgängerprojekts auf. Im Vordergrund steht dabei die wissenschaftliche Begleitung der Implementierung in Weißenberge bei Gifhorn. Die dortige hydroponische Gemüseproduktion wird mit Bewässerungswasser versorgt, das umweltschonend im Recycling gewonnen wird.

Die Entwicklungsziele von HypoWave+ sind dabei:

- Anbahnung eines neuen Marktsegments mittels eines Reallabors zur Erzeugung von Bewässerungswasser für die Hydroponie.
- Entwicklung eines integrierten Qualitätsmanagements von der Wasseraufbereitung über die Nahrungsmittelproduktion bis zum Produktverkauf.
- Entwicklung eines biointelligenten Gesamtsystems aus Wasseraufbereitung und Gemüseproduktion auf der Basis von Sensorik und Künstlichen Neuronalen Netzen als innovativen digitalen Elementen.
- Etablierung eines Aktivkohlebiofilters als neue hocheffiziente Behandlungsstufe zur Erzeugung von hochwertigem Bewässerungswasser.

- Entwicklung eines Konzeptes zur Pflanzenernährung, das eine hohe Produktion bei gleichzeitiger Nährstoffabreicherung des Bewässerungswassers erlaubt.

Zwischenergebnisse

Der Testbetrieb der großtechnischen Abwasserbehandlungsanlage, welche das Bewässerungswasser für die Hydroponie aufbereitet, geht in die finale Optimierungsphase. Die Anlage besteht neben einem Tuchfilter für die Vorfiltration aus einer zweistraßigen Aktivkohlefilterstufe zur Elimination von organischen Spurenstoffen und einer nachgeschalteten UV-Desinfektion. Optional kann der Desinfektionsstufe ein Sandfilter vorgeschaltet werden. Ein separater Container beinhaltet die umfangreiche Mess- und Regeltechnik. Die Anlage wird aktuell auf der Kläranlage Grevenmacher in Luxemburg betrieben und hinsichtlich verfahrenstechnischer Parameter optimiert. Große Bedeutung kam dabei der Kalibrierung und prozesstechnischen Anpassung der umfangreichen Sensorik wie der SAK-Messung zu.

Die Nährstoffabreicherung von Bewässerungswasser durch Tomatenpflanzen in hydroponischen Systemen wurde unter trockenen und feuchten Umweltbedingungen untersucht. Während die Wurzeln dem im Kreislauf geführten Wasser die Nährstoffe weitgehend entzogen, entwickelten sich die getesteten Pflanzensorten in beiden Umwelten besser bei Nährstoffkonzentrationen unterhalb handelsüblicher Lösungen. Dies legt nahe, dass das System eine hohe Produktion bei gleichzeitiger Aufreinigung des Bewässerungswassers ermöglicht.



Anlagentechnik im Test- und Optimierungsbetrieb auf der Kläranlage Grevenmacher (Luxemburg) (Quelle: Huber SE)



Um eine zuverlässige Datensammlung für das Vorhaben zu gewährleisten, wurde eine Übersicht aller digitalen und analytischen Datenquellen erstellt, sowie das gesamte System graphisch dargestellt. Mit dieser Grundlage können alle Projektpartner auf alle erzeugten Daten zugreifen. Zudem werden sie zur Entwicklung der Steuerung durch künstliche neuronale Netze genutzt.

Bei der Entwicklung eines integrierten Qualitätsmanagementsystems liegt ein besonderer Fokus auf einem speziell auf das hydroponische Wasserrecycling ausgerichteten Risikomanagement sowie der Qualitätssicherung. Vorbereitungen für das umfangreiche Messprogramm im Rahmen der Risikoanalyse als auch von Experteninterviews zum Qualitätsmanagement sind abgeschlossen.

Ausblick

Neben der Fortführung der Arbeit in den dargestellten Arbeitssträngen intensivieren sich die Vorbereitungen in Weißenberge. Im Frühjahr 2023 soll der Bau des Gewächshauses starten und Anfang 2024 die erste Bepflanzung mit Tomaten und Paprika erfolgen. Die IseBauern GmbH & Co. KG werden hier auf einem Hektar Fläche ca. 400 Tonnen Tomaten und 45 Tonnen Paprika im Jahr hydroponisch für den regionalen Markt produzieren.

In enger Verknüpfung mit der Implementierung in Weißenberge stehen die nächsten Forschungs- und Entwicklungsschritte in Bezug auf die Pflanzenproduktion. Über die Bestimmung bis zu welchem Punkt das Bewässerungswasser an Stickstoff und Phosphor verarmt werden kann bevor Er-



Hydroponische Pflanzenversuche im Phytotechnikum der Universität Hohenheim (Quelle: Universität Hohenheim)

Laufzeit
01.02.2021 – 30.01.2024

Koordination:
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Dockhorn
Institut für Siedlungswasserwirtschaft,
Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
(TU Braunschweig)
Pockelsstr. 2a, 38106 Braunschweig
E-Mail: t.dockhorn@tu-bs.de

Webseite
www.hypowave-plus.de

Verbundprojektpartner
Abwasserverband Braunschweig, Braunschweig
Ankermann GmbH & Co. KG (EDEKA), Meine
aquatune GmbH, a Xylem brand, Limburg an der Lahn
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und
Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart
Huber SE, Berching
Integar – Institut für Technologie im Gartenbau GmbH,
Dresden
ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung,
Frankfurt a.M.
Universität Hohenheim, Stuttgart
IseBauern GmbH & Co. KG, Wahrenholz
Wasserverband Gifhorn, Gifhorn

tragsverluste eintreten, entsteht hier ein Nährstoffmanagementkonzept, das auf den Standort Weißenberge übertragen werden kann. Zudem wird ein erstes integriertes Qualitätsmanagementkonzept entwickelt, das dann vor Ort erprobt werden soll. Dieses steht in Verbindung mit einem Risikomanagementplan angelehnt an das vorgeschlagene Vorgehen im Entwurf des DWA M1200.

Parallel werden die Arbeiten zum Reallabor anlaufen und der Austausch und Dialog mit den Akteuren vor Ort Anfang 2023 beginnen.

TrinkWave Transfer

Großtechnische Erprobung neuer Entwicklungen bei der Sequentiellen Grundwasseranreicherung



Projektziele

Aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen in der Grundwasserbewirtschaftung und Uferfiltration in Deutschland wurden im BMBF-Verbundvorhaben TrinkWave neue Multi-barrieren-Aufbereitungsprozesse für eine Wasserwiederverwendung entwickelt, die ohne den Einsatz von Hochdruckmembranen eine einwandfreie Wasserqualität für die Stützung von Trinkwasserressourcen liefern können. Die zentralen Technologieelemente dieses Konzeptes sind die sequentielle Grundwasseranreicherung (engl. ‚Sequential Managed Aquifer Recharge Technology‘, SMART), eine hoch-effiziente Infiltration über Sickerschlitzgräben und der in situ Eintrag von Elektronenakzeptoren. Im Rahmen des BMBF-Folgeprojektes TrinkWave Transfer soll das SMART-Verfahren als Rückgrat einer weitergehenden Abwasserbehandlung bzw. bei Nutzung belasteter Oberflächenwässer zur Trinkwasserproduktion weiterentwickelt werden. Das SMART-Verfahren, das kontrollierte Redoxbedingungen für einen verbesserten mikrobiologischen Umsatz von anthropogenen Spurenstoffen in der Untergrundpassage etablieren kann, wird dafür mit den Berliner Wasserbetrieben im Demonstrationsmaßstab erprobt. Dies erfolgt auf dem ehemaligen Wasserwerkstandort Berlin-Johannisthal, wo das Verfahren in seiner optimierten Form mit integrierter Sickerschlitzgrabentechnologie und aktiver hydrologischer Steuerung im

Untergrund demonstriert werden soll. Des Weiteren stehen die betriebliche Optimierung, die Etablierung einer adäquaten Prozessüberwachung sowie eine mögliche Hochskalierung der Technologie im Vordergrund der Untersuchungen. Begleitend erfolgt eine Prozessbeschreibung der Demonstrationsanlage mit Hilfe numerischer Modelle durch die Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Dabei sollen die komplexen Wechselwirkungen von Wasserströmung, Stofftransport und Reaktionen im Untergrund in einem Modell dargestellt werden. Zusätzlich zur Feldstudie in Berlin erfolgt am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der Technische Universität München die Untersuchung und Weiterentwicklung des SMARTplus Systems. Mit Hilfe der innovativen halbtechnischen Anlage zur Simulation von SMARTplus soll die Leistungsfähigkeit zur Reduzierung (Biotransformation) von anthropogenen Spurenstoffen betrachtet werden.

Zwischenergebnisse

In dem seit Mitte 2022 laufenden Projekt konnten bereits wesentliche Arbeiten zur Umsetzung und Realisierung der Feldstudie in Berlin-Johannisthal auf den Weg gebracht oder abgeschlossen werden. Dazu zählt insbesondere die hydrogeologische Standortcharakterisierung basierend auf Bodenbohrungen zur Beschreibung des Bodenprofils, der Betrachtung der Standortkomponenten, welche die vorherr-

sche Grundwasserströmung beeinflussen sowie der Erstellung eines 3-dimensionalen Grundwassermodells. Hierdurch konnte das Vorhandensein störender Trennhorizonte im Untergrund ausgeschlossen werden und eine optimierte Dimensionierung des Sickerschlitzgrabens (Infiltrationsorgan) sowie eine passgenaue Anordnung von Grundwassermessstellen und der Entnahmebrunnen erfolgen. Der Bau der für die wissenschaftlichen Untersuchungen notwendigen Grundwassermessstellen sowie der zur hydraulischen Abschirmung notwendigen Entnahmebrunnen, konnte bereits abgeschlossen werden. Die Errichtung des Sickerschlitzgrabens und die anschließende grundwasserhydraulische Charakterisierung der Demonstrationsanlage sind im Frühjahr 2023 vorgesehen.

Parallel konnte die halbtechnische Anlage SMARTplus für die Wiederinbetriebnahme vorbereitet und hinsichtlich einer erweiterten, teils automatisierten Probenahme und Prozessüberwachung optimiert werden. Hier wurde bereits mit der Charakterisierung der hydraulischen Fließbedingungen im System begonnen. Eine homogene Propfenströmung bildet die Voraussetzung für die Einstellung definierter Redoxzonen und der Untersuchungen zum Abbau von Spurenstoffen im System.

Ausblick

Vor Inbetriebnahme des Sickerschlitzgrabens in Berlin Johannisthal erfolgt im Frühjahr 2023 zunächst eine intensive chemische und mikrobiologische Beprobung zur Erfassung des Ist-Zustandes am Standort. Mit dem Start der Infiltration von aufbereitetem Uferfiltrat in den Untergrund erfolgt ein intensives Monitoring sowie chemische und mikrobiologische Untersuchungen des Grundwasserleiters. Hier sollen insbesondere die Einstellung stabiler Redoxzonen im Grundwasserleiter sowie ein verbesserter Abbau (Biotransformation) von Spurenstoffen aufgezeigt werden. Ergänzend erfolgt die Realisierung eines numerischen Prognosemodells mit den Strömungs- und Transportsimulatoren MOD-FLOW und MT3DMS sowie dem reaktiven Multi-Komponenten Transportsimulator PHT3D.

Laufzeit

01.08.2022 – 31.07.2024

Koordination:

Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes
Technische Universität München (TUM)
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
Am Coulombwall 3, 85748 Garching
E-Mail: jdrewes@tum.de

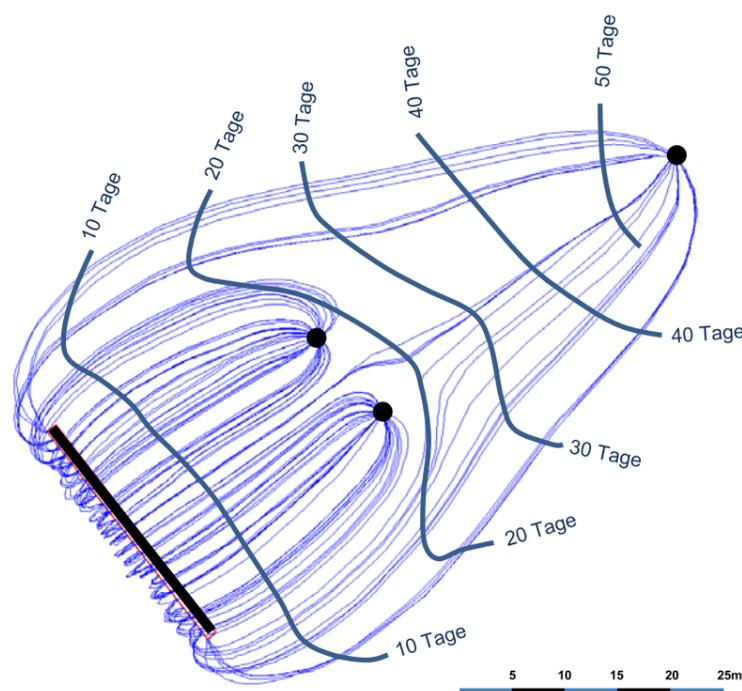
Webseite

www.wasser.tum.de/wasser/forschung/projekte/trinkwave-transfer

Verbundprojektpartner

Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Berliner Wasserbetriebe (BWB)
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Am SMARTplus System sind genauere Charakterisierung des Konzepts der sequentiellen Redoxbedingungen sowie der weiteren Optimierung hinsichtlich der hydraulischen Bedingungen geplant. Im Fokus stehen zudem die Integration weiterer Barrieren für die Etablierung eines Multi-Barrierensystems und die Weiterentwicklung einer adäquaten Prozessüberwachung an der halbtechnischen Anlage an der TUM. Mit Hilfe einer intensivierten Messdatenerfassung soll zudem der Einsatz von Machine Learning Ansätzen zur verbesserten und automatisierten Regelung des SMARTplus-Systems in Echtzeit untersucht werden.



Grundwassermodellierung des hydraulisch abgeschirmten Bereichs der Demonstrationsanlage am Standort Berlin-Johannisthal, mit eingezeichnetem Sickerschlitzgraben und drei Entnahmebrunnen; entnommen aus einem Gutachten für die Berliner Wasserbetriebe. (Quelle: BGS UMWELT, 2021)

Einführung

Das Querschnittsthema „Bewertung“ wurde vom WavE II-Lenkungskreis ins Leben gerufen, um verschiedene relevante Aspekte Projekt-übergreifend zu adressieren zu können: (I) Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, Kosten/Nutzen, (II) Nachhaltigkeitsbewertung, LCA; Ressourcen- und Energieeffizienz, sowie (III) Impact Assessment, auch im Hinblick auf konkurrierende Nutzung von Wasser.

Ziel des Querschnittsthemas ist es, einen Mehrwert für die Projekte zu schaffen und die Verwertung der Ergebnisse unterstützen. Die Schaffung eines Gesamtbildes aus allen Projekten zur Bewertung der Wasserwiederverwendung in Deutschland steht im Fokus der Querschnittsthemengruppe. Es soll aufgezeigt werden, welche Potenziale durch WavE II zur Wasserwiederverwendung in Deutschland vorhanden sind und welchen Beitrag WavE II zum Umgang mit den Klimawandel leistet.

Bisherige Aktivitäten und Zwischenergebnisse

Im März 2022 fand ein Fachgespräch mit insgesamt 7 Verbundprojekten aus allen 3 Themenfeldern statt. Im Treffen wurden die Ziele der Gruppe diskutiert und festgelegt.

Ein erstes Ziel ist die Schaffung eines Gesamtbildes aus allen Projekten zur Bewertung der Wasserwiederverwendung in Deutschland. Dafür soll eine Wasserwiederverwendungs(WWV)-Potenzialkarte für Deutschland erstellt werden. In ihr sollen zum einen die Regionen mit Wasserknappheit (ausgehend von bereits verfügbarem Datenmaterial) dargestellt werden. Weiterhin sollen die Einsatzorte und Anwendungsszenarien der „WavE II-Innovationen“ eingebunden werden. Anhand der Ergebnisse der WavE II-Projekte soll zum einen abgeleitet werden, welche Standorte sich besonders gut für Reallabore mit Blick auf die Implementierung von WavE II-Innovationen eignen. Zum anderen sollen Aussagen getroffen werden, für welche Standorte oder Regionen in Deutschland auf Grund einer vergleichbaren/ähnlichen Charakteristik hohe Anwendungs-/Einsatzpotenziale für die WavE II-Innovationen abgeleitet werden können.

Eine solche WWV-Potenzialkarte wäre ein sehr hilfreiches Instrument in der Operationalisierung und Verwertungsunterstützung der Forschungsergebnisse aus WavE II. Sie würde ein Gesamtbild über die WavE II-Verbundprojekte geben sowie die Einbindung künftiger Förderinitiativen ermöglichen.

Im Mai 2022 wurde von einer kleinen Gruppe eine Matrix für die WWV-Potenzialkarte entwickelt, die mit den Koordinator:innen der Verbundprojekte abgestimmt wurde. Im November 2022 startete die Umfrage in den Projekten.

Das zweite Ziel des Querschnittsthemas ist der Austausch zu spezifischen Bewertungsmethoden für die Unterstützung von Übertragbarkeit und Verwertung. Hierzu soll ein Austausch unter den Verbundprojekten initiiert werden. Zum Thema Bewertungsmethodiken wurde innerhalb der Fördermaßnahme WavE bereits eine Publikation erarbeitet, auf welche die WavE II-Projekte aufbauen können (s. Wencki et al. 2019¹). Bestandteil der Bewertungsansätze sind u.a. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, Kosten/Nutzen Abschätzung, Nachhaltigkeitsbewertung, LCA sowie Ressourcen- und Energieeffizienz.

Ausblick

Nach der ersten Erhebung von Informationen mit vorläufigen Aussagen aus den Projekten soll eine Übersicht z.B. zu Anwendungsszenarien, Ziel-/Nutzergruppen etc. gewonnen werden. Im Anschluss prüft die Querschnittsthemengruppe die Optionen für die bestmögliche Visualisierung und entwickelt die WWV-Potenzialkarte. Im 3. Projektjahr startet die zweite Runde der Umfrage, so dass zum Ende der Projekte die finalen Ergebnisse einfließen können und so die vorläufigen Aussagen präzisiert und angepasst werden können.

Bei den spezifischen Bewertungsmethoden ist eine Abstimmung zu Schnittstellen mit weiteren Querschnittsthemen innerhalb der Fördermaßnahme wie „Technologien und Verfahren“ und „Implementierung von Projekten“ geplant.

Verantwortlich

Prof. Christoph Donner, Berliner Wasserbetriebe
Prof. Michael Sievers, CUTEK Forschungszentrum, Claustal

¹ K. Wencki; V. Thöne; A. Ante; T. Hogen; C. Hohmann; F. Tettenborn; D. Pohl; P. Preiss; C. Jungfer (2020): Approaches for the evaluation of future-oriented technologies and concepts in the field of water reuse and desalination. Journal of Water Reuse and Desalination (2020) 10 (4): 269–283.

Einführung

In den WavE II-Verbundprojekten gibt es unterschiedliche Aktivitäten hinsichtlich des Themas „Digitalisierung“. Ziel des Querschnittsthemas ist es, den entsprechenden Akteuren aus den WavE II-Verbundprojekten eine Austauschplattform zu diesem Thema zu bieten und die Vernetzung der Verbundvorhaben zu fördern. In der Zusammenarbeit der Projektbeteiligten werden Informationen zu geplanten Instrumenten, Methoden, Prozesse und Datenmanagement zusammengetragen. Dabei soll auch die horizontale Integration im Fokus stehen, d.h. die Schnittstellen der Digitalisierung zur kommunalen (Ab-)Wasserwirtschaft sowie zur industriellen Produktion.

Im ersten Schritt erarbeitet die Querschnittsthemengruppe „Digitalisierung“ eine Umfragematrix, welche die Grundlage für den weiteren Austausch darstellen wird und die Projekte in der Umsetzung und Anwendung ihrer Ergebnisse unterstützen kann.

Bisherige Aktivitäten und Zwischenergebnisse

Im ersten Fachgespräch im Januar 2022 kam ein wertvoller Austausch zwischen insgesamt 9 Verbundprojekten aus allen 3 Themenfeldern zustande. Die Zielstellungen der Projekte sind sehr divers. Sie reichen von der kostengünstigen und einfachen Vernetzung von Bestands- und Neugeräten, der Überwachung und Optimierung von Aufbereitungsprozessen bis hin zur automatisierten Bedarfsbestimmung von landwirtschaftlicher und urbaner Bewässerung. Weitere Schwerpunkte sind Prozesskontrolle, prozesstechnische digitale Zwillinge und prozessintegriertes digitales Kühlleistungsmanagement. Darüber hinaus werden Aspekte zur „Anlagen-Fitness“ oder der Ableitung von optimierten Algorithmen und Verfahrensweisen zur Prozesssteuerung adressiert.

Durch die Breite der Zielstellungen besteht eine große Vielfalt an Themen, Herangehensweisen und Werkzeugen beim Thema Digitalisierung. Gleichzeitig bestehen mit Blick auf die Entwicklung und Implementierung von Lösungen aber auch Gemeinsamkeiten. Diese sollen im nächsten Schritt identifiziert und in eine Matrix überführt werden.

Hierfür wurde eine Umfragematrix entwickelt und an die Projekte gesendet. Die Umfragematrix beinhaltet folgende Aspekte:

- Zielstellung des Digitalisierungsansatzes (mit Blick auf die Anwendung eines bereits bestehenden Digitalisierungsansatz bzw. auf eine Neuentwicklung)
- Hardware / Konnektivität (Geräte zur Datenerfassung und zur Datenverarbeitung sowie die Art und Weise zur Herstellung einer Konnektivität zwischen Datenerfassung und Datensystem.)
- Software / Tools
- Daten (welche Daten / Parameter werden erhoben bzw. eingebunden, welche Herkunft haben diese und in welchem Intervall werden sie erhoben.)
- Datenverarbeitung (DV), -nutzung und -visualisierung
- Rahmenbedingungen (hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz und Geschäftsmodelle)

Eine erste Auswertung der Umfragematrix wird auf dem Statusseminar präsentiert.

Ausblick

Die Rückmeldungen zur Matrix werden ausgewertet und zusammengefasst. Ein weiteres Fachgespräch für den Austausch zu Herangehensweisen, Erfahrungen und weiteren Interessen ist geplant. Bereits jetzt konnte z.T. ein bilateraler Austausch zwischen den Projekten initiiert werden. Neben der Vernetzung durch fachlichen Austausch zwischen den Verbundprojekten ist ein Workshop in Diskussion mit Anwendern aus den WavE II Projekten geplant, um zu identifizieren, wie Arbeitsabläufe potenzieller Anwender aktuell gestaltet sind, wo digitale Werkzeuge eine Hilfestellung bieten können, und welche Bedarfe sich ableiten lassen.

Verantwortlich

Dr. Thomas Track, DECHEMA e.V., Frankfurt am Main
Martin Weng, aixprocess GmbH, Aachen

Einführung

Im Querschnittsthema „Technologien und Verfahren“ wurde, wie bei dem ersten digitalen Treffen im Januar 2022 nach Vorstellung der Projekte beschlossen, der Fokus zunächst auf die Entwicklung einer Verfahrensübersicht gelegt. In dieser Übersicht wurden die in den unterschiedlichen Projekten der Fördermaßnahme WavE II entwickelten und untersuchten Technologien und Verfahren kategorisiert und kurz hinsichtlich des Behandlungsziels beschrieben. Zur Kategorisierung wurden die drei Themenbereiche der Fördermaßnahme **landwirtschaftliche Bewässerung, industrielles Wasser und salzhaltiges Wasser** unterschieden. Weiterhin erfolgt eine Zuordnung zu übergeordneten Verfahrenskategorien wie physikalische, chemische, biologische Verfahren sowie besondere Kategorien für Membranverfahren, elektrisch getriebene Entsalzungsverfahren und die Desinfektion. In der erarbeiteten Excel-Tabelle zur Verfahrensübersicht finden sich weiterhin Kurzbezeichnungen der Verfahren und Hinweise auf die Einbindung einzelner Verfahren in Verfahrenskombinationen. Die übergeordneten Behandlungsziele, welche in den Projekten verfolgt werden, sind ebenfalls angegeben.

Bisherige Aktivitäten und Zwischenergebnisse

Aufbauend auf der Verfahrensübersicht wird weiterhin ein Informationsaustausch zu den verwendeten Charakterisierungsmethoden für die Technologien erfolgen. Während eines gemeinsamen Treffens der Querschnittshemengruppe „Technologien und Verfahren“ zusammen mit „Implementierung von Projekten – Gruppe Landwirtschaftliche Bewässerung“ im Juli 2022 sind dazu die Aktivitäten zur vereinheitlichten Bewertung von Technologien während der Fördermaßnahme WavE vorgestellt und diskutiert worden. Die Diskussion dazu ergab, dass die direkte Übernahme der erarbeiteten Kriterien und Parameter nicht oder nur teilweise angestrebt wird. Vielmehr erscheint eine vertiefte Betrachtung der Verfahren in den drei WavE-Themenfeldern sinnvoll, da sich unterschiedliche Zielkriterien für die Anwendungsfälle ergeben. Im Themenfeld „Wiederverwendung von behandeltem kommunalem Abwasser“ sind z.B. die Anforderungen aus der Umsetzung der europäischen Mindestanforderungen an die landwirtschaftliche Wiederverwendung (EU 2020/74) sehr entscheidend. Im Rahmen des Workshops des Querschnittsthema „Implementierung von Projekten – Landwirtschaftliche Bewässerung“ im November 2022 wurden auch die erarbeitete Verfahrensübersicht vorgestellt

In den Themenfeldern zu den industriellen und salzhaltigen Wässern wurde der Schwerpunkt auf die (membranbasierte-) selektive Entsalzung gelegt und die Verfahrensübersicht mit weiteren abzufragenden Informationen, bspw. zu den Konzentrationen als Vielfaches der Meerwasserkonzentration (Standardfestlegung 35 g/L) ergänzt. Es zeigte sich weiter, dass ein großes Interesse an dem Thema „Verwertung von Konzentraten“ vorhanden ist, zu dem sich Mitte Oktober eine separate Gruppe traf. Hier wurde die Verfahrensübersicht hinsichtlich spezifischer Fragestellungen zu Konzentraten ergänzt.

Ausblick

Nach der Bestimmung weiterer wichtiger Parameter (bzgl. Entsalzung und Konzentrate) wurde eine erneute Abfrage mit dem Ziel gestartet, mehr Informationen zu den bereits zusammengestellten Technologien, die in den WavE II-Projekten eine Wasserwiederverwendung, Kreislaufführung etc. ermöglichen, zu erhalten. Die Umfrage bezieht sich u.a. auf Salzkonzentrationen in Feed/Permeat/Konzentrat, entfernte Stoffgruppen, Störstoffe etc.. Es ist geplant, ein erstes Ergebnis der Umfrage während des WavE II-Statusseminars (Februar 2023) vorzustellen.

Im Themenfeld „Wiederverwendung von behandeltem kommunalem Abwasser“ wird weiter mit dem Querschnittsthema „Implementierung von Projekten“ zusammengearbeitet werden, z.B. zum Thema Validierungsanforderungen an die Technologien.

Verantwortlich

Prof. André Lerch, Technische Universität Dresden
Prof. Thomas Wintgens, RWTH Aachen

Einführung

Die Verbundprojekte in WavE II untersuchen in den unterschiedlichen Themenschwerpunkten der Wasserwiederverwendung teils sehr ähnliche Parameter. Dabei werden insbesondere analytische Parameter (Spurenstoffe, mikrobielle Parameter, ökotoxikologische Untersuchungen und Begleitparameter) in verschiedenen Matrizes untersucht.

Ziel des Querschnittsthemas „Analytik, Monitoring, Überwachung“ ist es, einen gemeinsamen Gesamtüberblick über Parametern und mögliche Indikatoren zu entwickeln, um Schnittmengen zu identifizieren und um Synergien zwischen den Projekten zu schaffen. Eine harmonisierte Zusammenführung von Daten aus der Fördermaßnahme wird als sehr wertvoll erachtet.

Bisherige Aktivitäten und Zwischenergebnisse

Im Dezember 2021 fand ein erstes Fachgespräch mit Teilnehmenden aus sieben Verbundprojekten aus den zwei Themenfeldern „Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser“ und „Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser“ statt. In dem Austausch wurden erste Aktivitäten hinsichtlich der Analytik in den Projekten vorgestellt und diskutiert. Weiterhin wurden Ergebnisse aus abgeschlossenen Projekten, auch aus der BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa und dem Verbundvorhaben ASKURIS, zu organische Indikatorensubstanzen für den Wasserkreislauf vorgestellt.

Gleich zu Beginn wurde eine gemeinsame Liste verschiedenster Parameter erstellt und Schnittmengen identifiziert. Auch wenn der Fokus zwischen der Wiederverwendung von Wasser in der Landwirtschaft und der Industrie unterschiedlich ist, wurde Gemeinsamkeiten und Überlappungen identifiziert. Im Anschluss wurde diese von den Verbundprojekten hinsichtlich der jeweils untersuchten Parameter ausgefüllt und somit eine solide Diskussionsbasis geschaffen.

An einem zweiten Fachgespräch im Mai 2022 nahmen insgesamt neun Verbundprojekte aus allen drei Themenfeldern der Fördermaßnahme teil. Bei dem Treffen wurden die Ergebnisse der ersten Umfrage diskutiert. Der umfangreiche Parametersatz bestätigt zahlreiche Gemeinsamkeiten, zeigt erwartungsgemäß jedoch auch deutliche Unterschiede, je nach Anwendungsbereich, auf. In dem Fachgespräch wurde gemeinsam entschieden, die vorhandene Tabelle weiterzuentwickeln. Hierfür wurde im Nachgang eine weiterentwickelte, detailliertere Umfrage zu den analytischen Parametern mit Probenaufbereitungen, Messfahren etc. initiiert.

Das dritte Fachgespräch fand im Oktober 2022 statt, bei dem insgesamt zehn Verbundprojekte teilnahmen. Im Treffen wurden aktuelle analytische Aktivitäten, Fortschritte und Erkenntnisse aus den einzelnen Projekten und Ergebnisse der umfangreichen zweiten Umfrage vorgestellt und diskutiert.

Im Verlauf des dritten Fachgesprächs wurde der Wunsch geäußert, ein separates Treffen der vier Verbundprojekte aus dem Themenfeld „Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser“ zu initiieren. Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion zur nationalen Umsetzung der „EU-Verordnung über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche Bewässerung“ (EU 2020/741) sowie der Erstellung der neuen DWA-Merkblattreihe M-1200 zur Wasserwiederverwendung hat sich eine Untergruppe „Mikrobiologie“ mit den jeweiligen Expertinnen aus den vier Verbundprojekten im Dezember 2022 getroffen. Die intensive detaillierte Diskussionsrunde um mikrobiologische Parameter für landwirtschaftliche Wasserwiederverwendungen wurde genutzt, um einen einheitlichen Parametersatz mit jeweils angewandten Nachweismethoden zu erarbeiten und abzustimmen. Die Verbundprojekte möchten möglichst viele Parameter synchronisieren, um später eine bessere Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit zu erzielen. Ein weiterer Austausch dieser Untergruppe wird vorangetrieben.

Ausblick

In weiteren Aktivitäten zum Querschnittsthema soll ein kontinuierlicher Austausch über Fortschritte und Ergebnisse und eine entsprechende Auswertung der detaillierten Parameterübersichten erfolgen. Weiterhin sollen Ideen für eine Verwertung der Ergebnisse diskutiert und umgesetzt werden, um möglichst gut abgestimmte Gesamtergebnisse aus der Fördermaßnahme zu schaffen.

Darüber hinaus wird ein Austausch mit den Querschnittsthemen „Digitalisierung“ und „Implementierung von Projekten“ angestrebt.

Verantwortlich

Prof. Aki Sebastian Ruhl, Umweltbundesamt, Berlin

Einführung

Das Querschnittsthema „Implementierung von Projekten“ wurde nach der ersten Sitzung aufgrund einer besseren inhaltlichen Fokussierung auf zwei Untergruppen aufgeteilt. Die Untergruppe „Industrie und Salze“ wird von Frau Dr. Ante geleitet hat bereits einen ersten Kriterienkatalog für die Implementierung in der Industrie erarbeitet, der in einen Leitfaden einfließen soll. Dabei wurden „Hürden und Begünstigungen“ für eine Implementierung zusammengestellt sowie Implementierungsbeispiele gesammelt. Für der Untergruppe „Landwirtschaftliche Bewässerung“ hat die aktuelle Diskussion zur nationalen Umsetzung der „EU-Verordnung über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche Bewässerung“ (EU 2020/741) sowie der Erstellung eines neuen DWA Merkblattes M-1200 zur Wasserwiederverwendung hohe Relevanz. Die Teilnehmer:innen dieser Untergruppe sehen daher eine große Chance, praktische Erfahrungen und neue wissenschaftliche Erkenntnisse aus den laufenden WavE II-Projekten in den momentan laufenden Gesetzgebungsprozess in Deutschland einzubringen. Insbesondere die vier Vorhaben, die landwirtschaftliche Bewässerung thematisieren, haben mit ihren Erfahrungen und Erkenntnissen einen direkten Anwendungsbezug für Deutschland. Daher hat sich die Untergruppe „Landwirtschaftliche Bewässerung“ auf ein abgestimmtes Vorgehen verständigt.

Bisherige Aktivitäten und Zwischenergebnisse

Um den laufenden Gesetzgebungsprozess aber auch interessierte Stakeholder zu informieren sind verschiedene Formate vorstellbar. In WavE I wurden gute Erfahrungen mit einem closed-door-Workshop gesammelt, in dem gezielt ein offenes Gespräch mit den Bedenkenträgern geführt wurde. Darüber hinaus wurde die Erstellung eines Positionspapiers als zielführend erachtet, in dem aktuelle Erkenntnisse aus den Projekten, geplante Aktivitäten, Erfahrungen mit dem geforderten Risikomanagement, aber Ergebnisse Zuverlässigkeit und Anforderungen an die Aufbereitung dargestellt werden könnten.

Am 19. Juli 2022 fand ein gemeinsamer Workshop mit dem Querschnittsthema ‚Technologien und Verfahren‘ statt, um Ansätze zur Verfahrensbewertung und Zielwerte für unterschiedliche Wasserqualitäten mit Bezug zur landwirtschaftlichen Bewässerung auszutauschen.

Für das weitere Vorgehen einigte man sich auf die Durchführung eines closed-door Workshops am 22. November 2022 mit dem Titel „Wasserwiederverwendung in der landwirtschaftlichen Bewässerung – Lösungen aus dem BMBF-Fördermaßnahmen zur Wasserwiederverwendung (WavE), der vom Transfer-Projekt federführend organisiert wurde. Dazu wurden Vertreter:innen von

relevanten Bundesministerien, Oberbehörden des Bundes sowie von Landesministerien eingeladen. Die Veranstaltung fand am 22. November von 14-18 h im online Format statt. An der Veranstaltung nahmen rund 40 Personen teil. Das Programm bestand aus diversen Präsentationen und online Diskussionsforen mit folgenden Schwerpunkten:

Aktuelle und künftige Wasserverfügbarkeitssituation für die Landwirtschaft in Deutschland

Landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung: Gesetzliche Rahmenbedingungen

Wissens- und erkenntnisbasierte Umsetzungsperspektiven

1. **Risikomanagementplan.** Erklärung des Ordnungsansatzes, Genehmigungsaspekte, Akteure und Verantwortlichkeiten, Ausarbeitung und Erstellung eines Risikomanagementplans
2. **Maßnahmen zur Risikominimierung: Anwendung und Validierung.** Darstellung der etablierten technischen Möglichkeiten und Erfahrungen, auch aus WavE (Nutzwasser, FlexTreat, DWA M1200)
3. **Wasserqualitäten: Möglichkeiten, Kontrolle und Überwachung.** Welche Qualitäten können erreicht werden, wie lassen sie sich überwachen (Sensorik, Analytik, etc.)
4. **Anwendungsbeispiele und Umsetzungsmöglichkeiten.** Anforderungen in der Praxis, hydroponische Bewässerung (Projekt HypoWave), sowie weitere Beispiele (Projekte Nutzwasser, FlexTreat)

Übergreifende Diskussion möglicher Informations-/Kenntnisbedarfe, Vorbehalte

Die online Veranstaltung war für die Beteiligten informativ, das Format ließ jedoch eine Diskussion mit den Teilnehmer:innen nur bedingt zu. Daher wird angeregt, den Austausch fortzusetzen und für zukünftige Veranstaltungen ein Präsenzformat oder im online Format kleinere Gruppenformate zu wählen.

Ausblick

Die Arbeitsgruppe „Landwirtschaftliche Bewässerung“ traf sich erneut online am 12. Dezember 2022 und bereitet momentan einen ersten Entwurf des angedachten Positionspapiers vor. Ein Gliederungsentwurf ist in Vorbereitung. Die Arbeitsgruppe „Industrie und Salze“ wird im nächsten Treffen die Struktur eines Implementierungsleitfadens vorbereiten. Dieser soll Hinweise für eine erfolgreiche Umsetzung (großtechnische Anwendung) von Innovationen geben.

Verantwortlich

Dr. Angela Ante, sms Group GmbH, Hilchenbach
Prof. Jörg Drewes, TU München

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung



Wasser: N

SCHUTZ. NUTZUNG. INNOVATION.



www.bmbf-wave.de