

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

WavE

Wassertechnologien: Wiederverwendung



Wassertechnologien: Wiederverwendung

Abschlussveranstaltung

8./9. Oktober 2024

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. Rainer Müssner
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.: 069 7564-427
Fax: 069 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 Oktober 2024
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_978569874

Inhalt

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

Themenfeld: Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser

Nutzwasser	8
FlexTreat	10
HypoWave+	12
PU ₂ R	14
TrinkWave Transfer	16

Themenfeld: Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser

innovatION	18
SULFAMOS	20
HaSiMem	22

Themenfeld: Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser

FITWAS	24
Med-zeroSolvent	26
ReWaMem	28
NERA	30
WEISS_4PN	32
RIKovery	34

Querschnittsthemen

Technologien und Verfahren	36
Implementierung von Projekten	38
Analytik, Monitoring, Überwachung	40
Digitalisierung	41
Bewertung	42

Hintergrund und Ziele



Menschen, Umwelt und Wirtschaft sind täglich auf ausreichend Wasser in guter Qualität angewiesen – doch in vielen Teilen der Welt wird Wasser zunehmend knapp. Selbst in Deutschland haben längere Dürreperioden in den letzten Jahren regional zu Ernteverlusten und Produktionsausfällen in der Industrie geführt. Der globale Wasserbedarf steigt durch das Wachstum der Weltbevölkerung, die zunehmende Industrialisierung und landwirtschaftliche Nutzung sowie die schnelle Verstädterung stark an. Gleichzeitig sind die verfügbaren Wasserressourcen begrenzt, was zu Nutzungskonflikten führt. Die zunehmende Wasserknappheit gefährdet Ökosysteme und beeinträchtigt die wirtschaftliche sowie politische Entwicklung ganzer Regionen und Länder.

Somit gibt es einen dringenden Bedarf an nachhaltigen Lösungen, um regionale Wasserengpässe zu bekämpfen. Die Wiederverwendung von Wasser durch Schließen von Wasserkreisläufen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Sie trägt dazu bei, dass Wasser langfristig verfügbar ist und effizienter genutzt wird.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE II) ins

Leben gerufen; diese läuft seit Februar 2021. Sie baut auf der Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE) auf. Das Ziel beider Fördermaßnahmen ist es, innovative Technologien, Betriebskonzepte und Managementstrategien für die Wasserwiederverwendung und Entsalzung zu entwickeln, um die Verfügbarkeit von Wasser nachhaltig zu erhöhen. In der Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ spielen Reallabore, Standardisierung und Regelwerke sowie die Digitalisierung eine bedeutende Rolle.

Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis arbeiten in Verbundprojekten zusammen, um Wasser effizienter zu nutzen und alternative Wasserquellen in verschiedenen Bereichen zu erschließen. Die Projekte werden unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt und beinhalten auch Demonstrationsanlagen in technischem Maßstab. Ein besonderer Schwerpunkt liegt darauf, die entwickelten Technologien und Konzepte auf andere Standorte mit ähnlichen Bedingungen zu übertragen. Dadurch sollen deutsche Unternehmen auf dem internationalen Markt wettbewerbsfähiger und Lösungen „made in Germany“ weltweit angewendet werden.

Struktur der Fördermaßnahme

In der Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ unterstützt das BMBF 13 Verbundprojekte sowie ein Vernetzungs- und Transfervorhaben – die Projektergebnisse finden sich in dieser begleitenden Broschüre zur Abschlussveranstaltung. Darüber hinaus stellt das WavE-Transferprojekt „TrinkWave Transfer“ seine Ergebnisse vor. Weiterhin werden die Erkenntnisse aus projektübergreifenden Aktivitäten zu fünf verschiedenen Querschnittsthemen dargestellt.

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten konzentrieren sich auf drei Themenfelder:



Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser



Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser



Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser

Ein **Lenkungskreis** begleitet und unterstützt die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Er setzt sich aus den Koordinatoren der Verbundprojekte sowie externen Experten aus der wasserwirtschaftlichen Praxis zusammen. Der Lenkungskreis bildet eine Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis und fördert den direkten Austausch von Wissen und Informationen.

Zusätzlich wird die Fördermaßnahme durch ein **Vernetzungs- und Transfervorhaben („TransWavEplus“)** unterstützt, das von der DECHEMA e. V. betreut wird. „TransWavEplus“ ist eine zentrale Anlaufstelle aller Akteure der Fördermaßnahme: Das Vorhaben begleitet die

Verbundprojekte der Fördermaßnahmen fachlich und unterstützt deren themenübergreifende Vernetzung (intern und extern) sowie den Ergebnistransfer in die Praxis (national – europäisch – international).

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



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
- 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



- 7 NERA:** Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie
Koordination: Prof. Michael Sievers, CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal
- 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. Ing. André Lerch, TU Dresden
- 13 SULFAMOS:** Sulfatabreicherung mittels Vorwärtsosmose und Hohlfasertauchmodulen
Koordination: Dr. Roland Mayer, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke bei Freiberg

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

Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung



KURZBESCHREIBUNG

In Zusammenarbeit mit 12 Praxispartnern wurde untersucht, ob weitergehend aufbereiteter Kläranlagenablauf als alternative Wasserressource für urbane und landwirtschaftliche Anwendungen unter den spezifischen Bedingungen Deutschlands genutzt werden könnte. Ziel des Projekts war es, flexible Managementstrategien für die Wasserwiederverwendung zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung zu entwickeln und in praxisnahen Demonstrationen mit Anwendern zu optimieren, um die Übertragbarkeit auf andere Regionen zu beschleunigen.

Das Projekt umfasste die Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Wasser durch eine Multibarrieren-Aufbereitungsanlage und umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen für die Demonstration einer Wasserwiederverwendung für urbane und landwirtschaftliche Anwendungen. Darüber hinaus wurden innovative Technologien wie eine digital vernetzte Sensorik (IoT-Konzept) zur Echtzeit-Bestimmung der Bewässerungsbedarfe für urbane und

landwirtschaftliche Nutzungen sowie neue Ausführungsansätze für eine urbane Nutzwasserversorgungsstruktur im Bestand getestet. Weitere Aspekte wie Kosten für die Bereitstellung alternativer Wasserressourcen, rechtliche Anforderungen sowie Geschäfts- und Betreibermodelle wurden ebenfalls berücksichtigt (s. Abbildung unten).

ERGEBNISSE

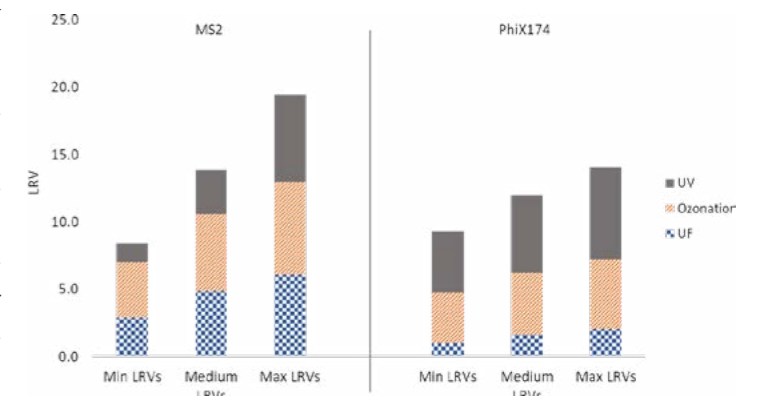
Im ersten Schritt wurden das erzeugte Nutzwasser sowie ein Referenzwasser regelmäßig auf das Vorhandensein von Viren, Bakterien, antibiotika-resistenten Bakterien und Antibiotikaresistenzgene untersucht. Die chemischen Analysen umfassten organische Spurenstoffe, Anionen, Kationen sowie Summenparameter. Auch die exponierten Pflanzen und Böden wurden mikrobiologisch und chemisch untersucht. Die Ergebnisse dieser Analysen flossen in eine umfassende Risikoanalyse ein.

Für die Wasseraufbereitung wurden flexible Prozesskombinationen entwickelt, die demonstrieren, dass die etablierten weitergehenden Aufbereitungsverfahren eine sichere Barriere gegenüber pathogenen Keimen, einschließlich

Antibiotikaresistenzen, sowie gegen organische Spurenstoffe bieten. Der Multibarrieren-Behandlungszug umfasste eine keramische Ultrafiltration, Ozonung und nachgeschaltete biologisch-aktive Aktivkohlefiltration, gefolgt von einer UV-Desinfektion.

Durch den Einsatz keramischer Ultrafiltrationsmembranen konnte die mikrobielle Kontamination unter die Nachweisgrenze gesenkt werden. Obwohl dies hygienisch wünschenswert ist, erschwerte es die Validierung der Entfernungseffizienz des Behandlungssystems. Um dies zu überprüfen, waren zusätzliche Validierungstests erforderlich, die eine kumulative Reduktion von über 14 LRVs für MS2-Viren und über 12 LRVs für PhiX174-Viren zeigten (Abbildung rechts).

hören und Nutzern. Um die Planung, Genehmigung und Umsetzung zu beschleunigen, sind daher auch neue Beteiligungsformate erforderlich.



Zusammenfassung der beobachteten log-Reduktionswerte (LRVs) für die Bakteriophagen MS2 und phiX174 während der Testversuche mit dem Multibarrierenbehandlungssystem des Nutzwasser Projekts (Quelle: Ho, Ahmadi et al. 2024, Water Research)

Alle 41 in dieser Studie bewerteten organischen Spurenstoffe und PFAS wurden im Ablauf der Kläranlage Schweinfurt nachgewiesen. 17 von 29 der untersuchten organischen Spurenstoffe wurden im Nutzwasser-Multibarrierenbehandlungssystem zu mehr als 99 % entfernt. Die Ergebnisse zeigen, dass nach dem Verzehr der mit Nutzwasser bewässerten essbaren Pflanzen keine relevanten Gesundheitsrisiken für den Menschen im Hinblick auf die organischen Spurenstoffe und deren Toxizität bestehen.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Ziel des Projekts war es, für Regionen mit begrenztem Wasserdargebot fortschrittliche und flexible Managementstrategien zur Wasserwiederverwendung zu entwickeln. Diese Strategien sollten den Bedarf an Nutzwasser für städtische und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke praxisnah decken. In enger Zusammenarbeit mit Praxispartnern wurden diese Ansätze im Rahmen etablierter Reallabore weiterentwickelt, um eine schnelle Übertragbarkeit auf andere Zielregionen zu ermöglichen.

Eine bedeutende Herausforderung für die Einführung der Wasserwiederverwendung besteht im Aufbau eines separaten Versorgungsnetzes, insbesondere bei der Nachrüstung bestehender Infrastrukturen im Bestand. Daher wurde in diesem Vorhaben ein Konzept entwickelt, das vorsieht, Nutzwasser über eine Druckrohrleitung im bereits vorhandenen Hauptsammler der Stadtentwässerung zu den jeweiligen Einsatzorten zu transportieren. Die Planung umfasst auch die Einrichtung einer Speicheroption für 1.500 m³ Nutzwasser am Ende der Transportleitung, um Spitzenbedarfe in der urbanen Bewässerung abzudecken. Für eine zukunftsfähige Wasserwirtschaft ist neben bewährten Konzepten auch eine Offenheit für alternative Lösungen erforderlich. Dieses Forschungsprojekt konnte zeigen, dass Nutzwasser eine sichere alternative Wasserversorgungsoption darstellen kann. Die Implementierung sowie das notwendige Risikomanagement erfordern jedoch ein Umdenken bei Betreibern, Genehmigungsbe-

Laufzeit

02/2021 bis 10/2024

Koordination

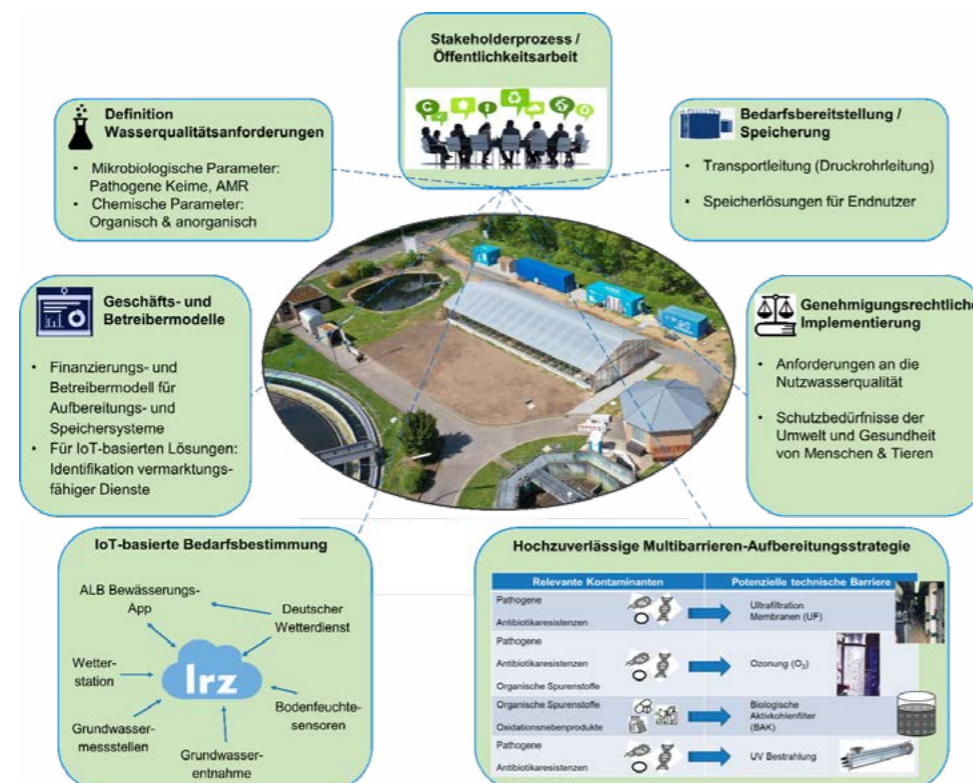
Prof. Ing. Jörg E. Drewes
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft,
Technische Universität München, Garching

Webseite

www.nutzwasser.org

Verbundprojektpartner

- Bayerische 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
- 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, (assoziierter Partner)



Aufbereitungskonzept und Schlüsselemente für die erfolgreiche Implementierung eines Nutzwasser-Projektes am Beispiel des Reallabors Schweinfurt (Quelle: Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München 2023)

Flexible & zuverlässige Konzepte für eine nachhaltige Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft



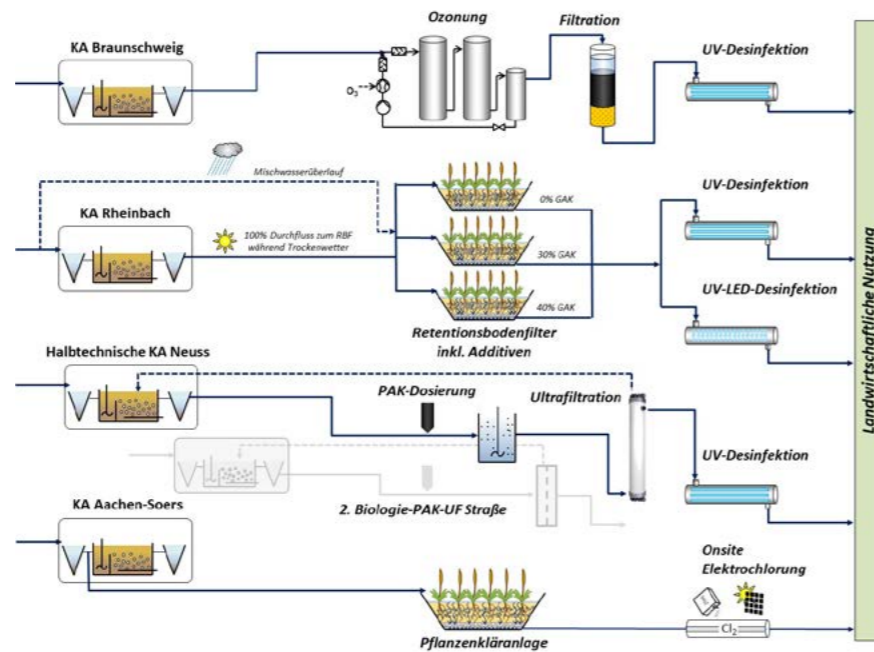
KURZBESCHREIBUNG

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 entlang der Abwasserbehandlung, insb. der weitergehenden Aufbereitung, unter Berücksichtigung von ausgewählten Aspekten bei Speicherung, Verteilung und Bewässerung bis hin zur Analyse von Risikofaktoren im 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 waren die Entwicklung von Inputs für Umsetzungsrichtlinien, inkl. eines integrierten Ansatzes zum Risikomanagement (insb. der wissenschaftlichen Basis für eine methodisch korrekte Validierung von Aufbereitungs-



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

verfahren in Form eines Leitfadens) sowie eines Leitfadens über „Technologien für eine sichere Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft“, der die neuen europäischen Anforderungen berücksichtigt und ergänzt.

ERGEBNISSE

Die an vier Standorten befindlichen Versuchsanlagen (siehe Abbildung) wurden in den Jahren 2021 bis 2023 für jeweils mehr als zwei Jahre betrieben und regelmäßig in verschiedenen Betriebseinstellungen beprobt. 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, so denn ausreichende Dosierungen für Betriebsmittel (Ozon, Pulveraktivkohle, UV Intensität) gewählt wurden. Die Erfahrungen aus FlexTreat zeigen, dass hier konventionell verwendete Dosiermengen in ökonomisch darstellbaren Dimensionen die geforderten Qualitäten erreichen können.

Die Verfahrenskette in Braunschweig war entlang der gesamten Aufbereitung mit umfassender Online Messtech-

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

Neben routinemäßigen Beprobungen der Verfahren wurden auch entlang des Eintragspfades Wasser-Boden-Pflanze tiefgehende Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde ein breites Spektrum an experimentellen und analytischen Herangehensweisen genutzt. Mit Bezug zu den Aufbereitungszielen wurde an einer statistisch abgesicherten Methode zur Validierung von Verfahrensketten („log credit validation“) gearbeitet, welche in einem alleinstehenden, separaten Leitfaden veröffentlicht wird. Des Weiteren wurde, aufbauend auf Arbeiten aus der Fördermaßnahme WavE I, ein umfassendes, integriertes Bewertungskonzept des Risikomanagements in Bezug auf die Verfahrensketten aus dem Arbeitspaket 1 umgesetzt, welches ökonomische und ökologische Faktoren berücksichtigt, sowie auf die Resilienz der verschiedenen Technologien eingeht.

Darüber hinaus wurde in FlexTreat die Akzeptanz für Wasserwiederverwendung in der Bevölkerung, sowie die für die Implementierung als Hindernis empfundenen Aspekte mittels Umfragen und Stakeholder Dialogen mit Landwirten, Wasserverbänden, Industrie, Politik und Wissenschaft beleuchtet. Die Ergebnisse werden in einem separaten Bericht zusammengefasst.

Themen der Umsetzung in Deutschland am Standort Braunschweig, sowie Potentiale der gewonnenen Erkenntnisse für Märkte außerhalb Deutschlands wurden betrachtet.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

FlexTreat trägt dazu bei, die Umsetzung von Wasserwiederverwendungsprojekten in Deutschland durch eine verbesserte Risikoeinschätzung, Erfahrungswerte aus dem Betrieb relevanter Technologien sowie die Betrachtung weiterer relevanter Faktoren voranzubringen. Ein besonderer Fokus liegt hierbei darauf, Synergieeffekte von konventionellen Technologien, welche für die Spurenstoffelimination genutzt werden, sowie ergänzenden Behandlungsschritten zur Desinfektion von Abwasser zu identifizieren und zu quantifizieren.

Angesichts der Rechtslage zur Zeit des Projektes (EU VO

2020/741 geltend, DWA M-1200 ausstehend und Vorschlag zur Überarbeitung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie vorliegend) ist zu erwarten, dass sowohl (durch das DWA-M1200 spezifizierte) gesetzliche Anforderungen an wiederverwendetes Wasser, aber auch die Spurenstoffelimination mittelfristig auf kommunalen Kläranlagen umzusetzen sind. Die Kombination von Verfahren zur Erreichung beider Qualitätsziele birgt ein großes Synergiepotential. Von einer verpflichtenden Spurenstoffelimination ausgegangen ist der ökonomische Aufwand zur Erreichung der Qualität für die Wasserwiederverwendung bedeutend geringer, als für eine ausschließliche Erreichung dieser Qualität. Gemeinsam mit einem verbesserten Verständnis für mögliche Risiken, dem Aufzeigen von Möglichkeiten zur Prozessüberwachung und der Betrachtung realer Anwendungsfälle sowie außerdeutscher Marktpotentiale liefert FlexTreat wissenschaftlich fundierte Antworten auf offene Fragestellungen im Prozess der Gestaltung der deutschen Gesetzgebung für die Wasserwiederverwendung. Gleichzeitig wird der Stand der Wissenschaft um zahlreiche spezielle Aspekte erweitert, welche der Wasserwiederverwendung und berührende Themen langfristigen Fortschritt ermöglichen.

Laufzeit

02/2021 bis 10/2024

Koordination

Prof. Thomas Wintgens
Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA),
RWTH Aachen

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 GmbH, Meschede
- Universitätsklinikum Bonn
- Xylem Services GmbH, Herford

Implementierung eines hydroponischen Systems als nachhaltige Innovation zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung



KURZBESCHREIBUNG

Regionale Konkurrenzen um die Ressource Wasser nehmen zu. Deshalb sind neue Konzepte und Verfahren für die Wasserwiederverwendung gefragt. Im Vorgängerprojekt HypoWave wurde ein wasserressourceneffizientes Konzept für die Landwirtschaft untersucht, in dem recyceltes Wasser für die hydroponische Pflanzenproduktion verwendet wird. Basierend auf diesen Ergebnissen entschieden sich Landwirte in der Region Gifhorn zur Gründung eines Unternehmens, das hydroponisch erzeugtes Gemüse produziert.

HypoWave+ setzt an den Ergebnissen und der Entscheidung der IseBauern für dieses Konzept an. 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. Zudem geht HypoWave+ offenen Fragestellungen in den Bereichen Wasseraufbereitung, Gemüseproduktion, intelligente Steuerungstechnik, Qualitätsmanagement und institutionelle Arrangements nach. Damit soll die Marktfähigkeit von hydroponisch erzeugtem Gemüse mittels umweltschonendem Wasserrecycling weiterentwickelt werden, mit dem Ziel, es an anderen Standorten zukünftig ebenfalls anzuwenden.

ERGEBNISSE

Die erste großtechnische Umsetzung des Hypowave-Konzepts erfolgt nun in einem Teilbereich des 1.800 m² großen Gewächshauses der IseBauern. Hier werden 11,5 Tonnen Tomaten und 50.000 Köpfe Salat in der Saison hydroponisch für den regionalen Markt produziert. Der Betrieb wurde im Frühjahr 2024 aufgenommen. Ergebnisse zur Produktqualität lagen zum Zeitpunkt der Abstract-Erstellung noch nicht vor.

Für die weitergehende Aufbereitung zu qualitativ hochwertigem Bewässerungswasser wird der Ablauf einer naheliegenden Abwasserteichanlage genutzt. Dieser wird in einer mehrstufigen Wasseraufbereitung des Projektpartners HUBER SE zunächst über einen Tuchfilter zur Entfernung

planktonischer Bestandteile geführt. Danach folgt ein neuartiger Aktivkohle-Biofilter zur Entfernung organischer Spurenstoffe, gefolgt von einer Sandfiltration zum Feststoffrückhalt. Die sich anschließende Desinfektion erfolgt in einer UV-Anlage.

Die agrarwissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen von Literaturstudien und Versuchen zeigen, dass Erkenntnisse zur Transpiration und zum Wachstum von Pflanzen unter hohem VPD (Vapor Pressure Deficit) aus boden- oder substratbasierten Experimenten nicht auf substratlose hydroponische Systeme übertragbar sind. Es wird vermutet, dass das Fehlen jeglicher Fließhindernisse in substratlosen hydroponischen Systemen selbst bei hoher Transpirationsleistung eine optimale Wasserversorgung sicherstellt. Für HypoWave+ bedeutet dies, dass durch die gezielte Einstellung des VPDs die Transpiration und das Pflanzenwachstum gefördert werden können, was angesichts der geringen Nährstoffkonzentration in aufbereitetem Wasser von Vorteil ist.



Tomatenpflanzen im Gewächshaus der IseBauern
(Quelle: IseBauern)

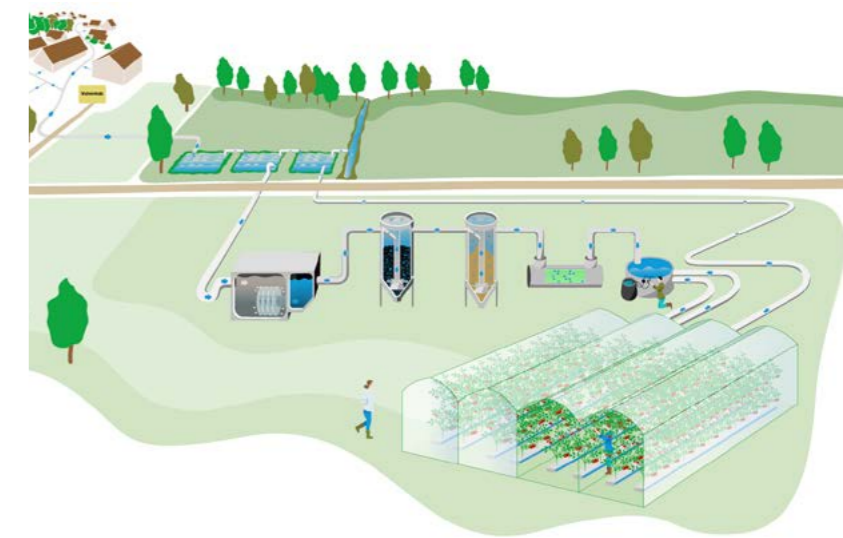
Über einen Multi-Methoden-Ansatz wurden die relevanten Qualitäts- und Risikoaspekte bearbeitet. Der Ansatz umfasst eine Dokumentenanalyse, partizipative Methoden wie Workshops im Rahmen des Reallabors und Vor-Ort-Begehungen sowie den diskursiven Austausch im Konsortium. Die Formate leisteten einen wesentlichen Beitrag zur Entstehung des nach EU-Verordnung geforderten Risikomanagementplans, des Qualitätssicherungssystems für die Zertifizierung nach QS-GAP, eines Qualitätsmanagementkonzepts sowie einer Strategie zur Vermarktung.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Hydroponische Systeme können Teil einer Antwort auf das weltweite Problem der knappen Wasserressourcen zur Lebensmittelproduktion sein, denn sie erlauben es, mit deutlich geringeren Wassermengen zu produzieren. Werden sie mit Bewässerungswasser aus aufbereitetem Abwasser betrieben, lassen sich neben der Erschließung einer bisher weitgehend ungenutzten Wasserquelle auch die enthaltenen Nährstoffe für eine ressourcen-effiziente Düngung der Pflanzen nutzen und sorgen für eine weitere Nährstoffanreicherung des Wassers.

Das Projekt HypoWave+ verfolgt eine integrierte Systemlösung zur regionalisierten Gemüseproduktion, die die hydroponische Pflanzenproduktion auf Basis von aufbereitetem Abwasser betreibt. Da der Betrieb erst in 2024 gestartet ist und die Ergebnisse aus diesem Betriebsjahr noch nicht vorliegen, kann hier nur ein erster Ausblick geboten werden:

1. Mit der diesjährigen Erprobung in Wahrenholz ist ein Präzedenzfall dafür geschaffen, wie landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung mit hydroponischem System realisiert werden kann. Auch werden umfassende Betriebsdaten aus diesem großtechnischen Maßstab als auch zu Bewässerungswasser- und Produktqualität vorliegen.
2. Gelingt die Entwicklung dieser integrierten Systemlösung hier, kann sie mit geringem F&E-Aufwand von Innovatoren an andere Standorte und unter veränderten Konstellationen übertragen werden. Ein wichtiges Kriterium in Deutschland ist hierfür, dass solche Systeme in der deutschen Verordnung zur Wasserwiederverwendung nicht ausgeschlossen werden.
3. HypoWave+ verfügt über Erfahrungswerte, wie ein Antrag auf Wasserwiedernutzung für ein solches System gestellt und eine Validierung nach Güteklasse A durchgeführt werden kann. Zum anderen liegt eine Blaupause vor, wie eine QS-GAP-Zertifizierung erfolgreich durchgeführt werden kann, um die Produkte in den Handel zu bringen.



Schemazeichnung der Wasserwiederverwendung im Gewächshaus der IseBauern (Quelle: PRINZ MAYER Designbüro)

Laufzeit

02/2021 bis 04/2025

Koordination

Prof. Ing. Thomas Dockhorn
Institut für Siedlungswasserwirtschaft,
Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu
Braunschweig

Webseite

www.hypowave.de

Verbundprojektpartner

- Abwasserverband Braunschweig
- Ankermann GmbH & Co. KG (EDEKA), Meine
- Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart
- Huber SE, Berching
- INTEGAR – Institut für Technologie im Gartenbau GmbH, Dresden
- IseBauern GmbH & Co. KG, Wahrenholz
- ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt a.M.
- Universität Hohenheim, Stuttgart
- Wasserverband Gifhorn
- Xylem Water Solutions Deutschland GmbH, Herford
- Landvolk Niedersachsen Kreisverband Gifhorn-Wolfsburg e.V. (assoz. Partner)
- Wolfsburger Entsorgungsbetriebe (assoz. Partner)

Dezentrale landwirtschaftliche Wiederverwendung von häuslichem Abwasser zur Verringerung von Nutzungskonkurrenzen



KURZBESCHREIBUNG

Das Verbundprojekt PU₂R (Point-of-Use Re-Use) erforscht die dezentrale Wiederverwendung von Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung, um lokalem Wassermangel zu begegnen und Nutzungskonkurrenzen zu verringern. Zu diesem Zweck wurden Membranbelebungsreaktoren (MBR) entwickelt, die sowohl mikrobiologische als auch chemische Ansprüche für die Bewässerung von Nutzpflanzen erfüllen und gleichzeitig den Erhalt von Nährstoffen im Wasser ermöglichen. Ergänzend wurden umfassende Labor- und Lysimeterversuche durchgeführt, welche die Reaktions- und Transportprozesse im Boden, im Grundwasser sowie das Pflanzenwachstum analysieren. Die potenzielle Belastung mit Spurenstoffen, Bakterien und Viren wurde umfassend untersucht. Die Resultate und Datenerhebungen aus PU₂R stellen eine wesentliche Basis für die Abschätzung des Potenzials der dezentralen Wasserwiederverwendung in Brandenburg sowie international dar. Die Forschungsaktivitäten zielen auch darauf ab, fundierte Risikobewertungen vorzunehmen, Maßnahmen zum Risikomanagement zu entwickeln, welche über die EU-Vorgaben zur Wasserwiederverwendung hinausgehen, und die dezentrale landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung ökologisch zu bewerten.

ERGEBNISSE

Zwei für die diskontinuierliche Beschickung mit häuslichem Abwasser konzipierte MBR-Anlagen wurden erfolgreich fertiggestellt (s. Abbildung unten) und mit einem vereinfachten digitalen Zwilling, der eine Optimierung der Prozessparameter für den Sommer- und Winterbetrieb ermöglicht, ergänzt. Darüber hinaus wurden die Wirksamkeit der UV-Desinfektion als weitere Barriere für Viren und die zusätzliche Dosierung von Wasserstoffperoxid zur Etablierung einer weitergehenden Oxidation (Advanced Oxidation Process, AOP) zur verbesserten Spurenstoffelimination eingehend untersucht.

Zur Quantifizierung auch besonders mobiler organischer Spurenstoffe mittels überkritischer Fluidchromatographie (supercritical fluid chromatography, SFC) wurden Methoden für ca. 70 Analyten entwickelt und die Extraktionstechniken für Boden- und Pflanzenproben verbessert. Zudem wurden Methoden zur Anreicherung und zum quantitativen Nachweis von Adenoviren in aufbereitetem Wasser weiterentwickelt. In Gewächshausversuchen wurden Rucola, Getreide und Weidelgras mit Spurenstoffe enthaltendem Klarlauf einer kommunalen Kläranlage bewässert, um anschließend durch Analysen von Wasser, Boden und Pflanzenmaterial Konzentrationen interpretieren zu können. So konnten beispielsweise für Rucola ca. 70 % der erfassten Analyten im essbaren Pflanzenteil nachgewiesen werden.

Eine Berechnung toxikologischer Schwellenwerte (threshold of toxicological concern, TTC) zeigte jedoch, dass die maximal zulässigen Verzehrsmengen deutlich über den täglichen verzehrten Mengen von Rucola liegen.

Vier große Lysimeter sowie zwölf Kleinlysimeter mit Bodenmaterial des Reallaborstandortes in Brandenburg befinden sich im Betrieb. An einem zweiten Standort wurden Großlysimeter mit 100 m² Fläche entwickelt und in Betrieb genommen. Ergänzend wurden Batchversuche zur Abbau- und Sorptionskinetik organischer Spurenstoffe in Wasser und Boden unter Berücksichtigung verschiedener Einflussgrößen wie Bodenart, pH-Wert, Ionenstärke und Kationen auf das thermodynamische Gleichgewicht durchgeführt. Auf der Basis von mehreren tausend Simulationsrechnungen wurde ein pragmatisches Werkzeug zur Abschätzung der Spurenstoffverlagerung entwickelt. Am Reallabor-



Bewässerungssystem am Reallaborstandort in Brandenburg (Quelle: Umweltbundesamt)

standort wurde ein energieautarkes Bewässerungssystem für eine effiziente Wassernutzung realisiert und betrieben (s. Abbildung oben).

Eine Potenzialanalyse zur dezentralen Wasserwiederverwendung in Brandenburg zeigt, dass während einer Bewässerungsperiode ca. 20 % des Bewässerungswassers durch aufbereitetes Wasser aus abflusslosen Sammelgruben ersetzt werden könnte, was je nach einstellbaren Restgehalten von Nährstoffen zusätzlich zu Düngemittelsparungen führen kann. Zusätzlich wurde eine Sammelgruben-Messkampagne durchgeführt, um Unterschiede zwischen häuslichem Abwasser und Kommunalabwasser zu untersuchen.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Die Forschungsergebnisse des PU₂R-Projekts bieten wertvolle Datengrundlagen und Perspektiven für die Praxis, insbesondere im Bereich der dezentralen Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Die entwickelte MBR-Technologie zeigt, dass Abwasser so aufbereitet werden kann, dass es den Anforderungen für die Bewässerung von Nutzpflanzen gerecht wird und gleichzeitig wertvolle Nährstoffe erhalten bleiben. Dies könnte ein wertvoller Beitrag zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen zwischen Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft insbesondere in wasserknappen Regionen bieten. Ebenfalls relevant für die Praxis ist die Möglichkeit, während einer Bewässerungssaison etwa ein Fünftel des benötigten Wassers durch lokal aufbereitetes Wasser zu ersetzen. Dies trägt nicht nur zur Schonung der Wasserressourcen bei, sondern ermöglicht auch positive ökologische Effekte aufgrund der Reduzierung des Düngemittel-

teleinsatzes. Die Ergebnisse und Methoden des Projekts können als Modell für andere Regionen dienen, die mit ähnlichen Herausforderungen konfrontiert sind und bieten Potenzial für die Integration in umfassendere Strategien zur Wasserwiederverwendung weltweit.

Laufzeit

02/2021 bis 10/2024

Koordination

Prof. Aki Sebastian Ruhl
Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau

Webseite

www.uba.de/PU2R

Verbundprojektpartner

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



Membranbioreaktor (Quelle: Umweltbundesamt)

Großtechnische Erprobung neuer Entwicklungen bei der Sequentiellen Grundwasseranreicherung



KURZBESCHREIBUNG

Aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen in der Grundwasserbewirtschaftung und Uferfiltration in Deutschland wurden im Verbundvorhaben TrinkWave neue Multibarrieren-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 hocheffiziente und platzsparende Infiltration über Sickerschlitzzgräben sowie der in situ Eintrag von Elektronenakzeptoren. Im Rahmen des Folgeprojektes TrinkWave Transfer soll das SMART-Verfahren als Rückgrat einer weitergehenden Abwasserbehandlung bzw. bei Nutzung belasteter Oberflächenwasser 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 (s. Abbildung unten).

ERGEBNISSE

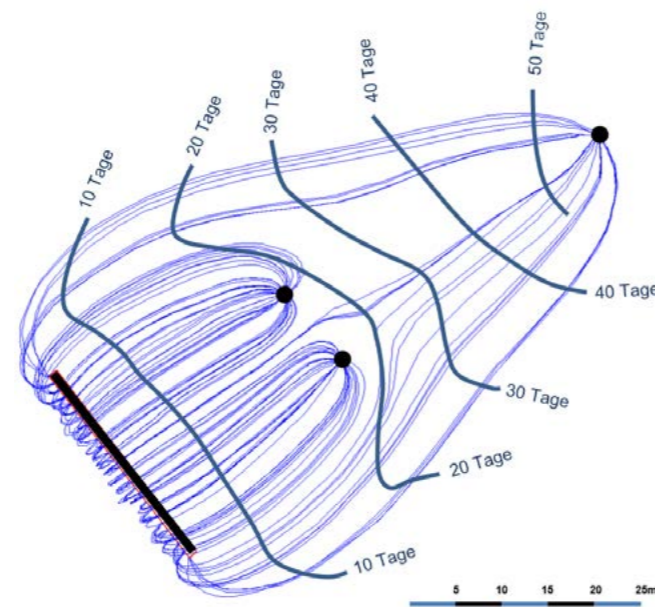
Die Demonstrationsanlage mit einem 25 m langen und 7 m tiefen Sickerschlitzzgraben, mehreren Grundwassermessstellen und drei hydraulisch abgestimmten Entnahmebrunnen konnte Mitte des Jahres 2023 fertiggestellt werden. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte zunächst mit der Infiltration von Trinkwasser und einem Volumenstrom von 10 m³/h. Im Frühjahr 2024 wurde mit der Infiltration von aufbereitetem Uferfiltrat begonnen. Durch die zweimalige Umstellung des zu infiltrierenden Wassers (Trinkwasser / Uferfiltrat), konnten seit der Inbetriebnahme zwei Tracer-Tests durchgeführt werden. Die Tracer-Tests bildeten zusammen mit den vorab durchgeführten Kernbohrungen und dem damit verbundenen geologischen Gutachten die Basis für die hydraulische Charakterisierung des heterogenen Aquifers. Zusätzlich wurde ein numerisches Modell des Aquifers erstellt und mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse aus dem Feld validiert. Die Etablierung einer oxischen Redoxzone während der Untergrundpassage des Wassers wird durch

eine oberirdische Belüftung des Wassers vor der Infiltration erreicht. Die Ausbreitung der oxischen Redoxzone ist abhängig von den hydraulischen und geologischen Gegebenheiten (Zehrpotential) des Untergrundes. Durch kontinuierliche Messungen des gelösten Sauerstoffs an unterschiedlichen Stellen und in unterschiedlichen Tiefen der Demonstrationsanlage konnte die Etablierung einer ausgeprägten oxischen Zone über mehrere Monate nachgewiesen werden (s. Abbildung rechts).

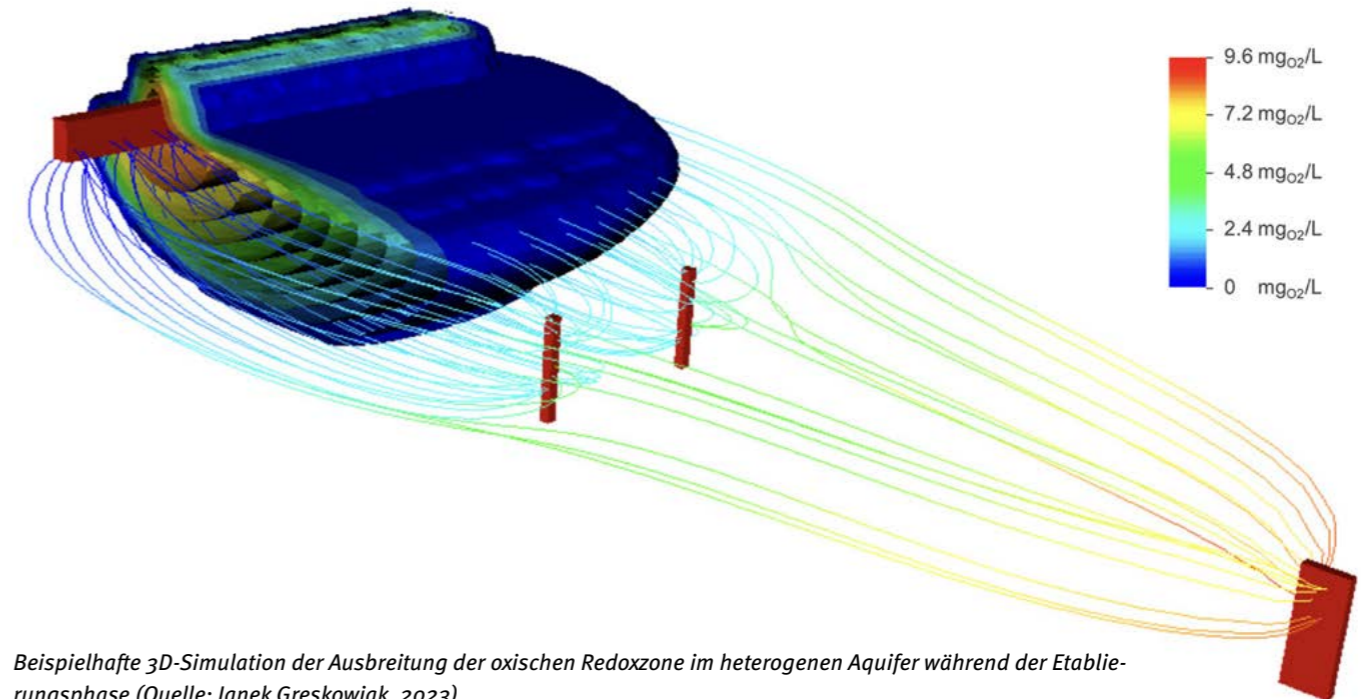
Das erstellte numerischen Modell ermöglicht die zusätzliche Abschätzung der Ausbreitung der oxischen Zone bzw. des Wasseranteiles, welcher diese Zone durchfließt und damit SMART-Bedingungen im Untergrund erfährt. Für diesen Teil der Untergrundpassage wird von einer gesteigerten Biotransformation von anthropogenen Spurenstoffen ausgegangen. Seit dem Frühjahr 2024 werden regelmäßig Beprobungen im Versuchsfeld durchgeführt, welche den verbesserten Abbau von Spurenstoffen belegen sollen.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Die Errichtung der Pilotanlage zur gezielten Grundwasser-



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



Beispielhafte 3D-Simulation der Ausbreitung der oxischen Redoxzone im heterogenen Aquifer während der Etablierungsphase (Quelle: Janek Greskowiak, 2023)

seranreicherung zur Wasserwiederverwendung mit Hilfe der Sickerschlitzzgrabentechnologie sowie die Etablierung einer ausgedehnten oxischen Redoxzone konnten erfolgreich in einem natürlichen und heterogenen Aquifer in Berlin-Johannisthal demonstriert werden. Durch den Bau des Sickerschlitzzgrabens mit einer überlappenden Bohrtechnik, konnte die schnelle und flexible Konstruktion derartiger Anlagen gezeigt werden. Die verwendete Bohrtechnik ermöglicht zudem die flexible Anpassung der Tiefe von Sickerschlitzzgräben an die lokalen Gegebenheiten des Aquifers, wodurch die gezielte Infiltration in bevorzugt durchlässige Bodenschichten erreicht werden kann. Darüber hinaus ist das Verfahren sehr gut skalierbar und die Länge von Sickerschlitzzgräben kann beliebig erweitert werden. Durch die gezielte Platzierung der Entnahmebrunnen ist einerseits eine gezielte Gestaltung der Fließpfade im Untergrund möglich, andererseits lässt sich dadurch eine vollständige Entnahme des infiltrierten Wassers bzw. eine hydraulische Abschirmung der lokalen Grundwasseranreicherung sicherstellen. Diese hydraulische Abschirmung vom umgebenden Aquifer stellt sicher, dass eine negative Beeinflussung des Aquifers ausgeschlossen werden kann. Die Etablierung einer oxischen Redoxzone konnte nun auch in einem heterogenen Aquifer gezeigt werden. Die Beprobungen und Untersuchungen zum verbesserten Spurenstoffabbau durch eine gesteigerte Biotransformation unter oxischen und oligotrophen Bedingungen im Aquifer erfolgen derzeit. Abschließende Ergebnisse werden bis zum Ende der Projektlaufzeit erwartet.

QUELLE

BGS UMWELT, 2021: Sequentielle Grundwasseranreicherung mittels eines Sickerschlitzzgrabens am Standort Johannisthal in Berlin - Aktualisierung der Grundwassermodellierung -, Gutachten der BGS UMWELT (Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH), beauftragt durch und in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben (BWB), nicht veröffentlicht.

Laufzeit

08/2022 bis 12/2024

Koordination

Prof. Jörg E. Drewes
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft,
Technische Universität München, Garching

Webseite

<https://www.wasser.tum.de/wasser/forschung/projekte/trinkwave-transfer/>

Verbundprojektpartner

- BGS Umwelt - Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH, Darmstadt
- Berliner Wasserbetriebe
- Technische Universität München, Garching
- Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Selektive Entfernung monovalenter Ionen aus salzhaltigen Wässern für die Grundwasseranreicherung und Trinkwasseraufbereitung



Projektpartner und Elektrode mit selektiver Anionenaustauschermembran und Spacer für selektiven Nitratrückhalt beim Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg (Quelle: Joachim Oltmann, Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg)

KURZBESCHREIBUNG

Süßwasser, das vom Meer oder von geogenen Salzvorkommen beeinflusst wird, enthält u. a. erhöhte Konzentrationen einwertiger (monovalenter) Ionen, wie Natrium und Chlorid, als auch mehrwertige (polyvalente) Ionen, wie Magnesium und Calcium. Hohe Nitrat- und Sulfatkonzentrationen resultieren hingegen meist aus landwirtschaftlichem Einfluss. Eine vollständige Entsalzung ist nicht sinnvoll, sondern lediglich nur eine Verminderung der monovalenten Ionen nötig. Hierfür werden selektive Membranen für den spezifischen Transport monovalenter Ionen entwickelt und in neu-konstruierten Modulen für den Einsatz als monovalent selektive membrangestützte Kapazitive Deionisation (mMCDI) in Labor- und Pilotanlagen verbaut. Mit den Anlagen werden Untersuchungen zur Identifikation optimierter Prozess- und Anlagenparameter in Abhängigkeit unterschiedlicher Rohwasserqualitäten und Aufbereitungsziele durchgeführt. Es wird geprüft, welche resultierenden Effekte und Herausforderungen bei der Grundwasseranreicherung und der Trinkwasseraufbereitung gegeben sind. Die entwickelte Technologie wird anhand einer ganzheitlichen ökonomisch-ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung internationalen Zielgrößen wie den Nachhaltigkeitszielen gegenübergestellt, um Handlungsempfehlungen abzuleiten.

ERGEBNISSE

Im Rahmen von innovatION wurden zwei Laborversuchsanlagen und eine Pilotanlage mit integrierter Mess- und Fernsteuerungstechnik in Zusammenarbeit von der DEUKUM GmbH und der elkoplan staiger GmbH gebaut. Mit diesen Anlagen können 2-100 L/h Brackwasser zu Trinkwasser bzw. für die künstliche Grundwasseranreicherung aufbereitet werden. In Kurzzeitexperimenten an der Technischen Universität Dresden wiesen die Ionenaustauschermembranen der FUMATECH BWT GmbH mit einer Polyamid-Beschichtung vom Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. die höchste selektive Permeabilität durch die Membran für monovalente Anionen und Kationen und somit die höchste Entfernung dieser Ionen in der mMCDI auf.

Mit diesen Membranen konnte mit der mMCDI ein bis zu 8-fach höherer Rückhalt an Nitrat und Chlorid im Vergleich zu Sulfat und ein bis zu dreifach höherer Rückhalt von Natrium im Vergleich zu Magnesium bei einem Energieverbrauch von max. 0,1 kWh/m³ bei einer Zulaufkonzentration von 0,3 g/L gemessen werden. Bei einer geringen Spannung (0,8 V) und einem hohen Durchfluss (5 L/h) konnte ein minimaler Energiebedarf von 2 Wh/g entfernten Nitrats gemessen werden. Anionenaustauschermembranen mit einer Neutralbeschichtung zeigten ebenfalls einen stabilen hohen selektiven Transport von Chlorid und Nitrat in Langzeitexperimenten mit salinem Grundwasser aus Langeoog.

In den Pilotversuchen am Standort Langeoog und in Nienburg zeigte sich aufgrund von Materialeinschränkungen eine geringere Selektivität im Vergleich zu den Laborversuchen. Durch die Strömungsmodellierung werden Ansätze geliefert, um die Energieeffizienz des Verfahrens weiter zu verbessern. Der Reinigungsbedarf mit Salzsäure und Natronlauge war in den Praxisversuchen sehr gering, wobei Calciumcarbonat und -hydroxidscaling an der Kathode irreversibel die Salzadsorptionskapazität verringern.

Ökonomisch sind Materialkosten für Elektroden und verwendete Membrane als auch Energieverbrauch

aus Sicht der Lebenszykluskosten neben dem erzielten Selektivitätsgrad entscheidend. Ökologische Hotspots ergeben sich z.B. in der Herstellung der Membranen durch Verwendung von Lösungsmitteln, dem Strommix in der Nutzung und der derzeit schwer abzuschätzenden Lebensdauer der Zellkomponenten. Analog führen angeführte Energieeinsparungen z.B. zur Reduktion von Treibhausgasemissionen der mMCDI.

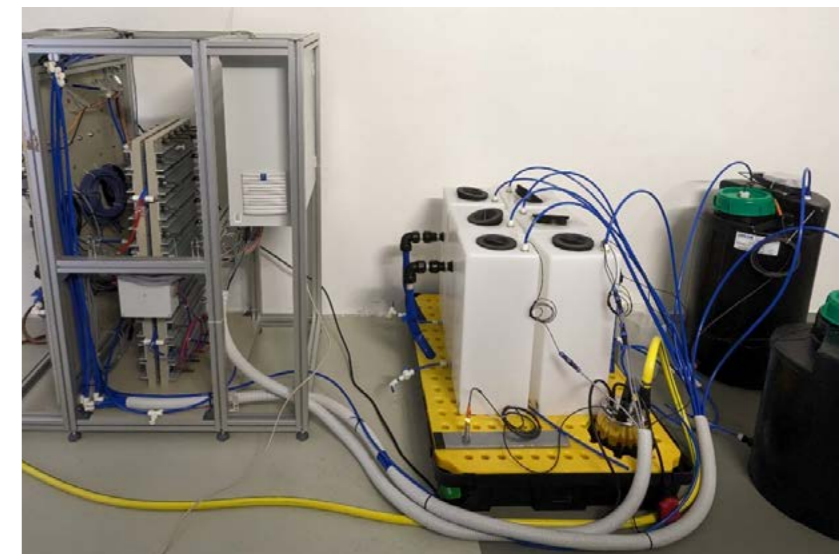
In den Säulenversuchen zur Grundwasseranreicherung der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg zeigte sich ein positives Verhalten des teilentsalzten Wassers durch eine geringere Mobilisierung von Schwermetallen und Kolloiden im Vergleich zu vollentsalztem Wasser. Zur Stabilisierung der Süßwasserlinse auf Langeoog eignet sich die Infiltration durch Sickerschlitze in das Graudünensediment.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Die mMCDI kann zukünftig dort eingesetzt werden, wo monovalente Ionen die Grenzwerte für Trinkwasser oder für die Bewässerung überschreiten oder wo eine Grundwasseranreicherung mit teilentsalztem Wasser notwendig ist.

Ein energetischer Vorteil ergibt sich gegenüber der konventionellen Entsalzung bei geringen salinen Konzentrationen < 1 g/L. Bei höherer Salinität wie für die Brackwasserzone auf Langeoog zeigte die mMCDI zwar einen höheren Energiebedarf als die Nanofiltration, jedoch ist der chemische Reinigungsbedarf trotz der hohen Huminsäurekonzentration sehr gering. Da kein Antiscalantmittel eingesetzt werden muss, ist die Verwertung des Konzentrats zur weiteren Aufkonzentrierung, Nutzung oder Beseitigung unproblematisch. Die praktische Anwendbarkeit der mMCDI wird bisher noch durch die materiellen Eigenschaften der Elektroden begrenzt. Für die Pilotanlagen sind ökonomische Daten unter Vorbehalt des Demonstrationscharakters berechnet und in der Abstimmung mit den beteiligten Wasserversorgern.

Es zeigen sich sowohl Kapital- als auch Betriebskosteneinsparungen gegenüber vergleichbarer, konventioneller Entsalzungstechnologien. Von praktischer Relevanz sind die ökologischen Vorteile der Einsparung von Treibhausgasemissionen in starker Korrelation mit sinkendem Energieverbrauch während des Betriebs der Anlage ohne nennenswerte Nachteile in der Herstellung. Ein ökonomischer und ökologischer Vergleich mit der Elektrodialyse ist zukünftig noch durchzuführen.



mMCDI Pilotanlage zur selektiven Entfernung von Natrium und Chlorid auf Langeoog beim Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbands (Quelle: David Schödel, Technische Universität Dresden)

Laufzeit

02/2021 bis 10/2024

Koordination

Prof. André Lerch,
Technische Universität Dresden, Professur für
Verfahrenstechnik in Hydrosystemen

Webseite

www.innovat-ion.de

Verbundprojektpartner

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

Sulfatabreicherung mittels Vorwärtsosmose und Hohlfasertauchmodulen

KURZBESCHREIBUNG

Das Forschungsprojekt SULFAMOS hatte zum Ziel, ein Verfahren auf der Basis der kontinuierlichen Vorwärtsosmose zu entwickeln, das Sulfat aus Abwässern, Oberflächen- und Grundwässern so abreichert, dass diese als Bewässerungs- und Trinkwasser nutzbar sind. Aus dem erzeugten Konzentrat sollte mittels chemischer Fällung Gips erzeugt werden, sodass das Sulfat als Rohstoff nutzbar gemacht werden kann. Üblicherweise wird bei der Vorwärtsosmose (VO) mittels Hohlfasermembranen das Feed durch das Membranlumen geführt, während die Zuglösung außerhalb der Membran anliegt.

Da mit zunehmender Sulfat-Anreicherung des Feeds die Möglichkeit der Membranbeschädigung (Verblockung, Störung der selektiven Schicht) durch ausgefallene Gipskristalle zunimmt, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes eine Celluloseacetat-Membran für den Einsatz der outside-in-Filtration mit außen anliegendem Feed entwickelt. Die Membranen wurden in verschiedenen Modulgeometrien verbaut und getestet, mit dem Ziel, die optimale Konfiguration für den Einsatz in der Vorwärtsosmose zu ermitteln. Zur Demonstration des Verfahrens

wurde eine Pilotanlage gebaut, die zur weitergehenden Wasserbehandlung an einer Grubenwasserreinigungsanlage eingesetzt wurde.

ERGEBNISSE

Im Projekt konnte erfolgreich gezeigt werden, dass die Vorwärtsosmose zur Aufbereitung sulfatreicher Wässer prinzipiell möglich ist. Vorversuche haben gezeigt, dass eine Anreicherung weit oberhalb der Löslichkeitsgrenze von Calciumsulfat möglich ist: erst bei Erreichen einer Sulfatkonzentration von knapp 8 g/L kam der Membranprozess zum Erliegen. Die Anreicherung von Sulfat bis zu 4,5 g/L im Konzentrat wurde als optimal ermittelt, da bis zu dieser Konzentration ein stabiler Flux zu verzeichnen war und Verblockungen der VO-Membran nicht auftraten. Verminderungen der Performance der VO bei höheren Konzentrationen wurden insbesondere durch Absinken der Fluxrate festgestellt. Um evtl. Ablagerungen auf der Membran vorzubeugen, war bereits ein einfaches Rückspülen mit Leitungswasser ausreichend. Sulfat konnte bei Verweilzeiten von max. 6 h bis zur Grenze der Gipslöslichkeit effektiv aus dem Konzentrat gefällt werden. Im Anschluss an die Vorwärtsosmose wurde der Konzen-



trat-Teilstrom der Fällungsstufe zugeführt und Sulfat als Gips ausgefällt. Die baustofftechnisch relevanten Eigenschaften des Fällungsproduktes wurden im Rahmen des Projektes untersucht und es konnte nachgewiesen werden, dass es als Gips in der Baustoffindustrie verwertet und als nachhaltiger Ersatz für den bisher in der Rauchgaswäsche von Braunkohlenkraftwerken anfallenden REA-Gips genutzt werden kann. Entscheidend dabei ist, dass der Prozess der Vorwärtsosmose so geführt wird, dass der Rückfluss von Ionen aus der Zuglösung auf die Feedseite möglichst niedrig gehalten wird, um so Verunreinigungen des Konzentrates und letztendlich dem anschließend daraus erzeugten Fällungsprodukt zu vermeiden. Der Einsatz der Pilotanlage im Feldversuch zeigte deutlich, dass insbesondere die Temperatur entscheidend für die Effizienz des Verfahrens und die Qualität des erzeugten Konzentrates ist. Bei Feedtemperaturen < 10 °C kam der Permeatflux fast zum Erliegen. Die Ergebnisse des Verbundvorhabens haben das Potenzial der Technologie aufgezeigt, wenngleich für die Etablierung des Verfahrens in der Praxis noch weitere, tiefergehende Untersuchungen zur verfahrenstechnischen Optimierung erforderlich sind. Die ursprünglich vorgesehene Aufbereitung der Zuglösung zu Trink- bzw. Brauchwasser konnte im Projektverlauf noch nicht umgesetzt werden.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Nach wie vor existieren keine Alternativen, die den Wegfall des REA-Gipses nach dem Braunkohlenausstieg kompensieren können. Aktuelle Schätzungen zufolge bedeutet das eine Verringerung des aus Deutschland stammenden Gipses um 40 %. Dem gegenüber steht der steigende Bedarf an dem Rohstoff, u.a. durch den weiteren Ausbau von Windkraftanlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Neben dem sich zukünftig verstärkenden Versorgungsproblem an Gips besteht weiterhin das Problem des sinkenden Wasserdargebots. Hierfür sind innovative Ansätze zur Behandlung sulfatbelasteter Roh- und Prozesswässer erforderlich, mit denen sowohl bislang ungenutzte Wasserquellen erschlossen werden können, als auch Prozesskreisläufe geschlossen werden können.

Die Innovation des im SULFAMOS-Projekt verfolgten Ansatzes besteht in der Verminderung des Sulfateintrages in Grund- und Oberflächengewässer bei gleichzeitiger Gewinnung des Werkstoffes Gips. Zusätzlich kann Trink- und Brauchwasser produziert werden.

Die kombinierte Anwendung von Vorwärtsosmose mit kontinuierlichem Zuglösungsrecycling und Konzentratbehandlung mittels Fällung kann so einen wertvollen Bei-



Hergestellter Gips aus der Pilotanlage (Quelle: G.E.O.S.)

trag zur Lösung beider Probleme beitragen und eine nachhaltige Bewirtschaftung von Ressourcen ermöglichen.

Neben der Anwendung des Verfahrens als weitere Reinigungsstufe zur Sulfatabtrennung in Grubenwasserbehandlungsanlagen kann das Verfahren generell zur Behandlung sulfatbelasteter, nicht einleitfähiger Industrie- und Produktionsabwässer eingesetzt werden. Ein weiteres Anwendungsfeld ist der Einsatz zur Trinkwassererzeugung aus Grundwasservorkommen, die gegen bedingt Sulfatkonzentrationen oberhalb des nach Trinkwasserverordnung festgesetzten Grenzwertes von 250 mg/L besitzen.



Installierte SULFAMOS-Pilotanlage am Feldstandort einer Wasserbehandlungsanlage. Rechts: Modul zur vorwärtsosmotischen Sulfatanreicherung, links Modul zur Sulfatabtrennung mittels Fällung als Gips (Quelle: G.E.O.S.)

Laufzeit

05/2021 bis 04/2024

Koordination

Dr. Roland Mayer,
G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke

Webseite

www.sulfamos.de

Verbundprojektpartner

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

Wasserrückgewinnung aus Haldensickerwässern auf der Basis von Membrandestillationsprozessen und Kopplung mit Kristallisation



KURZBESCHREIBUNG

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. 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 eine Kombination von Vakuum-Membrandestillation (VMD) zum Wasserentzug mit anschließender Kristallisation als Alternative zur konventionellen Eindampfungstechnik betrachtet. Aus der Kombination dieser beiden Verfahren erhof-

fen sich die Projektpartner neben der Gewinnung von Frischwasser die Erzeugung von konzentrierten Salzlösungen oder/und Salzen, welche entweder entsorgt, als Zwischenprodukte weiterverarbeitet oder als Produkte gewinnbringend verkauft werden können.

ERGEBNISSE

Bei isothermem Betrieb von Membranmodul und Kristallisation wird das VMD Modul bei hoher Durchströmung betrieben. Ziel ist es das Einsetzen der Kristallisation, aufgrund der geringen Verweilzeit im MD-Modul, erst im Kristallisator erfolgen zu lassen. Versuche mit einem Plattenmodulaufbau mit Polymermembran zeigten gute Ergebnisse mit untersättigter Lösung. Knapp unterhalb der Sättigungskonzentration wurde allerdings ein schnell einsetzendes NaCl-Scaling auf der Polymermembran beobachtet, welches den Transmembranfluss von über 1 kg/(m²h) auf < 0.3 kg/(m²h) einbrechen ließ. Die Membran konnte nur durch intensives Spülen mit Frischwasser regeneriert werden. Weitere Versuche unter Einbezug einer Kühlungskristallisation bei 25 °C und anschließender VMD ermöglichten zwar die Ermittlung eines technisch sinnvollen Betriebspunkts, bei dem der Kristallisationsprozess wie gewünscht erst im Kristal-

lisationsreaktor eintritt, allerdings ist dieser durch die nötige Energie für Kühl- und Heizvorgänge ökonomisch nicht zu halten.

Am IKTS werden anorganische hydrophobe Membranen für die Membrandestillation entwickelt und erprobt. Keramische Rohrmembranen wurden durch unterschiedliche Methoden erfolgreich hydrophobiert. Bei Stabilitätstests in chemisch aggressiver Umgebung (hohe und geringe pH-Werte) und bei Membranversuchen mit abrasiven Inhaltsstoffen bewiesen die Membranen ihre gute Stabilität. In VMD-Versuchen zeigten die keramischen Membranen in strömungstechnisch günstiger Rohrgeometrie einen stabilen Betrieb mit gesättigter Salzlösung. Es wurde ein Fluss von ca. 5 kg/(m²h) bei hoher Permeatqualität (< 10 µS/cm) erreicht. Neben Membranen in Einkanalgeometrie wurden auch Mehrkanalmembranen synthetisiert und erfolgreich getestet.

Durch die Möglichkeit auch gesättigte Salzlösungen, welche bereits Kristallisationskeime enthalten, als Feed-Lösung zu benutzen, entfällt der bei Polymermembranen zur Erzeugung der Untersättigung notwendige Heiz- und Kühlbedarf des Verfahrens größtenteils und es wird ein weitgehend isothermer Betrieb möglich, in dem die zugeführte Wärmeenergie hauptsächlich für die Wasserverdampfung genutzt werden kann. Daher lässt sich ein energetisch der Verdampfungskristallisation gleichwertiges Verfahren erwarten.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Für die praxisnahe Erprobung der Mehrkanalgeometrien der Keramikmembranen wird aktuell eine Technikumsversuchsanlage entwickelt und gebaut. In dieser Anlage ist die Erprobung von keramischen Membranen mit einer Länge von 1,2 m möglich. Bis zum Ende des Jahres sind Versuche mit realen Haldensickerwässern geplant, um weitere Erkenntnisse über die Verfahrenskombination zu erhalten.

Sollten die Versuche ein positives Ergebnis bringen, stellt dies ein Verfahren dar, dass von energetischer Seite der konventionellen technischen Verdampfung entspricht. Die Versuchsergebnisse und im Projekt gewonnenen Erkenntnisse können dann als Basis dienen, um das VMD-Kristallisations-Verfahren weiterzuentwickeln. Ein Verfahrenskonzept zur Energierückgewinnung befindet sich bereits in der Entwicklung. Es wird erwartet, dass hier ähnliche Effizienzen wie für die etablierten Energierückgewinnungskonzepte der technischen Eindampfung erreichbar sind.



Keramische 7-Kanal- und 19-Kanal-Rohre für die Membrandestillation (Quelle: Fraunhofer IKTS)

Ob sich das Verfahren im Vergleich zur technischen Eindampfung als günstiger bezüglich der Investitionskosten erweist, hängt maßgeblich von den zu erwartenden Kosten für die verwendeten Membranen und deren Langlebigkeit ab. Da diese sich allerdings noch in der Entwicklung befinden, kann diesbezüglich noch nicht abschließend geurteilt werden.

Insgesamt besteht die Aussicht auf ein kompaktes Alternativverfahren für die Verdampfungskristallisation, dass auch für andere Anwendungen im Bereich der Kristallisation von Salzen interessant ist. Gerade in Prozessen, in denen eine Aufkonzentrierung bei niedrigen Dampfdrücken erforderlich ist, könnte sich ein solches Destillationssystem als interessante Lösung für eine technische Eindampfung erweisen.



Membranseitiger Anlagenteil zur Erprobung der Verfahrenskombination aus keramischer Membrandestillation und Kristallisation (Quelle: Fraunhofer IKTS)

Laufzeit

02/2021 bis 12/2024

Koordination

Bernhard Neupert
K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen

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 (assoziiertes Partner)

Wiederverwendung von Filterspülwässern aus der Grundwasseraufbereitung zur Sicherung der Trinkwasserversorgung



KURZBESCHREIBUNG

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 zwischen 1% und 4% Filterspülwasser an. Diese eisen- und manganhaltigen Spülwässer werden derzeit i.d.R. nach Absetzen der Feststoffe, siehe Abbildung unten, in den Vorfluter eingeleitet und gehen damit für die Trinkwasserversorgung verloren. Zur Wiederverwendung dieser Wässer werden in FITWAS verschiedene Ultrafiltrations-Konzepte untersucht, ausgehend von Laborversuchen bis hin zu Praxistests an vier Wasserwerksstandorten bei HAMBURG WASSER (HW), dem Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) und dem Umweltbundesamt. Parallel werden Verwertungsoptionen für den Filterschlamm evaluiert und getestet.

ERGEBNISSE

In umfangreichen Laborversuchen wurden verschiedene Verfahrensvarianten im Dead-End-Betrieb untersucht. Diese unterschieden sich neben dem Membranmaterial (Keramik und Polymer) hauptsächlich in der Modularität (Platte und Hohlfaser), der Filtrationsrichtung (Inside-out und Outside-in) und der Porengröße.

Besonders mit Keramikmembranen aus Siliziumcarbid (SiC) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) konnten sehr hohe Filtratfluxe erreicht werden. Die Untersuchung einer vorgeschalteten Sedimentation ergab, dass dadurch das

irreversible Fouling der Membran verstärkt wird. Entsprechend wurden die Pilotversuche mit homogenisiertem Filterspülwasser durchgeführt.

Pilotversuche im HW Wasserwerk

Das Filterspülwasser (Feed) weist Trübungen um 700 NTU und Eisengehalte um 110 mg/L (Fe_{gesamt}) auf. Als Ergebnis der Pilotversuche mit einem industriellen Membranmodul mit polymeren Hohlfasermembranen im out-in Unterdruckbetrieb wurde ein stabiler Filtrationsbetrieb mit folgenden Parametern erreicht:

- Filtratflux für Grundlast 40 L/m²h, in Spitzenlast 60 L/m²h
- 30 min Rückspülintervall, 10 h Entleerungsintervall
- Chemische Reinigung mit NaClO und H₂SO₄ als Chemical Enhanced Backwash (CEB) alle drei Tage
- zyklische Membranbelüftung (nur während Rückspülung und Entleerung)

In den Pilotversuchen mit keramischen Membranen (SiC) im gleichen Wasserwerk, siehe Abbildung rechts, wurde zuerst die hydraulische Reinigung untersucht. Dabei ist der Einsatz eines Backpulses, einer sehr kurzen Druckbeaufschlagung auf der Filtratseite mit ca. 2 bar für 1-2 Sekunden, wegen des geringen Wassereinsatzes gegenüber der konventionellen Rückspülung vorteilhaft. Ein Filtratflux von 150 L/m²h wurde als geeignet für einen dauerhaften stabilen Betrieb identifiziert. Die Filtratqualität ist bei beiden Membranarten sehr gut.



Absetzbecken für Filterspülwasser, Wasser nach Sedimentation abgezogen (Quelle: HAMBURG WASSER)

Pilotversuche im OOWV Wasserwerk

Parallel wurden Pilotversuche mit zwei druckgetriebenen Hohlfaser-Polymermembranen (Inside-out) beim OOWV durchgeführt. Das Filterspülwasser weist an diesem Standort eine Eisenkonzentration von ~ 220 mg/L auf. Die Parameter für stabilen Betrieb sind:

- UF 1 (1,5 mm Kapillarrinnendurchmesser)
 - Filtrationsdauer: 37 min
 - Filtratflux: 48 L/m²h
 - Reinigungsintervall: 1 x CEB/Tag
- UF 2 (5,2 mm Kapillarrinnendurchmesser)
 - Filtrationsdauer: 30 min
 - Filtratflux: 111 L/m²h
 - Reinigungsintervall: 2 x CEB/Tag

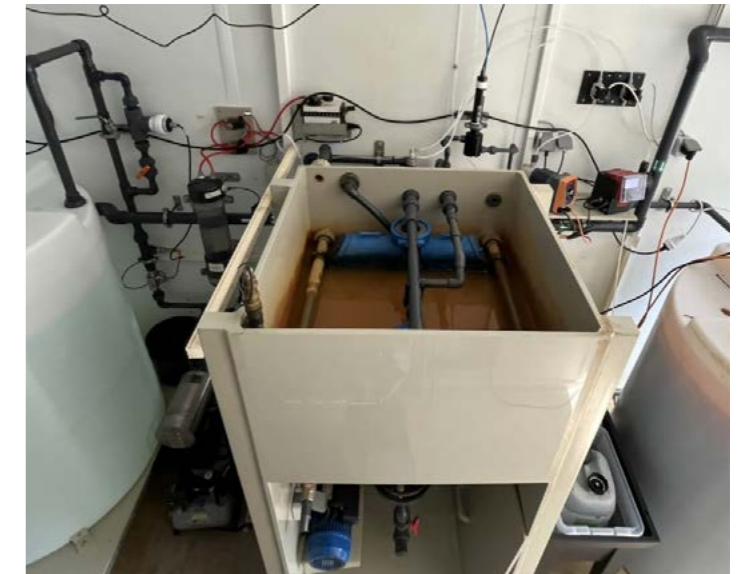
Begleitend zur Prozessoptimierung wurden regelmäßig Beprobungen zur Überwachung der Funktionalität durchgeführt. Insgesamt zeigen die Ergebnisse einen stabilen Betrieb mit einer konstant sehr guten Filtratqualität hinsichtlich hygienischer und wasserchemischer Parameter. Im Wasserwerk des OOWV wurden ebenfalls Versuche mit der getauchten Keramikmembran durchgeführt. Mit diesem Filterspülwasser konnte mit der Keramikmembran nur ein wesentlich geringerer Filtratflux (60 L/m²h) als am HW Standort realisiert werden.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Die Wiederverwendung von Filterspülwässern zur Trinkwassererzeugung mittels poröser Membranverfahren ist unter den gewählten Rahmenbedingungen technisch gut umsetzbar. Dabei ist die Qualität des Feed (Feststoffbelastung, Partikelgrößenverteilung, etc.) für die resultierende Leistung des Membranverfahrens entscheidend. Im FITWAS-Projekt werden entsprechende Empfehlungen erarbeitet. Für eine großtechnische Umsetzung wird die Pilotierung am jeweiligen Standort empfohlen.

In Bezug auf die Verfahrensvarianten der Membranfiltration ist für diese Anwendung auf Basis der Praxistests die out-in-Filtration mit getauchten Membranen zu bevorzugen. Es werden eine sehr gute Filtratqualität und hohe Ausbeuten erzielt. Die keramischen Membranen, die bisher für diese Anwendung nicht eingesetzt werden, sind eine gute Alternative zu den etablierten polymeren Membranen. Sie bieten vergleichbare Filtratqualität, können i.d.R. mit höheren Filtratfluxen betrieben werden und führen so trotz höherer Membrankosten zu vergleichbaren Behandlungskosten.

Für die Verfahren im Unterdruckbetrieb wurde ein Energiebedarf für die Ultrafiltration von 0,06 kWh/m³ (Polymermembran) bzw. 0,07 kWh/m³ (Keramikmembran)



Pilotanlage mit keramischem Membranmodul (Flachmembranen, 6 m² Membranfläche) in Filtrationstank (mitte), Feedvorlage mit Filterspülwasser (rechts) und Filtratstank (links) (Quelle: DVGW-TUHH und CERAFILTEC)

ermittelt (ohne Filtratrückführung in den Rohwasserstrom und ohne Berücksichtigung des Energiebedarfs für die Homogenisierung des Filterspülwassers). Im Vergleich dazu liegt der Energiebedarf für die Grundwasserförderung bei HW zwischen 0,1 – 0,3 kWh/m³, d.h. die Aufbereitung ist neben der höheren Ressourcenausbeute auch vom Energiebedarf her konkurrenzfähig.

HW hat mit der Prüfung der Ergebnisverwertung für die Wasserwerksstandorte begonnen. Anhand der gesammelten Erkenntnisse prüft der OOWV ebenfalls eine großtechnische Realisierung an diversen Standorten im eigenen Versorgungsgebiet.

Laufzeit

02/2021 bis 09/2024

Koordination

Dr. Barbara Wendler / Prof. Mathias Ernst
DVGW-Forschungsstelle TUHH, Hamburg

Webseite

www.tuhh.de/www/fitwas

Verbundprojektpartner

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

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

KURZBESCHREIBUNG

Die B.Braun Avitum Saxonia GmbH produziert in den Werken Berggießhübel und Wilsdruff Dialysemembranen für die Nierenersatztherapie. Die Membranen werden im Nassspinnverfahren unter Nutzung des organischen Lösungsmittels N,N-Dimethylacetamid (DMAc) hergestellt. DMAc wird im Herstellungsprozess größtenteils durch Destillation zurückgewonnen und im Kreislauf geführt. Es entstehen allerdings lösungsmittelhaltige Reste, die abhängig von ihrer Konzentration extern behandelt oder thermisch entsorgt werden. Da diese Entsorgungswege energie- und kostenintensiv sind, sollte die zu entsorgende Menge begrenzt werden. Ziel war daher die Entwicklung eines Verfahrens, mit dem verdünnte lösungsmittelhaltige Abfälle vor-Ort biologisch aufbereitet und nach einer membranbasierten weitergehenden Behandlung einer innerbetrieblichen Zweitnutzung zugeführt werden können.

Zur Minimierung des damit verbundenen Energiebedarfs standen energiesparende Lösungen im Vordergrund, insbesondere zweistufige Vertikalfilter als naturnahes Verfahren und das im Sinne der Industrieabwasserbehandlung bewährte MBBR-Verfahren. Parallel dazu bestand die Frage, ob konzentrierte lösungsmittelhaltige Abfälle auch zur Energiegewinnung durch anaerobe Behandlung geeignet sind.

ERGEBNISSE

Neben DMAc wurde als Vergleichssubstanz das ebenfalls bei der Herstellung von Membranen genutzte N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP) untersucht. Beide Lösungsmittel sind auf aeroben Weg sowohl mit Vertikalfiltern als auch mit MBBR-Verfahren abbaubar. Da der Abbau über verschiedene Zwischenprodukte erfolgt, ist eine Einzelstoffanalytik für die Bewertung des biologischen Abbaus allein nicht geeignet. Die erreichten DOC-Wirkungsgrade lagen bei den MBBR-Untersuchungen bei 95 bis 96 %. Bei den Vertikalfiltern wurden 98 – 99 % des zugeführten DOC eliminiert.

Unter anaeroben Bedingungen ist DMAc gut abbaubar. In Batchtests wurde 99 % des gelösten DOC abgebaut, in kontinuierlichen Versuchen rd. 89 %. Im Gegensatz dazu ist NMP schwer anaerob abbaubar. In Batchtests konnte zwar 95 % des DOC eliminiert werden, allerdings dauerte es bei vergleichbarer Belastung wesentlich länger bis der NMP-Abbau einsetzte, da zunächst leichter verfügbares Substrat abgebaut wurde.

Zur Bewertung der Toxizität der Abbauprodukte wurden ökotoxikologische Untersuchungen durchgeführt. Dabei hat sich das beim DMAc-Abbau entstehende primäre Zwischenprodukt Dimethylamin (DMA) als deutlich kritischer erwiesen als die Ausgangssubstanz, obwohl



MBBR-Pilotanlage zum Abbau von DMAc (Quelle: Thomas Schalk, TU Dresden, Professur für Siedlungswasserwirtschaft)



Pilotanlage zum Abbau von DMAc. Im Vordergrund: MBBR-Container, im Hintergrund: Vertikalfilteranlage (Quelle: Christian Koch, TU Dresden, Professur für Siedlungswasserwirtschaft)

DMAc in Wassergefährdungsklasse 2, DMA in Wassergefährdungsklasse 1 eingestuft ist. Unabhängig davon wies das gereinigte Abwasser kein ökotoxikologisches Potenzial auf.

Die im Rahmen der Verfahrensentwicklung durchgeführten Pilotversuche zeigten, dass die untersuchte Verfahrenskombination aus MBBR und Vertikalfilter grundsätzlich geeignet ist, um die gestellten Anforderungen zu erfüllen, aber auch, dass die Kombination beider Verfahren nicht erforderlich ist. Durch eine angepasste Verfahrensführung lassen sich mit den Einzelverfahren bei geringerem Aufwand gleichwertige Ergebnisse erzielen. Die für die Wasserwiederverwendung erforderliche weitergehende Behandlung erfolgt über trocken aufgestellte Membranmodule.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Für das Werk Berggießhübel wird die Errichtung einer Vertikalfilteranlage in Betracht gezogen. Zunächst soll nur die biologische Behandlungsstufe realisiert werden, um das Langzeitverhalten der Anlage bewerten zu können. Da Dialysatoren Medizinprodukte sind, ist eine direkte Rückführung des gereinigten Abwassers in die Membranproduktion momentan ausgeschlossen. Allerdings ist die Aufbereitung für Anwendungen mit geringeren Qualitätsanforderungen möglich (Dampferzeugung, Sanitärwasser).

Die biologische Behandlung von verdünnten DMAc-Gemischen (1 m³/d) führt im Werk Berggießhübel zur Senkung der externen Entsorgungskosten (gegenwärtig 150 €/m³). Dies hat zwar nur einen geringen Effekt auf den Frischwasserbedarf (67 m³/d), führt aber bei Realisierung einer Vertikalfilteranlage zur Verringerung des Elektroenergiebedarfs um 26,4 MWh/a durch Stilllegung der vorhandenen Abwasservorbehandlungsanlage. Durch die Einbindung von Sanitärabwasser steigt das Potenzial für

die Wasserwiederverwendung, gleichzeitig sinkt der Aufwand für die Dosierung von Mikro- und Makronährstoffen für den biologischen Abbau. Die bisher thermisch entsorgten DMAc-Konzentrate können in einer anaeroben Schlammbehandlungsanlage einer Kläranlage mitbehandelt werden. Voraussetzungen sind die Entwicklung einer technischen Lösung für die sichere Einspeisung in die Faulung und der innerbetriebliche Rückhalt von kunststoffhaltigen Abfällen. Das Energiepotenzial der Konzentrate liegt bei insgesamt 335 MWh/a. Abhängig vom erreichten Wirkungsgrad bei der energetischen Biogasverwertung können daraus 111 – 134 MWh/a an elektrischer Energie erzeugt werden.

Laufzeit

04/2021 bis 10/2024

Koordination

Prof. Peter Krebs
Technische Universität Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft

Webseite

www.medzerosolvent.de

Verbundprojektpartner

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

Recycling von Wäschereiabwasser zur Wiederverwendung des Abwassers mittels keramischer Nanofiltration



KURZBESCHREIBUNG

In der 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 war die Senkung des Frischwasserbedarfs in Textilwäschereien durch systematische Abwasseraufbereitung. Bei diesem Entwicklungsvorhaben handelte es sich um eine Verfahrenskette, welche bei einem der Projektpartner beispielhaft umgesetzt werden sollte. Im Bereich der Wäschereiabwässer standen damit Matten- und Handtuchabwässer zur Behandlung zur Verfügung.

Im ersten Schritt bedurfte es zunächst der Entwicklung neuartiger keramischer Membranträger und Membranen sowie der Entwicklung von auf Advanced-Oxidation-Process-Verfahren (AOP) basierenden Behandlungsmethoden für die anfallenden Abwässer und Konzentrate aus

der Membranfiltration. Zusätzlich war die begleitende Weiterentwicklung eines Onlinetools zur spezifischen Betrachtung individueller Prozessketten geplant.

ERGEBNISSE

Im Bereich der Träger- bzw. Membranentwicklung wurden innerhalb des Projektes sowohl tubulare Elemente als auch Rotationscheiben (RS) weiterentwickelt (IKTS + Rauschert). Im Bereich der tubularen Elemente konnten, ausgehend von ca. 1,3 m² Membranfläche pro Element, diverse Supporte bis ca. 6 m² Membranfläche entwickelt werden. Auf diesen wurden in Versuchsreihen aktive Schichten im Bereich der Mikro-, Ultra- und Nanofiltration (NF) synthetisiert. Qualitativ gleichwertige NF-Membranen konnten bis zu Supportgeometrien mit einer Membranfläche von ca. 2,9 m² realisiert werden.

Im Bereich der RS wurden, ergänzend zu den Scheiben mit einem Außendurchmesser (DA) von 152 mm, auch Scheiben mit einem DA von 184 mm, 280 mm, 312 mm

und 374 mm entwickelt. Auch auf diesen Geometrien wurden aktive Schichten im Bereich der Mikro-, Ultra- und Nanofiltration synthetisiert. Schwerpunkt der Membransynthese waren Scheiben mit einem DA von 152 mm bzw. 312 mm. Letztere konnten sicher bis zu NF-Layern beschichtet werden.

Mit der im Projekt entwickelten Versuchsanlage (ESCH) für tubulare Elemente, welche auf dem Zwei-Pumpen-Prinzip aufbaut, können zuverlässig Pilotierungsversuche bei Temperaturen bis zu 95°C und Drücken bis 20 bar durchgeführt werden. Ergänzend wurde in Kooperation mit Rauschert ein neuartiges RS-Modul entwickelt (für Scheibennendurchmesser von 91 mm), welches den Prozessbedingungen der Pilotanlage angepasst ist. Das ZAE hat Daten des Pilotierungsbetriebes, sowie Daten aus Laborversuchen der Projektpartner ausgewertet, um diese zur Bewertung der Verfahrenseffizienz und zur Modellbildung „Gesamtprozess Wäscherei“ für das geplante Webtool einzusetzen.

Die Hochschule Hof (HH) beschäftigte sich im Projekt mit der hydrodynamischen Kavitation (HK), einer Methode aus dem Spektrum der AOP-Verfahren. Diese stellen mögliche chemische Behandlungsverfahren für hartnäckige, gelöste organische Verbindungen dar. Diese Verfahren bergen das Potential der vollständigen Mineralisierung, sind jedoch für hohen Betriebskosten bekannt. Die Kombination mit nachgeschalteten biologischen Verfahren, wie der anaeroben Vergärung, mit dem Ziel der Erzeugung von Biogas, soll diese Kosten reduzieren helfen. Es zeigte sich, dass eine Vorbehandlung der Mattenabwässer mit HK zu einer signifikanten Steigerung der Biogasproduktion von 69 % nach 2 Stunden bzw. von 13 % nach 1 Stunde Behandlungszeit führte.

Die ökonomische Verfahrensbewertung ist noch nicht abgeschlossen. Zur Prozessstabilisierung musste innerhalb des Probetriebes bei CHMS einiges in Bezug zur Vorreinigung untersucht und angepasst werden. Aktuelle Rechnungen kommen auf eine Einsparung von 1,52 €/m³ bei Mattenabwasser bzw. 3,23 €/m³ bei Behandlung und Wiederverwendung von blauem Handtuchabwasser. Mögliche weitere Kosteneinsparungen bei z.B. Nutzung von Abwasser mit erhöhter Temperatur, ist in die Berechnung noch nicht eingeflossen. Aktuell kann das gereinigte Handtuchabwasser zur Vorwäsche der Matten verwendet werden.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Der Deutscher Textilreinigungs-Verband e.V. schreibt, dass es in Deutschland im Jahr 2021 ca. 3600 Fachbe-

triebe gab. Allein die Möglichkeit sich nur innerhalb der Textilreinigungsbranche mit den im Projekt entwickelten Lösungen zu bewegen, zeigt ein enormes Potential der Projektergebnisse auf. Um diese Perspektive zu nutzen, hat das Projektkonsortium am 5. Oktober 2023 zu einem Stakeholder-Workshop nach Rödental eingeladen. Anhand einer Pilotanlage wurde die technische Umsetzung des Forschungsprojektes bei CHMS demonstriert (siehe Abbildung).

Im Onlineauftritt des bei Holzmann Medien GmbH & Co. KG erscheinenden Fachmagazins „R+WTextilservice“ ist zu diesem Workshop ein entsprechender Beitrag erschienen (<https://www.rw-textilservice.de/textilkreislauf-mit-abwasser-356586/>).

Neben der Übertragung der Prozesskette auf weitere Betriebe der Branche, rechnet das Projektkonsortium auch mit Nachfrage nach tubularen Elementen mit Membranflächen größer 1,3 m² aufgrund sinkender flächenbezogener Herstellungskosten. Ebenso besteht zum aktuellen Zeitpunkt ein gesteigertes Interesse an den neuartigen RS-Filtern. Die Möglichkeit RS mit einer NF-Beschichtung zu nutzen, war in dem Maße bisher nicht möglich. Es wird mit neuen Applikationsmöglichkeiten gerechnet.



Vor-Ort-Versuche bei CHMS mit Mattenabwasser (Quelle: ESCH)

Laufzeit

02/2021 bis 07/2024

Koordination

Sebastian Auer
Kompetenznetzwerk Wasser & Energie, Hof

Webseite

www.rewamem.de

Verbundprojektpartner

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

Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie



KURZBESCHREIBUNG

Im Projekt NERA wird ein neues elektrochemisches Verfahren zur Reinigung von metallhaltigen Abwässern entwickelt. Dieses Verfahren ermöglicht eine nahezu chemikalienfreie Entfernung von Schwermetallen, wodurch eine effizientere Rückgewinnung von Prozesswasser erreicht wird, da eine Aufsalzung des Abwassers bei der Aufbereitung vermieden wird. Zudem sollen Inhaltsstoffe wie Phosphate und Schwermetalle aus dem Abwasser zurückgewonnen und wieder in den Wirtschaftskreislauf eingeführt werden.

Für die Entwicklung des neuen Aufbereitungsverfahrens sind auch Fortschritte in der Material- und Reaktortechnologie notwendig. Dazu gehören insbesondere neuartige Elektrodenmaterialien, die eine ablagerungsfreie Fällung von Abwasserinhaltsstoffen ermöglichen sowie ein wartungsarmes Reaktorkonzept mit minimalem Stromverbrauch. Letzterer soll aus erneuerbaren Energiequellen stammen, um eine nahezu klimaneutrale Abwasser- aufbereitung zu ermöglichen.

Das entwickelte Verfahren soll exemplarisch mit Abwasser aus Lackierprozessen der Automobilindustrie im Pilotmaßstab getestet und bewertet werden. Dabei wird es in ein standortbezogenes Wasserwirtschaftskonzept integriert. Dieses Konzept sieht einerseits die Aufbereitung verschiedener Abwasserströme zu Rohwasser vor, andererseits die Bestimmung der Anforderungen zur Rückgewinnung von Prozesswasser aus aufbereiteten Abwässern.

ERGEBNISSE

Ein Graphit-Polymer-Compound wurde zu einem geeigneten Kathodenmaterial für die ablagerungsfreie Fällung von Schwermetallen und Phosphaten weiterentwickelt. Die Zusammensetzung wurde entsprechend den Anforderungen an elektrische Leitfähigkeit, Steifigkeit, Nicht-Haftung der abgeschiedenen Metallverbindungen, Bruchfestigkeit und Materialbedarf optimiert. Es wurden mit ausgewählten Materialien für Gegenelektrode und Membranen optimierte Reaktor- und Prozessparameter wie Elektrodenabstand, Strömungsprofil, Stromdichte,

pH-Wert und die Wechselwirkungen zwischen Anoden- und Kathodenkammer an einer Technikumsanlage erarbeitet.

Es zeigte sich, dass Schwermetalle wie Zink, Nickel und Mangan von insgesamt etwa 50 mg/L (im Original-Abwasser) auf jeweils unter 0,5 mg/L ohne den Einsatz von Fällungsmitteln und anderen chemischen Hilfsstoffen entfernt werden konnten. Weitere Untersuchungen zur Optimierung der Prozessparameter führten zu einer Reduktion des Stromverbrauchs auf etwa 1 bis 1,5 kWh/m³ Abwasser. Für Abwässer aus Phosphatieranlagen wurde ein mehrstufiges Verfahren mit optimierter Verschaltung unterschiedlich betriebener Reaktoren entwickelt. Dadurch können Schwermetalle und schwermetallarmes Phosphat getrennt zurückgewonnen werden, wobei die Grenzwerte nach Anhang 40 AbwV eingehalten werden. Die Rückgewinnung von Prozesswasser aus dem aufbereiteten Abwasser wurde durch ein- und zweistufige Umkehrosiose untersucht. Vergleichsversuche mit dem aktuell verwendeten Rohwasser aus der Okertalsperre zeigten, dass bei gleicher Permeatqualität über 90 % des chemikalienfrei aufbereiteten Abwassers zurückgewonnen werden können. Weitere Optimierungs- oder Wassermanagement-Maßnahmen zur optimalen Entfernung von organischen Stoffen sind allerdings erforderlich.

Für die Demonstrationsanlage wurde ein neues Reaktorkonzept mit rotierenden, auf einer Welle befestigten Kathoden und dazwischen angeordneten Anodenkammern entwickelt und anhand von Detailkonstruktionen aufgebaut. Zwei kontinuierlich betriebene Proof-of-Concept-Pilotanlagen wurden aufgebaut, um die Funktionsfähigkeit des neuen Reaktorsystems vor Beginn des Demonstrationsversuches zu bestätigen.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Für den ausgewählten Pilotstandort in der Automobilindustrie ergibt sich ein Wassereinsparpotenzial von etwa 50.000 m³ pro Jahr. Viele weitere Standorte dieses Herstellers weisen ähnliche Bedingungen auf, sodass die Anwendung des Verfahrens einen bedeutenden Beitrag zur regionalen Entlastung der Wasserressourcen leisten kann.

Das entwickelte Verfahren zur chemikalienfreien Hydroxidfällung von Schwermetallen ist auf verschiedene Industriezweige übertragbar, in denen Abwässer aus der Metalloberflächenbehandlung durch Konversionsverfahren anfallen (vgl. Merkblatt DWA-M 358). Zudem eignet es sich auch für die Entkalkung und Enthärtung von Wässern jeglicher Art, da Härtebildner wie Calcium



Im Rahmen des Projektes entwickelte Proof-of-Concept-Pilotanlage“ (Quelle: CUTEC)

und Magnesium ebenfalls chemikalienfrei als Hydroxide gefällt werden können. Eine Aufbereitung von Konzentraten aus der Umkehrosiose ist ebenfalls vielversprechend, da das Scaling minimiert und die Wasserausbeute erhöht werden kann.

Zusammenfassend sind Anwendungen in unterschiedlichen Industriezweigen und in der Brauchwasser- und ggfs. Trinkwasseraufbereitung interessant, insbesondere angesichts des relativ geringen spezifischen Strombedarfs.

Laufzeit

02/2021 bis 10/2024

Koordination

Prof. Ing. Michael Sievers
CUTEC Forschungszentrum der TU Clausthal

Webseite

www.projekt-nera.de

Verbundprojektspartner

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



Anlage VW: Aktuelle Abwasserreinigungsanlage im VW-Werk in Braunschweig (Quelle: VW-Werk Braunschweig)

Integrative Anwendung von Innovationen und digitales Kühlleistungsmanagement zur Reduzierung des Wasserbedarfs in der Stahlproduktion



KURZBESCHREIBUNG

Stahlindustrie ohne Wasser ist undenkbar. Ob als Reinigungs- oder Kühlmittel, als Basis für Behandlungsmikalien u.v.m. – für die Stahlproduktion und Weiterverarbeitung ist Wasser ein existenzielles Betriebsmittel. Die klimabegründete Abnahme einer gleichbleibenden nachhaltigen Wasserverfügbarkeit ergibt in der Folge eine Suche nach Werkzeugen der Frischwasserreduzierung für alle Bereiche der Stahlindustrie. Dem Projektziel ist sich auf vielfältige Weise genähert worden.

ERGEBNISSE

Ultrafiltration & Umkehrosiose

An zwei unterschiedlichen Betriebsstandorten wurde die Aufbereitung von Abwässern aus der Stahlindustrie in unserer Pilotanlage, bestehend aus Ultrafiltration, Feinfilter, Enthärtungsanlage und 2-stufiger Umkehrosiose erprobt. Das dort auf bis zu 40 mS/cm aufkonzentrierte Konzentrat wurde in IBC-Behältern gesammelt an der TU Berlin weiter aufbereitet. Die Ausbeute von Vorbehandlung und Umkehrosiosen der Pilotanlage vor Ort konnte dabei betriebsstabil in der Größenordnung von 88-94% gefahren werden, unter Einbezug der Aufbereitung von Spülwässern und der Verdampfungstechnik sind 100% Ausbeuten bzw. ZLD (Zero Liquid Discharge) realistisch. Zur Entlastung der Membrananlage wurden im Labor-

maßstab an der TU Berlin Biofilter mit verschiedenen Aufwuchsmaterialien erprobt. Es zeigt sich, dass Bioaktivkohlefilter die höchste Entfernungsrate von mehr als 97 % hatten. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Biofilmreaktoren in geringen Dosierungen gegen Biozidstoffe resistent sind.

LTDIs

Zur Behandlung der Konzentrate wurden in Laborversuchen die Entfernung der Organik erprobt. Dafür wurden Nanofiltration, Koagulation, Fällung und Flockung, Adsorption sowie Ozonierung eingesetzt. Es konnten Organikentfernungsraten von bis zu 95% erzielt werden. Weiterhin wurde versucht mittels Nanofiltration Monokonzentrate zu erzeugen, aus denen reinere Salze gewonnen werden können. Mittels der Verdampfung im Technikumsmaßstab (Low Temperatur Distillation – LTDIs) wurde das Konzentratvolumen auf 5% verringert und ein Mischsalz erzeugt.

MCDI

Als weitere Technik zur Entsalzung wurde die Eignung einer Membrangestützten Kapazitiven Deionisation (MCDI) zur Behandlung des Ablaufs an zentralen Kläranlagen sowie Fluorid- und Calcium-haltigen Absatzung von Stranggussanlagen für eine interne Wasserwieder-

verwendung (Chlorid-Gehalt < 100 mg) nachgewiesen. Im Fall der Absatzung der Stranggussanlage betrug die Reinwasserausbeute 82% bei einem Energiebedarf von 0,57 kWh/m³. Im Detail wurde der Chlorid-Gehalt von 269 mg/L auf 90 mg/L, Sulfat von 184 mg/L auf 97 mg/L sowie die Gesamthärte von 5,0 mmol/L auf 1,1 mmol verringert. Die Behandlung des Kläranlagenablaufs wurden bei Reinwasserausbeuten bis zu 70% die betrieblichen Anforderungen erfüllt.

Digitalisierung

Die digitale Abbildung der gesamten Wasserwirtschaft wurde am BFI exemplarisch für ein integriertes Hüttenwerk mit mehr als 20 Wasserkreisläufen und unterschiedlichsten Wasserzusammensetzungen umgesetzt. Basierend auf den Ergebnissen der Probenahmen und Versuche wurden verschiedene Szenarien in Bezug auf den Chlorid-Gehalt im Oberflächenwasser (Zusatzwasser) sowie der Auswirkungen der Rückführung simulationstechnisch untersucht. Auf der anderen Seite wurden seitens Aixprocess reale Produktions- und Wasseraufbereitungsdaten einer SMS-Anlage korreliert und Konzepte für eine prädiktive produktionsabhängige Wasserbedarfsberechnung als Hilfestellung für eine übergeordnete wasserressourcenabhängige Produktionssteuerung entwickelt.

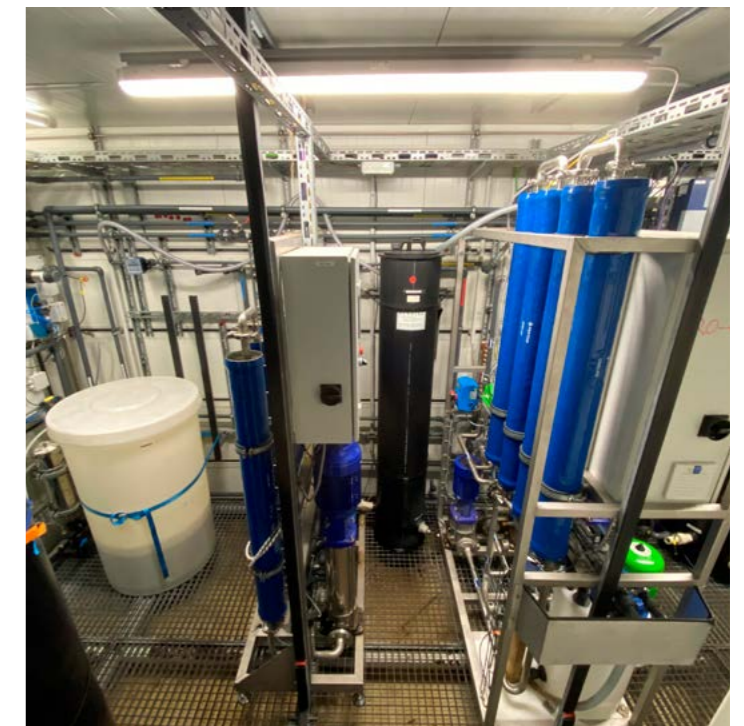
Membranbeschichtung

UDE untersuchte die Etablierung eines geeigneten Polymersystems, welches zur in situ Beschichtung von Umkehrosiosemembranen verwendet werden kann. Ziel: verbesserte Antifouling-Eigenschaften. Nach positiven Laborergebnissen wurden mehrere Spiralwickelmodule beschichtet und in der Pilotanlage betrieben, wobei in der Pilotierung aufgrund geringerer Foulingneigung des Wassers kaum Abnahmen der Permeabilität erkannt wurden.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Grundsätzlich besteht eine industrielle Übertragbarkeit der Vorhabenergebnisse mit individuellen Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten der Stahlstandorte. Die Anwendungspotentiale sind zudem übertragbar auf praktisch alle Industrien Deutschlands sowie im Ausland.

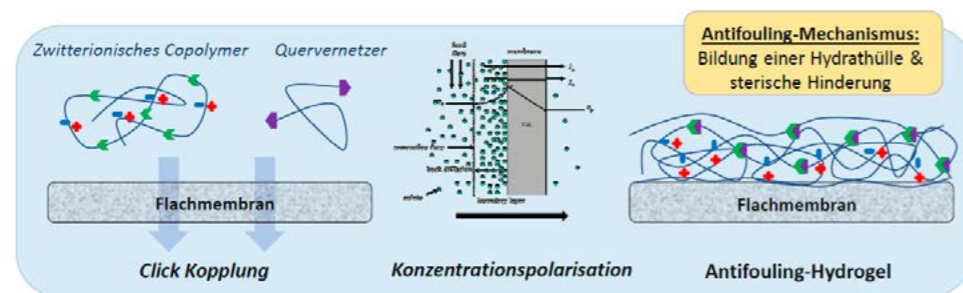
Basierend auf den Ergebnissen aller beteiligten Forschungsfelder ermöglichen die untersuchten Techniken die Aufbereitung von komplexen Wasserströmen z.B. eines integrierten Hüttenwerks und bieten Möglichkeiten die Frischwasserbedarfe radikal zu senken. In der Folge werden auch Abwasserströme verringert bzw. eine Ver-



Pilotierungsanlage in mobilem Container (Quelle: UDE)

lagerung von ggf. kritischen Wassereinleitungen hin zur Entsorgung oder gar Wiederverwendung von Trockensubstanzen erzielt.

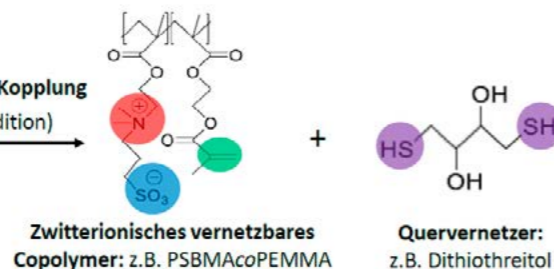
Die digitale Abbildung einer Gesamtwasserwirtschaft sowie der Produktionsanlagen eines Stahlwerkskomplexes ergibt die Möglichkeit Verfügbarkeitsprognosen mit Bedarfsberechnungen prädiktiv zu koppeln um weitere Möglichkeiten zu erschließen, die Ressource Wasser effizient zu nutzen.



„Click“ Kopplung

- einfache und schnelle Reaktion
- hohe Ausbeuten
- umweltfreundliche Lösungsmittel, z.B. Wasser
- geeignet für die industrielle Anwendung

Thiol-ene Click Kopplung (Michael Addition)



Schematische Darstellung der Beschichtung inkl. Korrelations-Modell zur Einstellung des Beschichtungsgrades (Quelle: UDE)

Laufzeit

04/2021 bis 10/2024

Koordination

Stefan Schmidt
SMS group GmbH (SMS), Hilchenbach

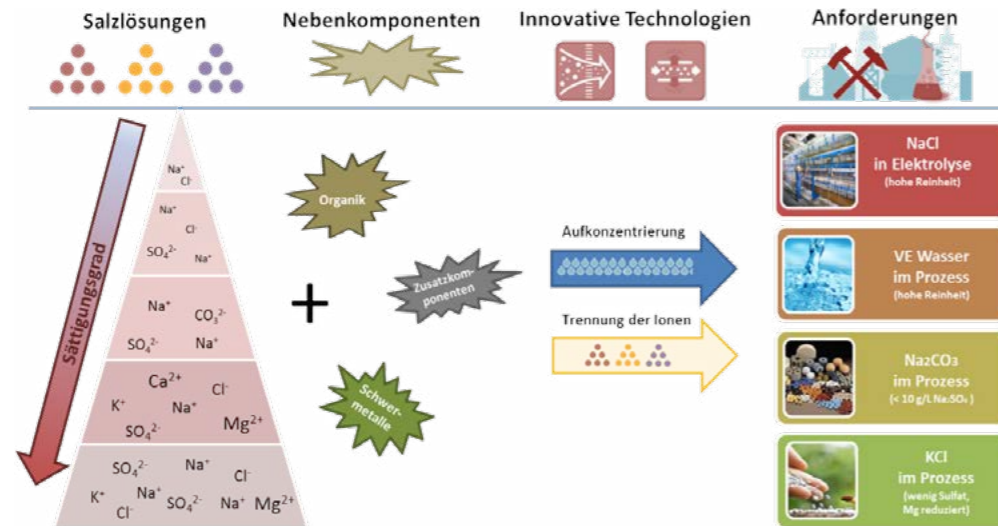
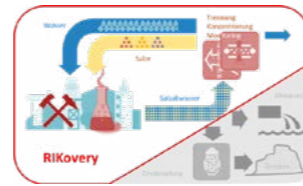
Webseite

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

Verbundprojektspartner

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

Recycling von industriellen salzhaltigen Wässern durch Ionentrennung, Konzentrierung und intelligentes Monitoring



Aufgabenstellungen zur Wiederverwendung von salzenthaltenden industriellen Wasserströmen in RIKoverly

KURZBESCHREIBUNG

Die zunehmende Wasserknappheit erhöht die Notwendigkeit, salzhaltiges Wasser wiederzuverwenden und gleichzeitig die entfernten Inhaltsstoffe einer erneuten Nutzung zuzuführen. Dabei sind sowohl Prozessabwässer als auch Salzabwässer aus Halden oder salzhaltige Grundwässer relevant. Das RIKoverly-Projektconsortium verfolgt die Vision, salzenthaltende industrielle Wasserströme möglichst vollständig zu nutzen, und damit natürliche Wasserressourcen zu entlasten. In RIKoverly wurden die Potenziale von innovativen Technologien (OARO, HPNF, UHPRO, UHP-LSRRO, FO, FCDI) systematisch untersucht und die jeweils aussichtsreichen Einsatzbereiche erarbeitet.

Zur Wiederverwendung von Salzen und Wässern für nachfolgende Prozesse sind spezifische Parameter einzuhalten, um Betriebssicherheit zu gewährleisten. Es wurden Konzepte und Techniken zur Bestimmung der organischen Spurenstoffe in stark salzhaltigen Lösungen sowohl für eine online-fähige Prozessüberwachung für bekannte als auch für eine Qualitätssicherung für unbekannte Inhaltsstoffe entwickelt.

ERGEBNISSE

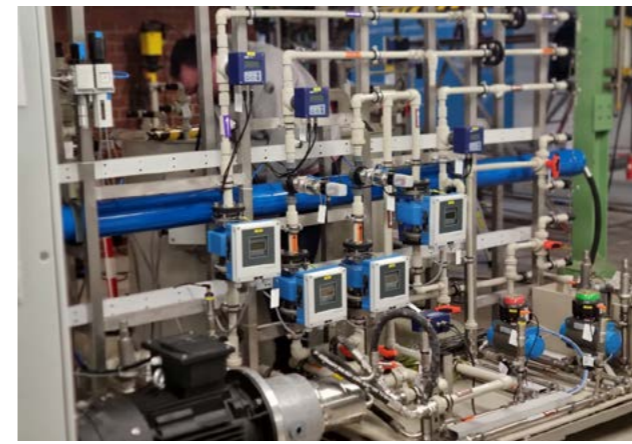
Target- und Nontarget-Analytik in stark salzhaltigen Lösungen

Im Arbeitspaket des intelligenten Monitorings für unbekannte Inhaltsstoffe wurde ein Probenvorbereitungs-

konzept 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 realen Betriebsproben 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 und an realen Proben auf deren Eignung als Frühwarnsystem für Prozessveränderungen erfolgreich getestet.



RIKoverly Team (Quelle: K+S)



Hochdruckmembrananlage (Quelle: BWS)

Die im Re-Salt-Projekt entwickelte und im RIKoverly-Projekt zur Online-Analytik ausgebauten Methode zur Ermittlung kritischer Einzelverbindungen aus salzhaltigen Wässern wurde erfolgreich am Standort Krefeld-Uerdingen (Covestro) pilotiert.

Innovativen Technologien zur Ionentrennung und Konzentrierung:

Für die Aufkonzentrierung von einwertigen Salzen (bspw. NaCl-Lösungen) wurde ein innovatives Membran-Verfahren UHPRO/UHP-LSRRO (für 120 bar Betriebsdruck) entwickelt, welches zur weiteren energieeffizienten Aufkonzentrierung der Salzwässer führt (bis NaCl-Konzentration von 170 g/L). Eine Pilotanlage für kontinuierlichen Betrieb (Feed 2,5 m³/h) wurde gebaut. Die Pilotierung des Verfahrens am Standort Leverkusen (Covestro) mit Prototyp-Membranelementen wurde erfolgreich durchgeführt. Mit den gewonnenen Basisdaten wurden Szenarien für eine großtechnische Anlage berechnet. Die innovative Aufkonzentrierungstechnologie kann bis ca. 60 % Energieeinsparung im Vergleich zur Eindampfung erzielen.

Die Labor-Betrachtung der Trennung und Aufkonzentration aus einem Gemisch bestehend aus NaCl und Na₂SO₄ mittels FCDI wurde erfolgreich durchgeführt. Die Zielvorgaben einer Selektivität von mehr als 20 gegenüber Sulfat-Ionen und einer Konzentration auf 150 g/L NaCl im Konzentratstrom wurden gezeigt. Mit der Mischlösung aus Na₂CO₃ und Na₂SO₄ konnte unter den festgelegten Einsatzbedingungen die geforderte Selektivität von 20 nicht erreicht werden. Eine Pilotanlage mit zum ersten Mal skalierten MEA-Modulen wurde gebaut und bei Evonik am Standort Hanau in Betrieb genommen. Hierbei hat sich jedoch herausgestellt, dass in der aktuellen Scale-Up Konfiguration geringere Salztransferaten und Konzentrationen erreicht werden können als im Labormaßstab. Neue Versuche mit einer neuen Bauform der Ladungsübertragereinheiten werden im Spätherbst gestartet.

Für die Aufbereitung von komplexen hochsalzhaltigen Wässern der Kali-Industrie wurde eine innovative Verfahrenskombination aus HPNF-FO entwickelt. Die NF-Membranelemente, die für die Anwendungsfälle als geeignet identifiziert wurden, sind derzeit bis 83 bar spezifiziert. Ihre Anwendung bei 120 bar erwies sich als zielführend. Für FO wurden verfügbare Membranelemente verwendet. Es konnten Aufkonzentrierungen bis in den Sättigungsbereich erreicht werden, was über die erwarteten Ergebnisse hinausgeht. An den Pilotanlagen des CML an der TH Köln wurden sowohl für die NF als auch die FO Versuche in relevantem Pilotmaßstab durchgeführt. Für beide Verfahren konnten so Daten generiert werden, die sowohl eindeutig die Machbarkeit, aber auch die Skalierbarkeit beider Verfahren aufzeigen.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PRAXIS

Die Notwendigkeit der Reduzierung von Salzmissionen in die Oberflächengewässer erfordert die Weiterentwicklung von energieeffizienten Verfahren zur Ionentrennung und Aufkonzentrierung. Reduktion der Salzmission sollte nicht oder nur mit einer minimalen Erhöhung des CO₂-Footprints einhergehen. Folgt man dieser Prämisse, so ist die volle Ausnutzung der Anwendung der Membranverfahren ein kohärenter und zweckmäßiger Ansatz, welcher in RIKoverly erfolgreich demonstriert werden konnte. Dies bietet neue Perspektiven für eine Realisierung der industriellen Soleverwertung im Kontext der Ressourcenrückgewinnung und der Wasserwiederverwendung.

Laufzeit

02/2021 bis 12/2024

Koordination

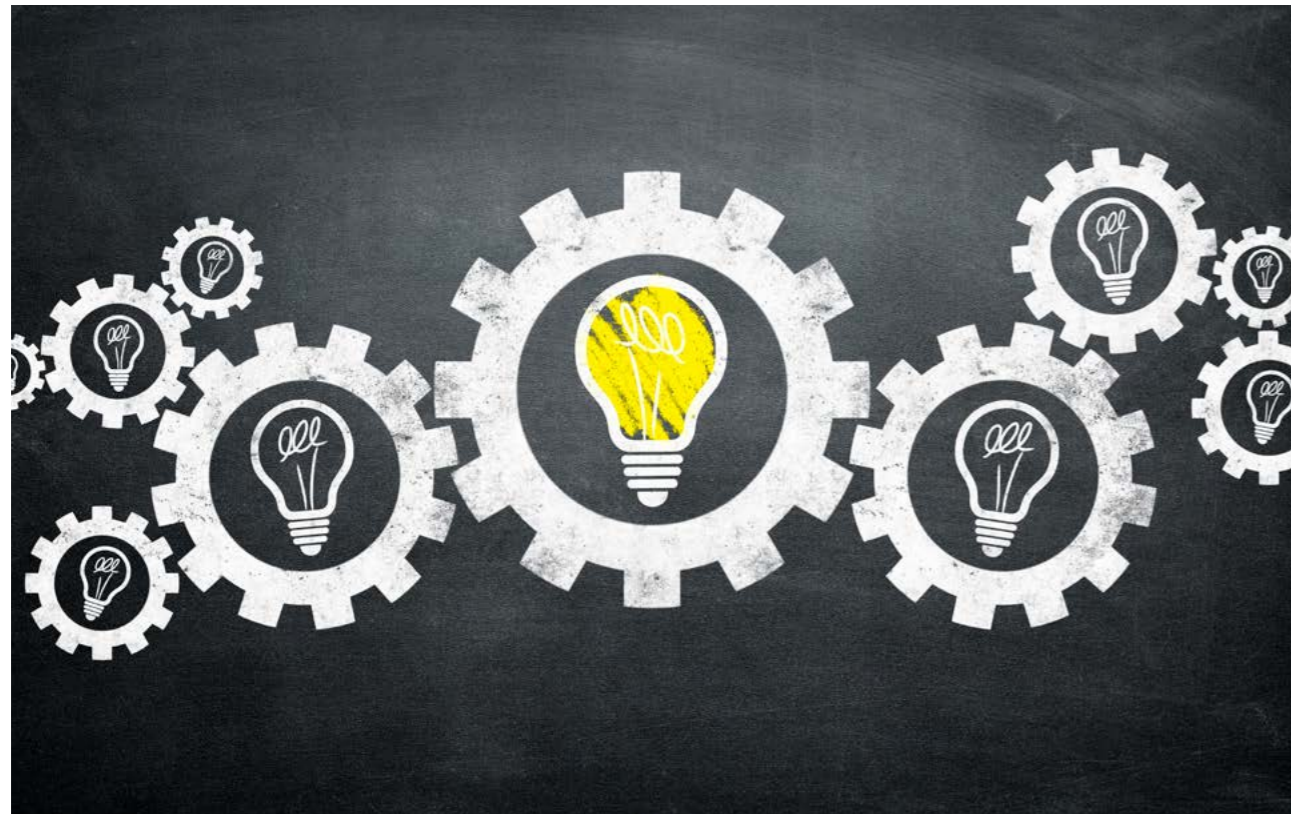
Dr. Yuliya Schießer
Covestro Deutschland AG, Leverkusen

Webseite

www.rikoverly.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
- Technische Hochschule Köln
- TZW: DVGW – Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe



KURZBESCHREIBUNG

Im Querschnittsthema „Technologien und Verfahren“ wurde der Fokus auf die Entwicklung einer Verfahrensübersicht gelegt, welche die in den unterschiedlichen Projekten der Fördermaßnahme WavE II entwickelten und untersuchten Technologien und Verfahren kategorisiert und kurz hinsichtlich des Behandlungsziel beschreibt.

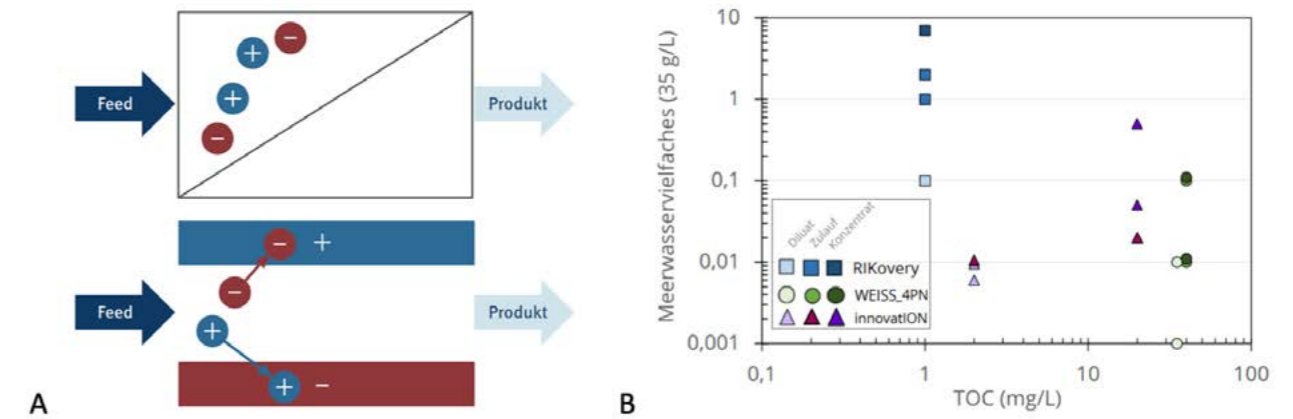
Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Querschnittsthemas „Technologien & Prozesse“ aus der Fördermaßnahme WavE I wurde der dort entwickelte Ansatz für einen Technologievergleich und dessen Bewertung aufgegriffen und auf die in WavE II eingesetzten elektrochemischen (Membran-)Verfahren, hier die kapazitive Deionisation als (CDI) Vertreter, angewendet. Da diese Verfahren i.d.R. nur im Labormaßstab untersucht wurden, fehlten hier veröffentlichte Erfahrung in anwendungsorientierten Langzeitversuchen, welche notwendig sind, um die Grenzen und Möglichkeiten der Prozesse in bestimmten Einsatzgrenzen anhand von Technologiekennzahlen als Key Unit Operation Indicators (KUOI) und Key Performance Indicators (KPI) (Engelhart 2021) zu beschreiben. Diese wurden nun in dem Querschnittsthema „Technologien und Verfahren“ erarbeitet und in einem

Fact Sheet mit den wesentlichen Ergebnissen zur (membrangestützten) kapazitiven Deionisation vorgestellt.

Weiterhin wurde auch ein Fact Sheet für Wassertechnologien zur landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung entworfen und mit dem Querschnittsthema „Implementierung von Projekten – Gruppe Landwirtschaftliche Bewässerung“ abgestimmt. Darin werden Erkenntnisse zu den Leistungen insbesondere von Verfahrenskombinationen zu den entsprechenden Projekten der Fördermaßnahme, vor allem im Hinblick auf die Anforderungen gemäß den europäischen Mindestanforderungen an die landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung (EU 2020/74), zusammengefasst. Gemeinsam mit dem Querschnittsthema „Implementierung“ werden hier Projektergebnisse als Beiträge zur Unterstützung der nationalen Umsetzung der europäischen Vorgaben zur Verfügung gestellt.

ERGEBNISSE

In der Excel-Tabelle zur Verfahrensübersicht finden sich neben der Einteilung in die drei Förderbereiche, der Zuordnung zu übergeordneten Verfahrenskategorien, Kurzbezeichnungen der Verfahren und Hinweise auf die Einbindung einzelner Verfahren in Verfahrenskombina-



A: Konventionelles Verfahren (oben, „Wasser aus Lösung“) und elektrochemisches, kapazitives Verfahren (unten, „Salz aus Lösung“) im Vergleich. B: Meerwasservielfaches gegenüber organischer Belastung in den drei Projekten. RIKovery (blau), WEISS_4PN (grün) und innovatiON (violett).

tionen nun auch Hinweise in Bezug auf deren „Technology Readiness Level“ (TRL), den übergeordneten Behandlungsziele sowie Roh- und Produktwasserqualitäten etc. In dem erarbeiteten CDI-Fact sheet werden unterschiedliche Betriebsweisen und Einsatzbedingungen der (membrangestützten) kapazitiven Deionisation im Vergleich zu traditionellen Entsalzungsverfahren vorgestellt. Insbesondere sind die Ausgangsbedingungen hinsichtlich der zu behandelnden Salzkonzentrationen, hier als Vielfaches der Meerwassersalzkonzentration (MW) von 35 g/L NaCl aufgeführt (s. Abbildung). Zu beachten sind auch die organische Belastung für Feed, Diluat und Konzentrat, welche in den jeweiligen Projekten stark variieren.

Im Bereich der Projekte mit Schwerpunkt in der Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung wurden weitere Daten zur Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen eingesetzten Verfahren ermittelt und die Technologiebewertung weitergeführt. Auch in diesem Bereich wurde eine Vorlage für ein Fact Sheet für die kompakte Darstellung von Aufbereitungsprozessen aus mehreren Verfahrensschritten entwickelt. Das Fact Sheet wird für die Hauptverfahrenszüge von den Projekten im Bereich landwirtschaftliche Wiederverwendung erarbeitet.

QUELLE

Engelhart, M. (2021): Assessment of Water Reuse Technologies and Concepts - Technical aspects (KPI/KUOI). In: WavE-Online-Seminar Assessment of Water Reuse Technologies and Concepts, 31.03.2021 https://bmbf-wave.de/Veranstaltungen/WavE_Online_Seminar+Assessment+of+Water+Reuse+Technologies+and+Concepts/WavE_Online_Seminar-p-248.html

Lerch et al., 2024. (Membrangestützte) Kapazitive Deionisationsverfahren. Fact Sheet zum WavE Querschnittsthema „Technologien und Verfahren“ <https://bmbf-wave.de/Publikationen/WavE+Publikationen.html>

Verantwortlich

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

Implementierung von Projekten



KURZBESCHREIBUNG

Das Querschnittsthema „Implementierung von Projekten“ wurde nach der ersten Sitzung aufgrund einer besseren inhaltlichen Fokussierung auf zwei Untergruppen aufgeteilt. Die Untergruppe „Industrie und Salze“ wurde von Frau Dr. Ante geleitet erarbeitete einen Kriterienkatalog für die Implementierung in der Industrie, der in einen Leitfaden eingeflossen ist. Für die Untergruppe „Landwirtschaftliche Bewässerung“ hat die aktuelle Diskussion zur nationalen Umsetzung der „EU-Verordnung über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche Bewässerung (EU-Wasser-WVVO)“ (EU 2020/741), deren Übertragung in das nationale Recht mit der Bundesverordnung zur Wasserwiederverwendung (Bundes-WasserWVVO) sowie der Erstellung eines neuen DWA Merkblattes M-1200 zur Wasserwiederverwendung hohe Relevanz. Die Teilnehmer:innen dieser Untergruppe haben daher die Chance genutzt, praktische Erfahrungen und neue wissenschaftliche Erkenntnisse aus den laufenden WavE II-Projekten in den momentan laufenden Gesetzgebungsprozess sowie die Erstellung des technischen Regelwerks 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 intern abgestimmtes Vorgehen verständigt.

ERGEBNISSE

Untergruppe „Landwirtschaftliche Bewässerung“

Um den laufenden Gesetzgebungsprozess aber auch interessierte Stakeholder über die aktuellen Erkenntnisse aus den Projekten, geplante Aktivitäten, Erfahrungen mit dem geforderten Risikomanagement, aber Ergebnisse zu Zuverlässigkeit und Anforderungen an die Aufbereitung zu informieren, fanden mehrere Veranstaltungen in unterschiedlichen Formaten statt.

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. Das Programm bestand aus diversen Präsentationen und online Diskussionsforen mit folgenden Schwerpunkten:

Aktuelle und künftige Wasserverfügbarkeitssituation für die Landwirtschaft in Deutschland
T. Track / J. Drewes

Landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung: Gesetzliche Rahmenbedingungen
J. Drewes

Wissens- und erkenntnisbasierte Umsetzungsperspektiven

1. Risikomanagementplan

Erklärung des Ordnungsansatzes, Genehmigungsaspekte, Akteure und Verantwortlichkeiten, Ausarbeitung und Erstellung eines Risikomanagementplans, *J. Drewes*

2. Maßnahmen zur Risikominimierung:

Anwendung und Validierung Darstellung der etablierten technischen Möglichkeiten und Erfahrungen, auch aus WavE (Nutzwasser, FlexTreat, DWA M1200), *J. Drewes, T. Wintgens*

3. Wasserqualitäten: Möglichkeiten, Kontrolle und Überwachung

Welche Qualitäten können erreicht werden, wie lassen sie sich überwachen (Sensorik, Analytik, etc.), *T. Wintgens, J. Drewes*

4. Anwendungsbeispiele und Umsetzungsmöglichkeiten

Anforderungen in der Praxis, hydroponische Bewässerung (Projekt HypoWave), *T. Dockhorn* sowie weitere Beispiele (Projekte Nutzwasser, FlexTreat) *J. Drewes, T. Wintgens*

Vertreter:innen der vier Vorhaben mit Bezug zur landwirtschaftlichen Bewässerung konnten sich direkt in Abstimmung mit der DWA in die Erstellung des neuen Merkblattes DWA-M 1200 einbringen. Dabei konnten methodische Ansätze und praktische Erfahrungen der Umsetzung einer Wasserwiederverwendung aus den Vorhaben direkt in das Merkblatt integriert werden. Das Merkblatt liegt mittlerweile als Gelbdruck vor.

Untergruppe „Industrie und Salze“

Die Untergruppe „Industrie und Salze“ wird von Frau Ante geleitet. Hier entstand ein Leitfaden zur Implementierung

von Innovationsprojekten in der industriellen Wasser-aufbereitung, der maßgeblich durch ein Core Team erarbeitet wurde. Dieser Leitfaden zielt auf eine möglichst übersichtliche Darstellung von Hürden und Begünstigungen der Implementierung von Innovationen zur Wasserwiederverwendung ab. Hierfür wurden die Erfahrungen der Akteure zusammengeführt und sowohl die Hürden als auch ihre erfolgreiche Umgehung beschrieben. Damit sollen die Chancen erhöht werden, künftige Projekte von Anfang derart zu gestalten, dass die besten Voraussetzungen geschaffen werden, die letztendliche Implementierung am Markt bestmöglich vorzubereiten. Der Leitfaden soll insbesondere die Zielgruppe der Manager von Industrieunternehmen, regulierende Behörden, Hochschulen und Fördermittelgebern ansprechen.

Im letzten Jahr wurde sehr intensiv in regelmäßigen Meetings am Leitfaden gearbeitet und eine erste Version wurde der Untergruppe des Querschnittsthemas in zwei Treffen im Februar und April 2024 vorgestellt. Einige WavE-Projekte haben im Kapitel „Leuchtturmprojekte“ ihre Hürden und Begünstigungen für die Umsetzung ihrer Innovationen beschrieben. Der Leitfaden wird zum Abschlussveranstaltung der Fördermaßnahme am 80. Und 09. Oktober 2024 veröffentlicht.

Verantwortlich

- Prof. Ing. Jörg E. Drewes, Technische Universität München, Garching
- Dr. Angela Ante, sms Group GmbH, Hilchenbach



Analytik, Monitoring, Überwachung



KURZBESCHREIBUNG

Die Verbundprojekte in WavE untersuchten in den unterschiedlichen Themenschwerpunkten der Wasserwiederverwendung teils sehr unterschiedliche Parametersätze. Chemische und biologische Parameter (z.B. Spurenstoffe, Ionen, mikrobiologische und ökotoxikologische Parameter, ökotoxikologische Untersuchungen und Begleitparameter) werden in verschiedenen Matrices untersucht.

Das Querschnittsthema „Analytik, Monitoring, Überwachung“ zielte darauf, einen gemeinsamen Überblick über Parameter zu entwickeln, Schnittmengen zu identifizieren und eventuelle Synergien zwischen den Projekten zu schaffen und einen Austausch zu analytischen Ansätzen und Herausforderungen zu intensivieren.

ERGEBNISSE

In Fachgesprächen des Querschnittsthemas wurden regelmäßig Aktivitäten und Ergebnisse hinsichtlich Analytik in den Projekten vorgestellt und diskutiert. Im Verlauf mehrerer Termine wurde eine gemeinsame Liste der Parameter, die in den einzelnen Projekten erfasst werden, erstellt und Schnittmengen identifiziert. Der umfangreiche Parametersatz bestätigt zahlreiche Gemeinsamkeiten (insbesondere bei den Projekten aus dem Themenfeld „Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser“), zeigt erwartungsgemäß jedoch auch deutliche Unterschiede je nach Anwendungsbereich.

Es wurde die Idee eines gemeinsamen analytischen Steckblattes diskutiert. Aufgrund der sehr unterschiedlichen analytischen Ansätze in den einzelnen Verbundprojekten erwies sich ein solcher Steckbrief jedoch als heterogen und unübersichtlich.

Neben den Fachgesprächen der gesamten Fördermaßnahme wurde der Bedarf geäußert, separate 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 erfolgten Austausche einer Untergruppe mit mikrobiologischen Expert:innen aus den vier Verbundprojekten. In detaillierten Diskussionen zu mikrobiologischen Parametern für landwirtschaftliche Wasserwiederverwendung ein einheitlicher Parametersatz mit den jeweils angewandten Nachweismethoden abgestimmt. Die Verbundprojekte wollten möglichst viele Parameter synchronisieren, um am Ende eine bessere Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit zu erzielen. Weiterhin entstand die Idee, aus den analytischen Arbeiten zur landwirtschaftlichen Wassernutzung einen englischsprachigen Beitrag zum analytischen Aufwand zu entwickeln. Diese Idee derzeit in zahlreichen Fachgesprächen in kleineren Runden ausgearbeitet, und ein Beitrag soll bald veröffentlicht werden.

Ein kontinuierlicher Austausch über Fortschritte und Ergebnisse aus den Verbundprojekten bot einen Mehrwert für die Projekte und wird in Teilgruppen über das Ende der Laufzeit der Fördermaßnahme fortgeführt.

Verantwortlich

· Prof. Aki Sebastian Ruhl, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Digitalisierung

KURZBESCHREIBUNG

In den WavE-Verbundprojekten gibt es unterschiedliche Aktivitäten und sehr diverse Zielstellungen hinsichtlich des Themas „Digitalisierung“. 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.

Ziel des Querschnittsthemas war es, den entsprechenden Akteuren aus den WavE-Verbundprojekten eine Austauschplattform zu diesem Thema zu bieten und deren Vernetzung zu fördern. In der Zusammenarbeit der Projektbeteiligten wurden Informationen zu geplanten Instrumenten, Methoden, Prozessen und Datenmanagement zusammengetragen. Dabei standen auch die horizontale Integration im Fokus, d.h. die Schnittstellen der Digitalisierung zur kommunalen (Ab-)Wasserwirtschaft sowie zur industriellen Produktion.



ERGEBNISSE

Im ersten Schritt (2022) wurde eine Matrix zu den Digitalisierungsansätzen initiiert, um die große Vielfalt an Themen, Herangehensweisen und Werkzeugen darzustellen, Gemeinsamkeiten zu identifizieren und diese nach Wichtigkeit zu bewerten.

In der weiteren Bearbeitung des Querschnittsthemas wurde die Erstellung von Projekt-Factsheets zur „Digita-

lisierung“ in die Wege geleitet. Ziel der Factsheets war die Erfassung der Digitalisierungsstrategien, das Zusammentragen der Herangehensweisen, die Darstellung der Erfahrungen aus den Projekten sowie die Nutzbarkeit der Ansätze. Die Struktur der Factsheets ist wie folgt: (1) Fragestellung des Digitalen Ansatzes, (2) Umsetzung im Projekt, (3) Anwendungsperspektive und Mehrwert für die Praxis (wo könnte die Reise hingehen), (4) Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf / Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes.

Inzwischen haben insgesamt haben 9 WavE-Verbundprojekte (WEISS_4PN, RIKovery, NERA, ReWaMem, MedzeroSolvent, Flextrat, Nutzwasser, HypoWave+, innovatION) ein Factsheet erstellt. Dabei wird die zentrale Bedeutung des Themas „Daten“ (wie Verfügbarkeit, Erfassung, Bereitstellung, Nutzung, Vollständigkeit) sichtbar.

Aktuell werden die Factsheets in einer Veröffentlichung gebündelt und kategorisiert. Weitere Bestandteile der Publikation bilden die Erkenntnisse rund um das Thema „Daten“, v.a. zu Datenverfügbarkeit, -Erfassung und -Bereitstellung/Nutzung. Darüber hinaus wird aufgezeigt, welche Herausforderungen für die Umsetzung einer Digitalisierung in die Praxis vorhanden sind und wo die zukünftigen Bedarfe liegen, um die Wichtigkeit der Umsetzung einer Digitalisierung für zukünftige Projekte zu unterstreichen. Die Veröffentlichung der Projekt-übergreifenden Publikation ist Anfang 2025 geplant.

Neben der gemeinsamen Publikation nahm der Erfahrungsaustausch zwischen den Projekten eine wichtige Rolle in den Querschnittsthementreffen ein und wurde von den Beteiligten als sehr wertvoll erachtet. Der Austausch reichte von den Erwartungen der Projekte (welche Zielsetzung hatten die Projekte zu Beginn), über den Erfüllungsgrad in Projekt (was konnte im Projekt umgesetzt werden) bis hin zum weiteren Entwicklungsbedarf (wo liegen die Schwierigkeiten bei der Umsetzung bzw. welche offene F&E Fragen sind noch vorhanden).

Verantwortlich

· Dr. Thomas Track, DECHEMA e. V., Frankfurt a.M.
· Dr. Martin Weng, aixprocess GmbH, Aachen

Bewertung

KURZBESCHREIBUNG

Das Querschnittsthema „Bewertung“ wurde vom WavE-Lenkungskreis ins Leben gerufen, um verschiedene relevante Aspekte projektübergreifend zu adressieren: neben Themen wie (I) Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Kosten/Nutzen, oder (II) Nachhaltigkeitsbewertung, LCA, Ressourcen- und Energieeffizienz, wurde vor allem das Thema (III) Impact Assessment, auch im Hinblick auf konkurrierende Nutzung von Wasser als sehr relevant erachtet.

Ziel des Querschnittsthemas ist es, einen Mehrwert für die Projekte zu schaffen und die Verwertung der Ergebnisse zu unterstützen. Im Fokus der Querschnittsthemen-Gruppe stand daher die Schaffung eines Gesamtbildes aus allen Projekten zur Bewertung der Wasserwiederverwendung in Deutschland: welche Potenziale sind durch WavE zur Wasserwiederverwendung in Deutschland vorhanden und welchen Beitrag leistet WavE zum Umgang mit den Klimawandel.

ERGEBNISSE

Um dieses Gesamtbild zu erlangen, wurde im ersten Schritt eine Umfrage-Matrix für eine „Wasserwiederverwendungs (WWV)-Potenzialkarte“ entwickelt. Mit dieser Karte sollten zum einen die Regionen mit Wasserknappheit (ausgehend von bereits verfügbarem Datenmaterial) aufgezeigt werden, zum anderen die Einsatzorte und Anwendungsszenarien der „WavE-Innovationen“ eingebunden werden. Idee war es, aus den zusammengetragenen Informationen ableiten zu können, welche Standorte sich besonders gut für Reallabore mit Blick auf die Implementierung von WavE-Innovationen eignen. Zum anderen sollten Aussagen getroffen werden, für welche Standorte oder Regionen in Deutschland auf Grund einer vergleichbaren oder ähnlichen Charakteristik hohe Anwendungs- und Einsatzpotenziale für die WavE-Innovationen abgeleitet werden können.

Nach der ersten Erhebung von Informationen mit vorläufigen Aussagen von insgesamt 8 Projekten (HypoWavE+, PU2R, FITWAS, Med-zeroSolvent, NERA, innovatION, HaSiMem, SULFAMOS) konnte eine Übersicht z.B. zu Anwendungsszenarien (im Projekt / weitere potenzielle Anwendungsszenarien) oder zu Ziel- und Nutzergruppen gewonnen werden.

Im nächsten Schritt wurden die Optionen für die best-



mögliche Visualisierung der Informationen diskutiert. Ein Vorschlag ist die Clusterung der Informationen der WavE-Lösungen und deren Anwendungen im Projekt sowie dem Aufzeigen von deren Transformationspfad / Transferpotenzial in andere Sektoren. Daten von unterschiedlichen Stellen wie z.B. dem Wirtschaftsministerium, der Landwirtschaftskammer oder den IHKs etc. sollen angefragt und mit einbezogen werden. So soll eine Art „Baukasten“ mit Lösungen aus WavE für bestimmte Szenarien entstehen. Geplant ist weiterhin eine einfache Karte, die aufzeigt, wo WavE-Szenarien angesiedelt sind. Diese Karte kann ggfs. mit weiteren Kartenmodellen verknüpft bzw. verlinkt werden. Nach Abschluss der Projekte sollen finale Ergebnisse in die Darstellung einfließen und so die vorläufigen Aussagen präzisiert und angepasst werden.

Die Erkenntnisse aus dem Querschnittsthema werden Bestandteil einer Fördermaßnahmen-übergreifenden Abschlusspublikation. Ziel ist die Darstellung eines Gesamtbildes über die WavE-Verbundprojekte, die als hilfreiches Instrument in der Operationalisierung und Verwertungsunterstützung der Forschungsergebnisse aus WavE genutzt werden kann. Ggfs. kann eine mögliche Einbindung in künftige Förderinitiativen aufgezeigt werden.

Verantwortlich

- Prof. Christoph Donner, Berliner Wasserbetriebe
- Prof. Michael Sievers, CUTEC Forschungszentrum, Technische Universität Clausthal



Gesellschaft für Chemische
Technik und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main
Tel.: +49 69 7564-0
E-Mail: info@dechema.de