

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

Wave

WASSER. WIEDERVERWENDUNG. ENTSALZUNG.

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

ABSCHLUSSKONFERENZ



3./4. Dezember 2019 · dbb forum berlin

ABSTRACT-BAND

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

HERAUSGEBER:



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

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE):

Beim BMBF:
Dr. Christian Alecke
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat 727 „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:

Wissenschaftliches Begleitvorhaben der BMBF-Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE)

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

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 02WAV1400

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 Dezember 2019
zur Abschlussveranstaltung der BMBF-Fördermaßnahme WavE

BMBF-Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE)	4
Wissenschaftliches Begleitvorhaben – TransWavE	4
Nationale und Internationale Standorte	5
Verbundprojekte	
<hr/>	
Themenfeld: Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser	
MULTI-ReUse: Modulare Aufbereitung und Monitoring bei der Abwasser-Wiederverwendung	6
TrinkWave: Planungsoptionen und Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen	8
HypoWave: Einsatz hydroponischer Systeme zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung	10
EPoNa: Ertüchtigung von Abwasser-Ponds zur Erzeugung von Bewässerungswasser in Namibia	12
Themenfeld: Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser	
REMEMBER: Ressourcen- und energieeffiziente Wasser-Membranfiltration mittels Dielektrophorese	14
WaKap: Modulares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung mittels kapazitiver Entionisierung am Beispiel Vietnam	16
Themenfeld: Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser	
WaterMiner: Räumlich-zeitlich abgestimmte Kreislaufführung und Wiederverwendung bergbaulicher Abwässer am Beispiel eines urban geprägten Bergbaugebietes in Vietnam	18
PAkmem: Aufbereitung problematischer Prozess- und Abwässer mit keramischen Nanofiltrationsmembranen	20
WEISS: Effiziente Kreislaufführung von Kühlwasser durch integrierte Entsalzung am Beispiel der Stahlindustrie	22
WaRelp: Water-Reuse in Industrieparks	24
DiWaL: Entwicklung eines ressourceneffizienten Wassermanagement- und Anlagenkonzepts für Vorbehandlungs- und Tauchlackieranlagen unter Nutzung der Elektroimpulstechnologie zur Dekontamination von industriellen Wässern und Lacken	26
Re-Salt: Recycling von industriellen salzhaltigen Prozesswässern	28
HighCon: Konzentrate aus der Abwasserwiederverwendung	30
Querschnittsthemen	
<hr/>	
Risikomanagement in der Abwasserwiederverwendung	32
Technologien und Prozesse	33
Salze und Reststoffe	35

BMBF-Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“ (WavE)

Die Verfügbarkeit von Wasser in ausreichender Menge und Qualität ist entscheidend für das gesundheitliche Wohlergehen des Menschen, für die nachhaltige Entwicklungsfähigkeit von Regionen und eine intakte Umwelt. Die Beeinträchtigung der Wasserressourcen infolge Übernutzung und Verschmutzung einerseits und der weiterhin steigende Wasserbedarf bei begrenzten Ressourcen andererseits stellen eine immense Herausforderung dar. Die Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wiederverwendung und Entsalzung gewinnt mit zunehmendem Wasserstress nicht nur in klassischen ariden Gebieten, sondern auch in Wachstumsregionen durch konkurrierende Nutzungen stark an Bedeutung.

Um dieser Herausforderung zu begegnen, startete im Herbst 2016 die Fördermaßnahme WavE: „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung“. Ziel von WavE ist die Entwicklung von innovativen Technologien, Betriebskonzepten und Managementstrategien für eine nachhaltige Erhöhung der Wasserverfügbarkeit und ein zukunftsfähiges Wassermanagement. WavE will einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, Nutzungskonflikte zwischen steigendem Wasserbedarf und begrenzten Wasserressourcen zu verringern und der Wasserverknappung entgegenzuwirken. Die Maßnahme adressiert drei Themenfelder:

- ▶ Im Themenfeld **Wasserwiederverwendung durch Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser** werden verschiedene Bereiche betrachtet: die Unterstützung der Wasserversorgung in industriellen und städtischen Wasserkreisläufen, die zweckmäßige Aufbereitung zur Wiederverwendung in der Landwirtschaft und effizienten Bewässerungssystemen sowie die Stützung von Trinkwasser- und Grundwasserressourcen. Insbesondere werden Managementkonzepte und technische Lösungen für modulare Konzepte zur Behandlung kommunalen Abwassers entwickelt, die eine flexible Anpassung an die Anforderungen zur Wasserwiederverwendung ermöglichen.
- ▶ Im Themenfeld **Aufbereitung von salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser** sind innovative Technologien und Konzepte im Fokus, welche beispielsweise Lösungsansätze für küstennahe Regionen liefern. Herausforderungen liegen hier vor allem in der Verringerung von Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie der Steigerung der Energieeffizienz von Entsalzungsanlagen.
- ▶ Das Themenfeld **Kreislaufführung von industriell genutztem Wasser** umfasst die Entwicklung von Technologien und Managementansätzen für verschiedene Industriezweige, wie Bergbau-, Stahl-, Chemie-, Öl/Gas-, Keramik- und Automobilindustrie. Weiter werden Lösungen für branchenübergreifende Fragestellungen, wie die Kreislaufführung von Wasser in Industrieparks oder das Management von bei der Wasseraufbereitung anfallenden Konzentraten erarbeitet.

Im Rahmen der aufgeführten Themenfelder entwickelten insgesamt **13 Verbundprojekte** mit Teilnehmern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis innovative Technologien, Verfahrenskonzepte sowie Managementstrategien zur nachhaltigen Erhöhung der Wasserverfügbarkeit. Praxisnahe Lösungen wurden an nationalen und internationalen Standorten, die immer eine lokal/regional individuelle Charakteristik haben, demonstriert. Die in Deutschland entwickelten technologischen und konzeptionellen Lösungsansätze dienen als Referenzen für die Anwendung an anderen Standorten im In- und Ausland mit ähnlichen Randbedingungen. Neben der Forschungsexzellenz wird besonders die Sichtbarkeit und Positionierung der deutschen Wassertechnik im internationalen Wettbewerb gestärkt.

Darüber hinaus geben projektübergreifende **Querschnittsthemen** wichtige Impulse zur Vernetzung zwischen den WavE-Beteiligten und zur Unterstützung des Ergebnistransfers in die Praxis. Die drei Querschnittsthemen umfassen das **„Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“**, **„Technologien und Prozesse“** für die Realisierung von Maßnahmen zur Wasserwiederverwendung sowie den Umgang mit **„Salzen und Reststoffen“**, die bei der Wasseraufbereitung zur Wiederverwendung entstehen. Durch die Kommunikation der Ergebnisse u.a. über „Factsheets“ oder Workshops mit unterschiedlichen Stakeholdern (z. B. Behörden, Anwendern und Ansprechpartnern aus Industrie und Forschung) wurde bereits ein breites Publikum angesprochen.

Wissenschaftliches Begleitvorhaben – TransWavE

Die Fördermaßnahme WavE wird durch ein wissenschaftliches Begleitvorhaben (TransWavE) unterstützt, das allen Akteuren bei der Abwicklung der Fördermaßnahme zur Seite steht. Als zentrale Schnittstelle soll TransWavE den Dialog zwischen BMBF, dem Projektträger, dem Lenkungskreis und den Verbundprojekten sowie mit der (Fach-)Öffentlichkeit fördern. Damit dient TransWavE insbesondere der themenübergreifenden Vernetzung der Verbundprojekte (intern und extern) und unterstützt den Ergebnistransfer zwischen den Projekten und in die Praxis (national – europäisch – international).

Für das wissenschaftliche Begleitvorhaben TransWavE ist die DECHEMA e.V. verantwortlich.

KONTAKT

DECHEMA e.V.

Dr. Thomas Track/Dr. Christina Jungfer

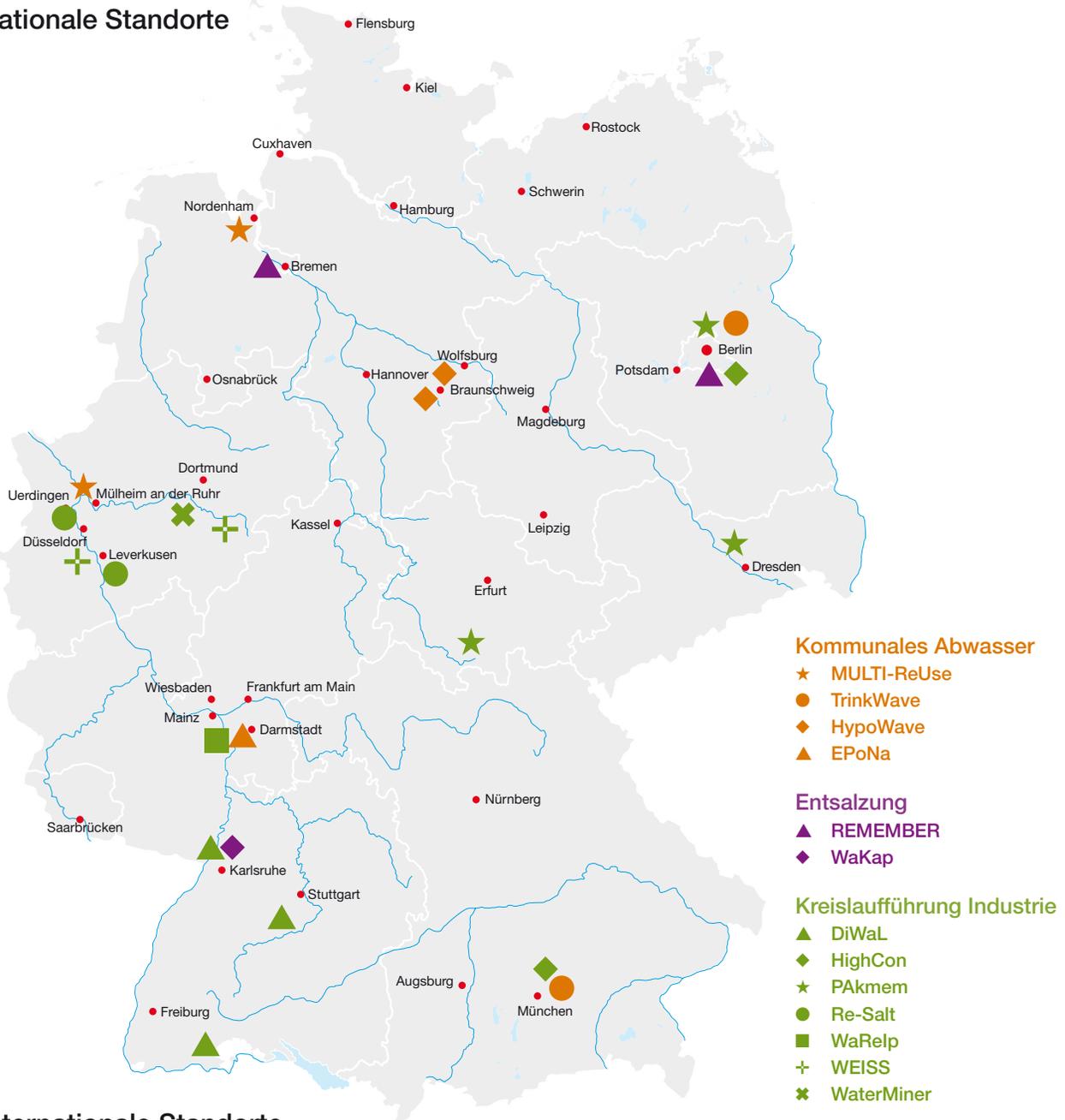
Tel.: +49 69 7564-427/-364

E-Mail: thomas.track@dechema.de

christina.jungfer@dechema.de

www.bmbf-wave.de

Nationale Standorte



Internationale Standorte

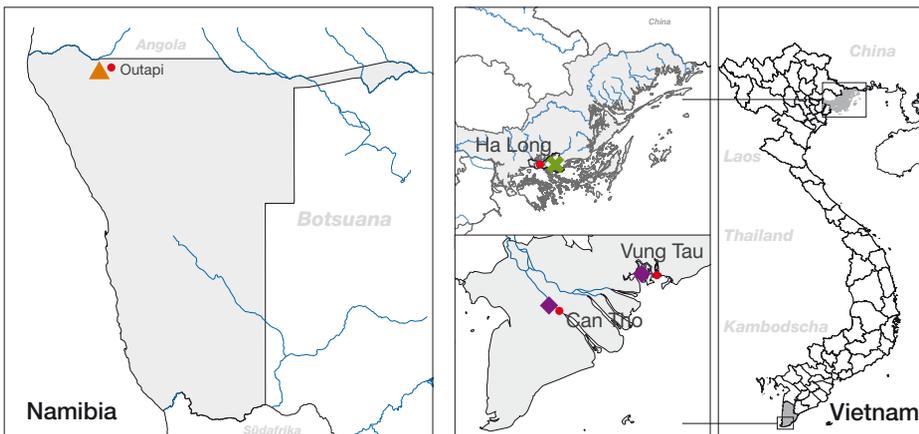


Abb. 1: Projekt- und Untersuchungsstandorte der 13 Verbundprojekte der Fördermaßnahme WavE. Die Untersuchungen und Entwicklungen erfolgen unter praxisnahen Bedingungen an Standorten im In- und Ausland und beziehen auch Demonstrationsanlagen im technischen Maßstab mit ein.

MULTI-ReUse

Modulare Aufbereitung und Monitoring bei der Abwasser-Wiederverwendung

Kurzbeschreibung

Im Zentrum der Untersuchungen im Projekt MULTI-ReUse stand eine Pilotanlage in Niedersachsen auf der kommunalen Kläranlage in Nordenham. In dieser Küstenregion mit Wassermangel wurde mit einem modularen Aufbereitungssystem konventionell gereinigtes Abwasser unter realen Bedingungen weitergehend behandelt, um es als Betriebswasser in einem Industriebetrieb einsetzen zu können. MULTI-ReUse hat darüber hinaus noch weitere Verwendungsmöglichkeiten untersucht, die weltweit von Bedeutung sind. Dazu gehören die landwirtschaftliche Bewässerung, urbane Anwendungen und die Grundwasseranreicherung. Voraussetzungen hierfür sind hygienische Unbedenklichkeit und die Entfernung anthropogener Spurenstoffe.

In der Pilotanlage wurden die Verfahren Ultrafiltration (UF), Umkehrosmose (UO), Aktivkohlefiltration und UV-Desinfektion flexibel zu Aufbereitungsketten kombiniert sowie innovative Verfahren zur Online-Überwachung der mikrobiologischen Hygiene und zur Bestimmung von biologisch verwertbarem Kohlenstoff entwickelt. Bei der Verfahrensoptimierung unter Praxisbedingungen sollten Synergiepotenziale von UF und UO ausgeschöpft werden, um diese Technologien für die Anwendung in der Wasserwiederverwendung attraktiver zu machen. Ein Bewertungskonzept für geeignete Rohrleitungswerkstoffe war ebenfalls Untersuchungsgegenstand.

Neben der Schließung von verfahrenstechnischen Wissenslücken wurden in MULTI-ReUse Entscheidungshilfen für potentielle Anwender erarbeitet, die zentralen Erkenntnisse für potenzielle Anwender und Multiplikatoren verständlich aufbereitet sowie zielgruppenspezifisch bzw. allgemein verfügbar gemacht.

Ergebnisse

Das Verfahrensschema der modularen MULTI-ReUse-Anlage ist in Abb. 2 dargestellt. Es können grundsätzlich folgende Betriebswasserqualitäten erzeugt werden:

- ▶ Betriebswasser mit geringen Anforderungen, z.B. industrielles Waschwasser oder zur Straßenreinigung
- ▶ biologisch stabiles Betriebswasser, mit reduziertem Spurenstoffgehalt, z. B. zur Verwendung für Bewässerungszwecke oder zur Grundwasseranreicherung (Elimination von einigen Arzneimittelstoffen, Benzotriazolen und Glyphosat zu über 80 %)
- ▶ Betriebswasser mit hohen Anforderungen, da es ionenarm ist und ein Minimum an organischen Spurenstoffen für bestimmte industrielle Prozesse erzeugt werden kann; Elimination fast aller untersuchten Spurenstoffe – auch Röntgenkontrastmittel – zu über 90 %

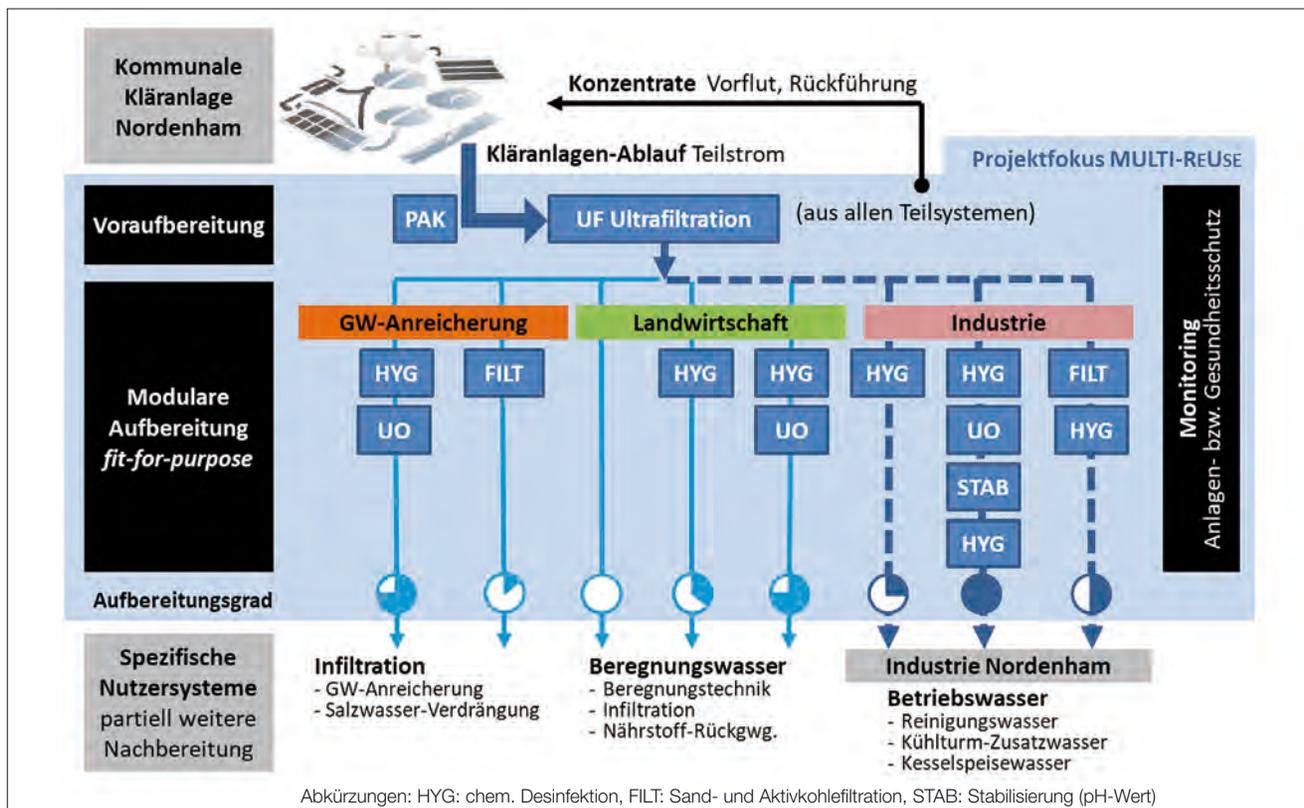


Abb.2: Übersicht der Verfahrensketten der MULTI-ReUse Pilotanlage

Die MULTI-ReUse-Technologie wurde in einer knapp einjährigen Demonstrationsphase unter realen Bedingungen angewendet und optimiert. Für einen stabilen Langzeitbetrieb hat sich folgende Verfahrenskette/Parametrierung als geeignet erwiesen:

- ▶ Flockungsprozess mit Eisen(III)chlorid im Zulauf zur UF im sog. Coating-Modus (zu Beginn der Filtrationszeit hohe und danach niedrige Dosiermenge für ein rasches Eisenhydroxid-Coating auf der Membran)
- ▶ UF mit einem Flux von 60 L/(m²·h), einer Ausbeute von 90 % und täglich einer chemisch unterstützten Spülung (CEB)
- ▶ Desinfektion mittels Zugabe von 1 mg/l Monochloramin (7 Stunden täglich) in den Vorlagetank zur UO (Minderung von Aufkeimung und Biofilmbildung)
- ▶ UO mit Niederdruck-Modulen inklusive innovativem Spacer bei einem Flux von 16 L/(m²·h), 70 % Konzentratrückführung und 75 % Ausbeute
- ▶ chemische Membranreinigung (CIP) von UF und UO nach Bedarf
- ▶ optional: Dosierung von Pulveraktivkohle vor der UF zur Reduzierung von Biofouling und RO-gängigen organischen Mikroverunreinigungen (Benzotriazole)

Die bakteriologische Online-Qualitätskontrolle mittels „Durchflussszytometrie“ bewährte sich als ein sehr wirkungsvolles Überwachungsverfahren. Mit ihr ist eine Bestimmung der im Wasser befindlichen Gesamtzellzahl und dessen Aufkeimungspotenzials auch online und fast in Echtzeit (15 min Dauer) möglich. Das zu Beginn der Pilotversuche ermittelte starke Aufkeimungspotenzial der Filtrate und Permeate (trotz eines DOC < 0,1 mg/L) gab Anlass, für den stabilen Demonstrationsbetrieb die Desinfektion mit Chloramin nachzurüsten. Mittels Durchflussszytometrie lässt sich auch die Integrität der UF-Module überwachen. Als zweites Verfahren wurde das „reverse isotope labelling“ entwickelt, mit dem das Aufkeimungspotenzial über die Abbaubarkeit des DOC im Wasser bestimmt wird. Zudem erfolgte eine Überprüfung der toxikologischen Wirkung. Entlang der gesamten Aufbereitungskette war kein gentoxisches Potential in den Wasserproben nachweisbar. Die im Kläranlagenablauf ermittelte östrogene Wirkung wurde durch jeden Aufbereitungsschritt reduziert und konnte im Umkehrosiose-Permeat nicht mehr nachgewiesen werden.

Eine Entscheidungshilfe zur Auswahl geeigneter Rohrwerkstoffe für Verteilungs- und Betriebswassernetze wurde erarbeitet und durch praxisnahe Untersuchungen abgesichert. Zur Unterstützung potentieller Anwender der entwickelten MULTI-ReUse-Technologie wurde ein Bewertungswerkzeug entwickelt, mit dem Vor- und Nachteile gegenüber dem derzeitigen Versorgungskonzept mit Trink-

Koordinator:
Dr.-Ing. Wolf Merkel, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH

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

Laufzeit:
01.09.2016 – 31.12.2019

<https://water-multi-reuse.org>

wasser für den betrachteten Einzelfall ermittelt werden können. Dabei werden ökologische, ökonomische sowie soziale Fragestellungen berücksichtigt. Eine umfassende Bewertung für den Fall Nordenham ergab, dass die Wasserwiederverwendung die Bereitstellung insgesamt höherer Wassermengen in dieser Region zu wirtschaftlich konkurrenzfähigen Preisen ermöglicht.

Perspektiven für die Praxis

MULTI-ReUse hat eine Referenzanlage für die Wasserwiederverwendung in Deutschland konzipiert, die Prozesszuverlässigkeit sowie ein entscheidend verbessertes Qualitätsmonitoring demonstriert. Diese Technologien sowie das entwickelte Excel-basierte Bewertungstool können sowohl in Deutschland, aber auch in anderen Ländern mit geringerer Wasserverfügbarkeit zur Anwendung kommen. Die Identifikation aussichtsreicher Zielmärkte und die Erarbeitung begünstigender Konstellationen soll den Transfer der erarbeiteten Lösungen auch für den Export unterstützen. Mit Hilfe eines MULTI-ReUse-Kurzfilms und eines spielerisch-interaktiven Touchables kann außerdem Wissenstransfer auf „Learning Expeditions“ eindrucksvoll unterstützt werden. Projektergebnisse und Informationen zur MULTI-ReUse-Technologie und zu den Marktpotenzialen wurden zudem in Factsheets aufbereitet und allgemein, auch in Englisch, verfügbar gemacht (siehe <https://water-multi-reuse.org/>).



Abb. 3: Pilotanlage mit UF (links), UO (Mitte), Tiefenfilter und Aktivkohlefilter (rechts)

TrinkWave

Planungsoptionen und Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen

Kurzbeschreibung

Die Auswirkungen des Klimawandels sowie die Verschmutzung und Übernutzung vorhandener Trinkwasserressourcen verstärken die Wasserknappheit weltweit. Hinzu kommt eine zunehmende Verstädterung sowie wachsende industrielle und landwirtschaftliche Aktivitäten, die den Anteil an Abwasser in Oberflächengewässern steigen lassen. Dies stellt insbesondere für die Trinkwasserversorgung in Großstädten eine große Herausforderung dar. Daher rückt weltweit die Wiedernutzung von gebrauchtem Wasser als alternative Wasserressource zunehmend in den Fokus. Schon heute gibt es dafür viele Beispiele, vornehmlich in trockenen und halbtrockenen Regionen in denen lokal anfallendes weitergehend gereinigtes Abwasser als nachhaltige und kostengünstige Alternative anstelle herkömmlicher Frischwasserressourcen, wie Oberflächen- oder Grundwasserressourcen, verwendet wird. Auch in klimatisch gemäßigten Gegenden wie Deutschland kann als Folge des Klimawandels zu Zeiten extremer Trockenheit das Wasser regional knapp werden und so eine geplante Wasserwiederverwendung ökonomisch und ökologisch sinnvoll werden.

Vor diesem Hintergrund sowie aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen in der Grundwasserbewirtschaftung, Grundwasseranreicherung und Uferfiltration in Deutschland wurden in dem Verbundvorhaben ‚TrinkWave‘ durch die enge Zusammenarbeit von zwölf Projektpartnern aus Wissenschaft, Behörden und Industrie neue energieeffiziente, naturnahe Aufbereitungsverfahren auf Basis einer sequentiellen Grundwasseranreicherung (engl. *„sequential managed aquifer recharge technology, SMART“*) entwickelt, die ohne den Einsatz von Hochdruckmembranen eine sehr gute Wasserqualität liefern können. Die Alleinstellungsmerkmale der SMART Pro-

zesse liegen in der kontrollierten Einstellung von aeroben Redoxbedingungen unter kohlenstofflimitierten Bedingungen wodurch ein verstärkter Selektionsdruck auf die vorhandene Biozönose entsteht, der die mikrobiologische Transformation von organischen Spurenstoffen aber auch den Rückhalt pathogener Keime positiv begünstigen kann. Daher lag der Fokus der Untersuchungen auf der Optimierung dieser neuen naturnahen Multi-Barrier-Aufbereitungsverfahren bezüglich der Inaktivierung von Krankheitserregern, der Reduktion von Antibiotikaresistenzen sowie der Entfernung gesundheitsrelevanter organischer Mikroverunreinigungen. Zudem war darauf zu achten, dass die Verfahren einen hohen Grundwasserschutz sowie hohe Versickerungsraten und damit einen reduzierten Flächenbedarf erzielen können.

Das Forschungsvorhaben hatte die folgenden Ziele:

- ▶ Optimierung alternativer naturnaher Verfahrenskombinationen mit Hilfe von technisch modifizierten Hybridbiofiltrationssystemen, welche gleichzeitig multiple Barrieren für mikrobielle und chemische Kontaminanten sowie eine hohe Prozessstabilität repräsentieren
- ▶ Entwicklung von technischen Richtlinien für Planung und Betrieb innovativer Multibarrierensysteme für die Grundwasseranreicherung
- ▶ Entwicklung eines multidisziplinären Bewertungssystems für den Gesundheitsschutz auf der Grundlage eines adäquaten Risikomanagements für eine geplante Wasserwiederverwendung

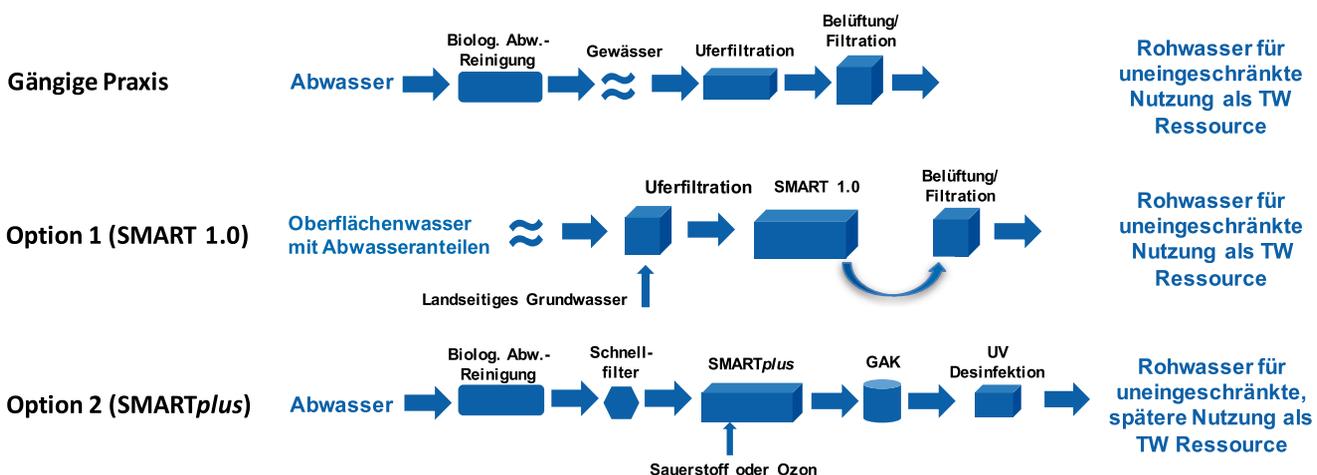


Abb. 4: Darstellung der gängigen Entsorgungspraxis und einer geplanten Wasserwiederverwendung (SMART 1.0 und SMARTplus) zur Stützung der Trinkwasserressourcen

- ▶ Entwicklung neuer chemischer und genetischer Leitparameter, basierend auf einem verbesserten Verständnis des mikrobiellen Abbaus organischer Spurenstoffe
- ▶ Entwicklung von Handlungsempfehlungen für den Umgang mit einer ungeplanten und geplanten Wasserwiederverwendung unter Berücksichtigung der wasserrechtlichen Anforderungen des Grundwasserschutzes, sowie die
- ▶ Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen und Kommunikationskonzepten mit Blick auf die Etablierung einer nachhaltigen Wasserwiederverwendung zur Stützung von Trinkwasserressourcen

Ergebnisse

Für die Etablierung des SMART-Konzeptes wurden in diesem Verbundvorhaben zwei Anwendungsstrategien entwickelt (Abb. 4). Im Gegensatz zur gängigen Praxis der Uferfiltration oder einer künstlichen Grundwasseranreicherung an Oberflächenwässern bei der pathogene Keime und einige organische Spurenstoffe während der Untergrundpassage reduziert werden, erfolgt beim SMART 1.0 Prozess nach einer herkömmlichen Uferfiltration eine Zwischenbelüftung und erneute Infiltration. Bei der ersten Uferfiltrationspassage reichen bereits sehr kurze Verweilzeiten um den biologisch abbaubaren gelösten organischen Kohlenstoff (BDOC) zu reduzieren. Durch die Zwischenbelüftung und niedrigen BDOC-Konzentrationen wird in der zweiten aeroben Passage ein Selektionsdruck auf die Mikroorganismen erzeugt, der in einem deutlich gesteigerten Spurenstoffabbau resultiert. Diese Leistungssteigerung konnte nicht nur in kontrollierten Laborbodensäulenversuchen sondern auch im Feld bei Versuchen auf einem Grundwasseranreicherungsstandort der Berliner Wasserbetriebe demonstriert werden. Allerdings wurde bei den Feldversuchen auch deutlich, dass das Einstellen stabiler aerober Redoxverhältnisse im Untergrund beim SMART 1.0 Verfahren bei instationären Zulaufbedingungen nicht immer gelingt.

Um diesen Nachteil auszugleichen und um weitere Leistungssteigerungen zu erreichen wurde die zweite Anwendungsvariante SMART_{plus} konzipiert (Abb. 4). Bei diesem Verfahren wird zum einen durch Hochleistungsinfiltrationsorgane der Flächenbedarf der Infiltration deutlich reduziert und zum anderen durch den Austausch des Substrates die hydraulischen Bedingungen sowie durch eine *in situ* Belüftung die Sequenz von aeroben Redoxbedingungen auch bei schwankenden Zulaufbedingungen sicher beherrschbar. Dieses Verfahren konnte im Pilotmaßstab bei kontinuierlicher Beschickung (300 l/h) mit konventionellem Kläranlagenablauf nach Schnellsandfiltration über mehr als 2 Jahre getestet werden. Auch hier wurde der verbesserte Abbau einer breiten Palette von Spurenstoffen unter aeroben Bedingungen bestätigt, allerdings ist für die weitergehende Elimination von nicht-biologisch abbaubaren Spurenstoffen eine nachgeschaltete Aktivkohleadsorption erforderlich, die sich aufgrund der geringen DOC Belastung durch lange Standzeiten auszeichnet. Bezüglich des Rückhaltes pathogener Keime, insbesondere von Viren, konnte sowohl im Regelbetrieb wie auch während Spike-Versuchen ein Rückhalt von mehr als 4-log Stufen bei einer hydraulischen Verweilzeit von weniger als 11 Stunden gezeigt werden. Diese Ergebnisse unterstreichen die Möglichkeit einer deutlichen Leistungssteigerung biologischer Verfahren für die Entfernung von Spurenstoffen und pathogenen Keimen bei einer Wasserwiederverwendung bei deutlich reduzierten Aufenthaltszeiten und Flächenbedarf ohne die Erzeugung nennenswerter Reststoffe.

Koordinator:

Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes, Technische Universität München

Projektpartner:

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

Laufzeit:

01.09.2016 – 30.04.2020

www.wasser.tum.de/trinkwave/startseite

Wesentliche Hürden für die Wasserwiederverwendung sind bislang rechtliche Unsicherheiten zu Qualitätsanforderungen, eine mangelnde Kenntnis darüber, wie zuverlässig die eingesetzten Aufbereitungsverfahren sind sowie generelle Bedenken in der Fachöffentlichkeit. Daher wurden multidisziplinäre Bewertungsansätze entwickelt, anhand derer unterschiedliche Verfahrenskombinationen und die erzielten Wasserqualitäten beurteilt werden können. Dabei flossen technische, wasserrechtliche, ökonomische und sozialwissenschaftliche Aspekte ein und ermöglichten es so, eine mögliche Implementierung einer Wasserwiederverwendung ganzheitlich zu betrachten. Eine sozialwissenschaftliche Begleitforschung entwickelte Ansätze zur Risikokommunikation mit Nutzern und Interessengruppen, um so die Akzeptanz für eine Wiederverwendung zu erhöhen. Für Genehmigungsbehörden und Planer wurden konkrete Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung der wasserrechtlichen Anforderungen des Grundwasserschutzes bereitgestellt, die die entwickelten Instrumente und technischen Leitlinien vermitteln.

Perspektiven für die Praxis

Eine erste großtechnische Umsetzung dieser neuentwickelten Aufbereitungsverfahren wurden in Kooperation mit den Berliner Wasserbetrieben in Berlin direkt als Vorstufe der Trinkwasseraufbereitung getestet. Durch eine Implementierung dieses Verfahrens könnte einerseits zusätzliches Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung der Hauptstadt bereitgestellt und andererseits die Beeinflussung von Gewässern durch Einträge aus Kommunalabwässern vermieden werden. Darüber hinaus bestehen große Potenziale für eine Vielzahl von Standorten SMART-Konzepte bei einer Uferfiltration von qualitativbeeinträchtigten Oberflächenwässern aber auch bei einer direkten Wasserwiederverwendung von Kläranlagenabläufen einzusetzen.

HypoWave

Einsatz hydroponischer Systeme zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung

Kurzbeschreibung

In HypoWave konnte erstmals gezeigt werden, dass mit entsprechend aufbereitetem kommunalem Abwasser eine effiziente Pflanzenproduktion in einem hydroponischen System möglich ist. Das kommunale Abwasser wurde dabei für die substratfreie Pflanzenproduktion im Gewächshaus der Pilotierungsanlage in Hattorf über verschiedene modular einsetzbare technische Verfahrensschritte aufbereitet. Ziel war es, ein Gesamtsystem zu entwickeln, bei dem eine effiziente Nährstoffverwertung durch die Pflanzen bei gleichzeitiger Gewährleistung einer hohen Produktqualität insbesondere hinsichtlich Hygieneparametern, Spurenstoffen und Schwermetallen gewährleistet ist. Zugleich erlaubt dieses System durch die Wasserwiederverwendung und Kreislaufführung eine signifikante Steigerung der Wasserressourceneffizienz.

Da es sich bei dem HypoWave-Konzept um eine abwassertechnische Innovation handelt, wurden neben der gegenseitigen Abstimmung siedlungswasserwirtschaftlicher und pflanzenbaulicher Aspekte auch die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen untersucht, indem sich HypoWave mit Akteuren und möglichen Kooperationsformen befasst hat. Hinsichtlich der adressierten Governance-Fragestellungen wurden ebenfalls maßgeblich beeinflussende Faktoren für die Realisierbarkeit des Transformationsprozesses wie rechtliche, marktwirtschaftliche, organisatorische und soziale Entscheidungsbedingungen betrachtet.

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit wurde das erarbeitete HypoWave-System in vier ausgewählten europäischen Machbarkeitsstudien auf die standortspezifische Eignung geprüft. Diese Studien tragen zusammen mit einer Wirkungsabschätzung dazu bei, auf Bedürfnisse vor Ort angepasste Entscheidungs-

hilfen und Lösungsstrategien für einen wasser- und nährstoffeffizienten Pflanzenbau in hydroponischen Systemen auf Basis von aufbereitetem Abwasser aufzuzeigen. Ergänzt wurden die Arbeiten und Ergebnisse durch einen Stakeholderdialog, in dem die vorgestellten Ergebnisse diskutiert und weiterentwickelt wurden.

Ergebnisse

Im Rahmen der erfolgreichen Pilotierung konnte u. a. gezeigt werden, dass unter den untersuchten Betriebsregimen Durchlauf- und Batchbetrieb ein gutes Salatwachstum möglich ist. So konnte etwa im Batchbetrieb die Salatproduktion optimiert und gleichzeitig Nitrat-Stickstoff signifikant bis zur sicheren Einhaltung der Einleitgrenzwerte reduziert werden. Anhand von Massenbilanzen konnte für das hydroponische System im Gewächshaus zudem nachgewiesen werden, dass nur geringe Stickstoffverluste (ca. 20 %) zu erwarten sind.

Grundsätzlich können über das aufbereitete Abwasser neben den Makronährstoffen N, P und K auch nahezu alle erforderlichen Mikronährstoffe zur Verfügung gestellt werden. Allerdings können Vereinzelte wie z. B. Mangan oder Molybdän durch die Abwasservorbehandlung in reduzierter Form vorliegen, so dass sie ggf. zudosiert werden müssen. Unerwünschte Schwermetallakkumulationen im Salat wurden nicht gefunden.

Hinsichtlich der Hygieneparameter konnte u. a. gezeigt werden, dass die eingesetzten weitergehenden Behandlungsstufen Ozonierung und AK-Biofilter zu einer hohen Keimreduktion im Bewässerungswasser führen. Weiterhin variierte das Mikrobiom in Abhängigkeit der Behandlungskette sowohl im Bewässerungswasser als auch auf den Salatpflanzen.



Abb. 5: Pilotierung in Hattorf: Blick auf die Abwasseraufbereitung (links) und das Gewächshaus (rechts) (TU Braunschweig, März 2017)

Die Governance-Forschung fokussierte auf die Möglichkeiten, heterogene Akteure mit Blick auf die technischen Neuerungen miteinander zu vernetzen. In eher dezentralen Fällen wurden individuelle Vertragsmodelle mit Nährstoffwiederverwendung bevorzugt. In stärker regionalen Problemlösungsansätzen stieg der Koordinationsbedarf. Eine Transformation bestehender Organisationen z. B. Beregnungsverbände oder sogar neue vermittelnde Akteure wurden als notwendig erachtet. Von ihnen erbrachte Dienstleistungen wie Hygienisierung, Qualitätsmanagement, Transport oder Vermarktung stünden unabhängig und entlang des gesamten Produktionsverfahrens zur Verfügung.

Im Rahmen der durchgeführten Machbarkeitsstudien und der Wirkungsabschätzung konnte gezeigt werden, dass sich das HypoWave-System grundsätzlich auf unterschiedlichen Skalenebenen etablieren lässt. Wobei sich das System auf Grund der erforderlichen Flächen unter Glas insbesondere in Verbindung mit kleineren und mittleren Kläranlagengrößen eignen sollte. Es konnte ebenfalls identifiziert werden, unter welchen Randbedingungen das HypoWave-System besonders wirtschaftlich sein kann. Hinsichtlich der in einem HypoWave-System erzeugbaren landwirtschaftlichen Produkte sind unterschiedliche Produktkategorien von Gemüse wie Salat und Tomaten bis hin zu Schnittblumen oder anderen non-food-Produkten möglich.

Perspektiven für die Praxis

HypoWave konnte zeigen, dass die Produktion von landwirtschaftlichen Produkten in hydroponischen Systemen auf Abwasserbasis einen effizienten Beitrag zur Wasserwiederverwendung leisten kann. Hier können durch die Kombination von Hydroponie und Gewächshausanbau auf engem Raum hohe Erträge erzielt werden. Durch die Wasserwiederverwendung sind die Systeme zudem pflanzenbaulich unabhängig vom Zugang zu Wasserrechten oder der Nutzung von Trinkwasser betreibbar. Dies ist insbesondere attraktiv für Regionen, die unterzunehmenden Wassermangel leider oder aufgrund von klimatischen Veränderungen verstärkt auf Bewässerungssysteme zum Erhalt ihrer bisherigen Fruchtfolgen angewiesen sind. Zudem hat das System den Vorteil, dass es umweltgeschlossen betrieben wird.

Koordinator:

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

Projektpartner:

ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt am Main
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart

Universität Hohenheim, Institut für tropische Agrarwissenschaften, Stuttgart

Abwasserverband Braunschweig, Braunschweig

Wolfsburger Entwässerungsbetriebe AöR, Wolfsburg

ACS-Umwelttechnik GMBH & Co. KG, Rielasingen-Worblingen

aquadrat ingenieure (a2i) Gesellschaft für Wasserwirtschaft und Informationssysteme GmbH, Griesheim

aquatune GmbH, Hahnstätten

BIOTEC Naturverpackungen GmbH und Co. KG, Emmerich am Rhein

Xylem Services GmbH, Herford

Laufzeit:

01.09.2016 – 31.12.2019

www.hypowave.de

Insofern ist auch ein möglicher Eintrag von Nähr- und Spurenstoffen in Boden und Grundwasser ausgeschlossen.

Die Vorhabenergebnisse zeigen ebenfalls, dass es für eine erfolgreiche Planung, Implementierung und Betrieb eigenständige aktive Anwenderinnovationen der beteiligten Akteure benötigt. Es sind neue Kooperationen notwendig, die auch andere Formen der Zusammenarbeit sowie Absprachen beinhalten. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die verschiedenen Akteure davon durchaus profitieren können, wenn sie rechtzeitig das Gespräch suchen.



Abb. 6: Besichtigung der Pilotierung in Hattorf durch die HypoWave-Stakeholder (ISOE, September 2018)

EPoNa

Ertüchtigung von Abwasser-Ponds zur Erzeugung von Bewässerungswasser am Beispiel des Cuvelai-Etoshabasins in Namibia

Kurzbeschreibung

Abwasserteiche sind insbesondere in ariden Ländern eine bewährte Technologie zur Abwasserbehandlung. Mangelhaft betriebene Teichsysteme können aufgrund von Überlastung und unzureichender Reinigungsleistung zu gesundheitlichen Risiken für Mensch und Tier führen. Da oftmals keine dauerhaft wasserführenden Flüsse vorhanden sind, wird das gesamte Wasser oft komplett verdunstet. Gleichzeitig stehen die dortigen Gemeinden vor enormen Herausforderungen von Wasserknappheit die durch starkes Bevölkerungswachstum und Klimaveränderung hervorgerufen werden. Die daraus auch resultierende Futtermittelknappheit betrifft in Namibia besonders Kleinbauern, die für ihr Vieh nicht mehr genügend Gras finden und dieses somit verkaufen oder schlachten müssen.

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Demonstration einer Methodik zur beispielhaften Sanierung, Erweiterung und Ertüchtigung einer bestehenden Teichanlage durch Kombination von vor- und nachgeschalteten technischen Maßnahmen hin zu einer Produktionsanlage für Bewässerungswasser. Die ganzjährige Erzeugung von Futtermitteln für die Viehhaltung ist für die Projektregion nicht nur wirtschaftlich, sondern auch soziokulturell von hoher Bedeutung. Des Weiteren können durch adäquate Wasserbehandlung und -wiederverwendung Verunreinigungen bei Überflutungsereignissen verringert, die Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung gesenkt und die Methanemissionen reduziert werden. Durch die nachhaltige Wiederverwendung von Wasserressourcen trägt das Verbundprojekt direkt zur Erreichung der UN-Entwicklungsziele (SDG) bei.

Ergebnisse

Zwischen 2016 und 2019 wurden für die Vorbehandlung ein UASB-Reaktor und Mikrosieb installiert, zur Verbesserung der Strömungsführung Leitwände eingesetzt und als Nachbehandlung ein Steinfilter in den letzten Teich gebaut. Die Initiierung einer Kläranlagennachbarschaft ermöglichte einen regelmäßigen Austausch und eine verbesserte Zusammenarbeit zwischen den Betreibern. Für die Bewässerung wurden zunächst Topfversuche mit verschiedenen Kulturen und unterschiedlicher Düngung durchgeführt. Im Anschluss erfolgte der Vergleich von drei Bewässerungstechniken: Tropfleitungen, Furchenbewässerung und ein

umgekehrt beschicktes Drainagerohr. In weiteren Versuchen werden noch verschiedene Wasserqualitäten und Pflanzen untersucht.

Die ersten Untersuchungen im Betrieb des UASB-Reaktors zeigten eine deutliche Reduzierung des partikulären als auch gelösten CSB. Somit ist die Wasserqualität im Ablauf des UASB besser als im Ablauf des Mikrosiebes, welches nur die partikulären Stoffe abscheidet. Allerdings hat das Mikrosieb eine viel höhere Umsatzleistung als der UASB-Reaktor. Der ausgefaulte Schlamm aus dem UASB kann nach Trocknung auf den Versuchsfeldern ausgebracht werden während das Siebgut aus dem Mikrosieb noch in einem weiteren Behandlungsschritt stabilisiert werden muss. Dort kann allerdings das entstehende Methangas thermisch in einem BHKW verwertet werden.

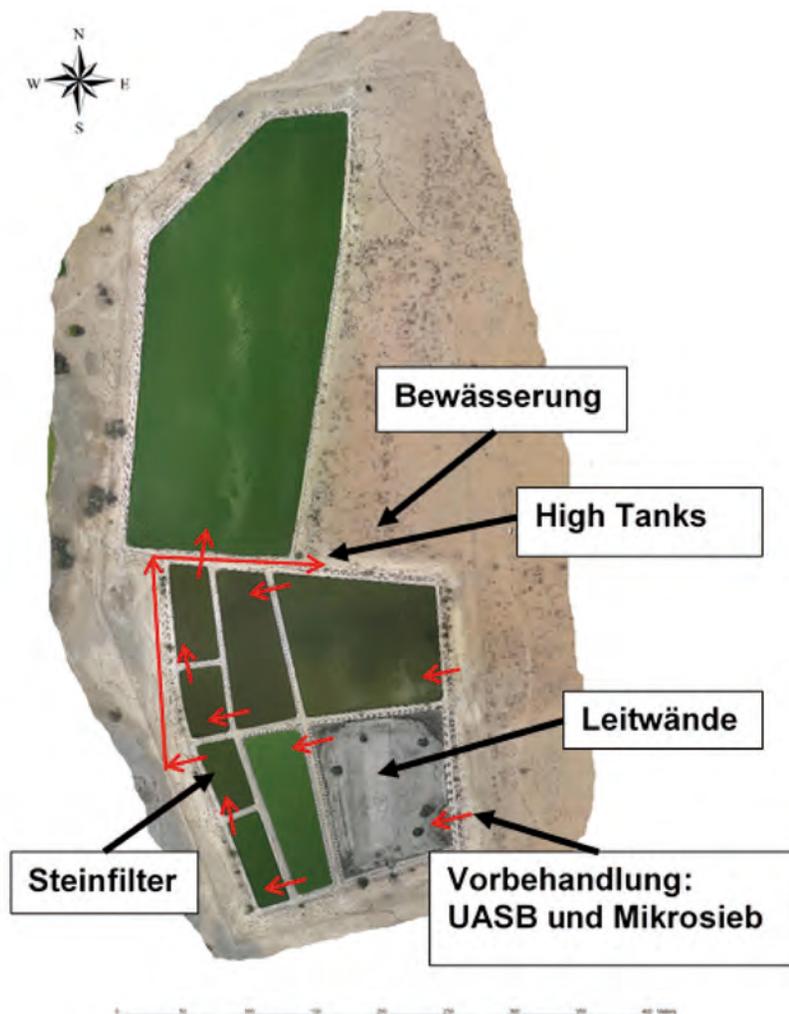


Abb. 7: Luftaufnahme der EPoNa-Abwasserteichanlage mit Ertüchtigungen (Fließschema mit roten Pfeilen gekennzeichnet)

Die schwimmenden Leitwände konnten mit einfachen lokal vorhandenen Mitteln in den ersten Teich eingezogen und in Position gebracht werden. Dadurch verbesserte sich direkt die Strömungsführung und somit die reale Aufenthaltsdauer des Abwassers im Teich. Für eine spätere Entschlammung können die Wände entfernt und der Teich maschinell geräumt werden.

Durch den Steinfilter, der ein Jahr nach der Vorbehandlung in Betrieb genommen wurde, konnte bereits in kürzester Zeit eine Reduzierung der Algen im Ablauf der ertüchtigen Straße festgestellt werden, eine weitere Verbesserung der Ablaufqualität ist nach längerem Betrieb noch zu erwarten.

Auch eine Verbesserung der hygienischen Parameter ist zu erwarten, was bis Projektende sowohl für die Teichanlage als auch die landwirtschaftliche Fläche noch weiter erfasst und ausgewertet werden wird.

Perspektiven für die Praxis

Die Nachfrage zur Verbesserung der Abwasserbehandlung in Namibia und in vielen weiteren ariden Ländern ist sehr groß. Insbesondere die Nutzung des gereinigten Wassers in der Landwirtschaft stellt eine wichtige Perspektive dar. Durch Klimaveränderungen wird es in diesen Regionen für Landwirte immer schwieriger ganzjährig genügend Futtermittel für die Viehhaltung zu produzieren.

Die Wiederverwendung von gereinigtem Wasser aus Abwasserteichen stellt eine ideale, an lokale Gegebenheiten angepasste Technologie dar, um einerseits die Ressource Wasser als auch die enthaltenen Nährstoffe sinnvoll zu nutzen.

Eine weitere Herausforderung für viele Kommunen ist neben dem Klimawandel das starke Bevölkerungswachstum. Gerade in Klein- und Mittelstädten Afrikas steigt dadurch der Bedarf an Trinkwasser und damit einhergehend an Abwasserbehandlung. Abwasserteichanlagen müssen an dieses Wachstum angepasst werden. Der Vorteil einer technischen Vorbehandlung durch UASB-Reaktoren oder Mikrosieben liegt in der Nutzbarkeit des Biogases und der Verwertung des ausgefaulten Schlammes als Dünger in der Landwirtschaft. Im Vergleich zum Ausbau mit weiteren Teichen bietet die Vorbehandlung einen geringeren Platzbedarf.

Schwimmende Leitwände und Steinfilter können mit lokal vorhandenen Materialien gebaut und installiert werden. Somit bieten sie auch eine kostengünstige Möglichkeit, um die Ablaufqualität aus Abwasserteichen zu verbessern.



Abb. 8: Hauptteich: Erkennbar ist die Vorbehandlung im Hintergrund und eine der zwei eingesetzten Leitwände

Koordinator:
Prof. Dr. Susanne Lackner, Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Abwasserwirtschaft

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

Laufzeit:
01.09.2016 – 31.08.2020

www.epona-africa.com



Abb. 9: Bewässerungsfläche mit High Tanks



Abb. 10: Mikrosieb

REMEMBER

Ressourcen und Energie-Effiziente Wasser-Membranfiltration mittels Dielektrophorese

Kurzbeschreibung

Einhergehend mit dem Wachstum der Weltbevölkerung, steigt auch der globale Bedarf an Trinkwasser sowie an Bewässerungswasser für die Landwirtschaft. Besonders in ariden und semiariden Regionen stellt die Wasserversorgung ein zunehmendes Problem, mit zum Teil drastischen Konsequenzen für die dort lebende Bevölkerung dar. Vorhandene Grund- und Oberflächenwasser können nur durch geeignete Filtrationsverfahren nutzbar gemacht werden.

Eine mögliche Quelle zur Minderung der Wasserknappheit stellen Grund- und Oberflächenwasser dar. Diese müssen jedoch vor der Verwendung als Trink- und Bewässerungswasser für die Landwirtschaft, aufbereitet werden. In diesem Zusammenhang kommen vor allem Technologien zum Einsatz, welche auf Filtermembranen beruhen, da diese sehr flexibel einsetzbar sind. Neben großtechnischen Anlagen, sind hier vor allem für die lokale Versorgung auch Klein- und Kleinstsysteme ein möglicher Lösungsansatz. Ein Beispiel für einen solchen Kleinfilter stellt der Wasserrucksack PAUL des Projektpartners MARTIN Systems GmbH dar. Hierbei handelt es sich um einen tragbaren Membran-Wasserfilter zur Trinkwasseraufbereitung, der selbst in abgelegenen Gebieten eine tägliche Produktion von 1200 Litern sauberem und sicherem Trinkwasser aus Grund- oder Oberflächenwasser erlaubt. Dieser basiert auf dem Ultrafiltrationsverfahren und ist in der Lage sowohl suspendierte Partikel, als auch pathogene Bakterien und Viren als Retentat abzutrennen und somit rd. 400 Menschen (nach Sphere-Standards) zu versorgen.

Eine starke Einschränkung dieser Verfahren ist jedoch die Ablagerung der abzutrennenden Stoffe oder Partikel auf der Membranoberfläche, was als Fouling bzw. Scaling bezeichnet wird. Im Falle der Membranfiltration sind diese Ablagerungen auf der Membranoberfläche in erster Linie auf ein Biofouling, d. h. die Bildung eines Gels durch organische Komponenten, sowie durch Rückstände anorganischer Salze (Scaling) im Grund- und Oberflächenwasser zurückzuführen. Im fortlaufenden Betrieb bewirken diese Verunreinigungen eine kontinuierliche Verringerung des Wasserflusses durch die Membran und somit der Filterleistung. Dementsprechend muss eine Reinigung der Filterfläche in bestimmten Intervallen (je nach Verschmutzungsgrad des zu filtrierenden Wassers) erfolgen, um eine kontinuierliche Nutzung zu ermöglichen.

Hier soll nun das Verbundprojekt „Ressourcen- und energieeffiziente Wasser- Membranfiltration mittels Dielektrophorese“ (REMEMBER) ansetzen. Das Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung von Membransystemen, welche durch den physikalischen Effekt der Dielektrophorese (Manipulation von Partikeln durch angelegte inhomogene, elektrische Felder) ein stark verringertes Fouling an der Filteroberfläche, und somit eine deutlich gesteigerte Effektivität und Lebensdauer, sowie erheblich verlängerte Wartungsintervalle aufweisen sollen. Die Herstellung der Membranen erfolgt hierbei durch die Kombination verschiedener innovativer Beschichtungs- und Strukturierungstechniken, die zielgerichtet und anwendungsfokussiert weiterentwickelt werden. Das Projekt umfasst die Entwicklung von kostengünstigen Verfahren, sowohl für die Herstellung von

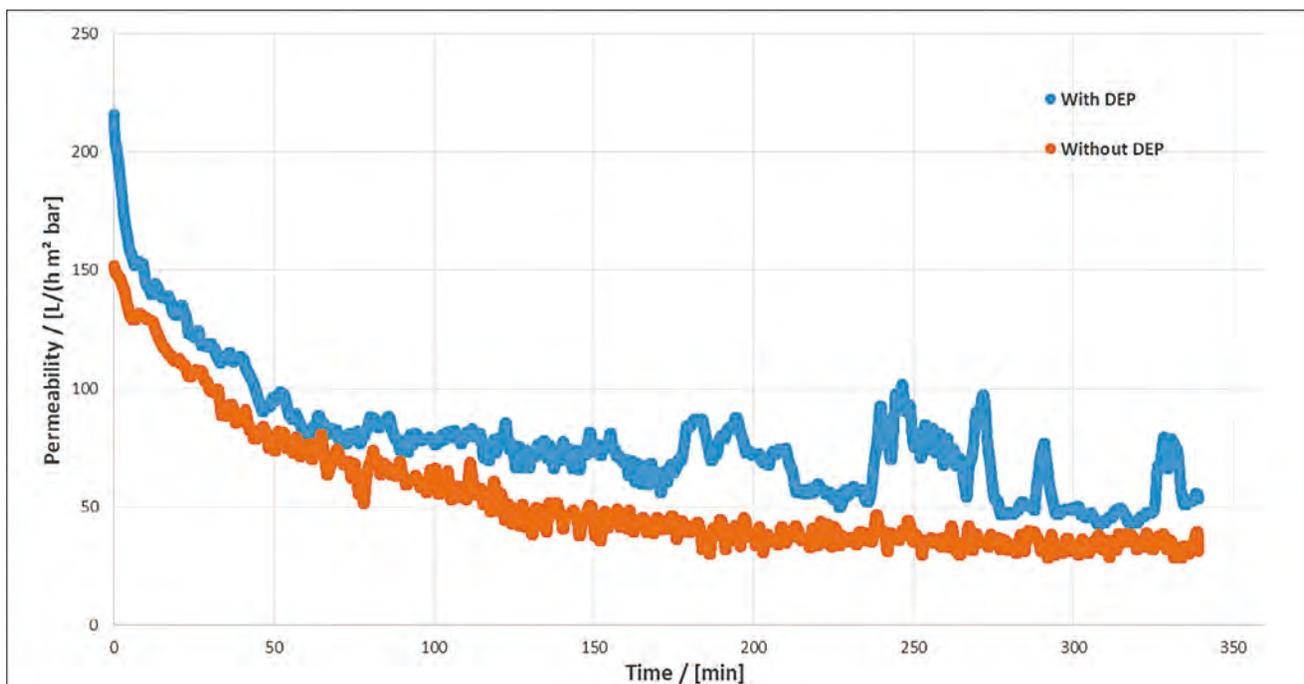


Abb. 11: Permeabilität funktionalisierter und nicht funktionalisierter Membranen in Klarwasser

im Siebdruckverfahren aufgetragenen Elektrodenstrukturen auf verschiedenen Membransubstratoberflächen, als auch die Inline- Atmosphärendruck-Beschichtung mit geeigneten dielektrischen Schichten zur Erhöhung der Alterungsbeständigkeit und Maximierung der wasserabweisenden Eigenschaften, um zusätzlich ein Ablagern von Fouling-Substanzen zu verringern.

Ergebnisse

Nach Projektaufstart im Dezember 2016 konnten die ersten Labormuster eines mit funktionalisierten Membranen ausgestatteten Filtermoduls nach rund einem Jahr Entwicklungszeit im Frühjahr 2018 hergestellt werden. Hierbei waren die thermischen Grenzen der eingesetzten Flachmembranen zunächst die größte Entwicklungshürde. So mussten sowohl Niedertemperatur- aushärtende Druckpasten zur Herstellung der Elektrodenstrukturen, als auch kalte bzw. Niedertemperatur-Beschichtungsverfahren zur Abscheidung von fouling-resistenten, permeablen Isolatorschichten zwischen bzw. auf den Elektrodenstrukturen gefunden bzw. entwickelt werden. Für die experimentelle Bestätigung der funktionalisierten Membranen wurden im weiteren Projektverlauf zwei Vakuum- Laborprüfstände (UFT und MARTIN Systems) genutzt, um die Permeabilitäten der funktionalisierten Membranen zu messen und ihre Funktion nachzuweisen (Abb.11). Anschließend lag der Fokus der Entwicklungsarbeiten vor allem auf der Reduzierung des Energiebedarfs der dielektrophoretisch-funktionalisierten Flachmembranmodule.

Nach erfolgreichem Abschluss der Laboruntersuchungen konnte im Frühjahr 2019 ein Upscaling des Laboraufbaus erfolgen und eine Pilotanlage mit einem geplanten Durchsatz von rd. 3,5 m³/d gebaut und auf einer Kläranlage in der Nähe von Bremen installiert werden. Diese Anlage (Abb. 12) dient nun bis zum geplanten Projektabschluss zum 31.12.2019 dem Sammeln von Daten und Erkenntnissen zu Leistung, Energiebedarf und vor allem der Lebensdauer der eingesetz-

Koordinator:

Dr.-Ing. José Ordóñez, MARTIN Systems GmbH

Projektpartner:

Universität Bremen, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT)

Nb technologies GmbH

Plasmatreat GmbH

Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM-Bremen

Weser Umwelttechnik

Laufzeit:

01.10.2016 – 31.12.2019

www.remember-projekt.de

ten funktionalisierten Flachmembranmodule um hier eine abschließende ökonomische Bewertung zu ermöglichen.

Perspektiven für die Praxis

Bei einer positiven ökonomischen Bewertung des Betriebs der Pilotanlage kann die im Verbundprojekt REMEMBER entwickelte Technologie sehr schnell und einfach auf ein großes Produktportfolio bei MARTIN Systems GmbH übertragen werden und somit einen weltweiten Einsatz finden. Ganz im Sinne der Ziele der BMBF-Fördermaßnahme WavE besitzt die dergestalt optimierte Flachmembran-Ultrafiltration das Potenzial „... das Missverhältnis zwischen steigendem Wasserbedarf und begrenzten Wasserressourcen auszugleichen und der Wasserverknappung zu begegnen“ und dient damit vor allem der nachhaltigen Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserrückgewinnung.

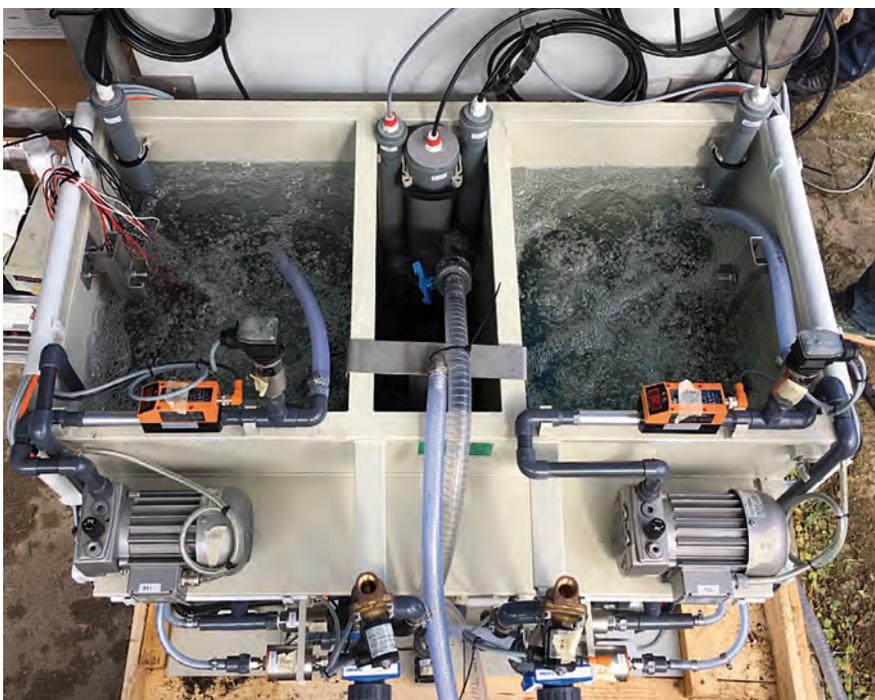


Abb. 12: Pilotanlage mit Filterkammern (links DEP, rechts Standard)

WaKap

Modulares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Deionisierung am Beispiel Vietnam

Kurzbeschreibung

Das Ziel des Verbundprojektes ist ein modulares und kombinierbares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung und Arsenentfernung zu entwickeln und im Pilotmaßstab in Vietnam zu überprüfen. Das Projekt wurde am Beispiel Vietnam durchgeführt, da die Verhältnisse dort als repräsentativ für viele Länder in Südostasien angesehen werden können. Durch die Eindringung von Meerwasser in viele küstennahe Regionen weist das Grundwasser, insbesondere während der Trockenzeiten, einen hohen Salzgehalt auf. Das Grundwasser in der Region ist außerdem mit teilweise sehr hohen Arsen-Konzentrationen belastet, ein sehr giftiger Stoff der aus dem natürlichen Sedimentgestein ausgewaschen wird.

Die Behandlung von arsenhaltigem Grundwasser erfolgt durch eine In-situ-Behandlung. Hierfür wird Sauerstoff im Grundwasser angereicht und somit Arsen unterirdisch in einer Eisen-Oxid-Matrix eingebunden. Wesentliche Vorteile dieses Verfahrens sind der niedrige Energiebedarf, der geringe Wartungsaufwand und vor allem die Tatsache, dass es sich um einen chemikalien- und abfallfreien Prozess handelt. Die Aufbereitung von versalztem Grundwasser erfolgt durch die Kombination von Kapazitiver Deionisierung (Engl.: Capacitive Deionisation, CDI) und Membranfiltration (Niederdruck-UO, NF), um den Energieverbrauch zu reduzieren sowie die Flexibilität des Prozesses bei wechselnden Salzkonzentrationen zu erhöhen (Trockenzeit, Regenzeit).

Die Grundwasseraufbereitung mit dem In-Situ-Verfahren zur Arsenentfernung und der CDI zur Entsalzung von Brackwasser wurde im Mekong Delta im Landesinneren und an der Küste getestet. Im Projekt wurde außerdem eine Nachhaltigkeitsbewertung des gesamten Konzeptes durchgeführt. Auf Basis der Projekt-Ergebnisse soll nach Projektende ein marktfähiger Prototyp für Kommunen und private Nutzer in Südostasien entwickelt werden.

Ergebnisse

Zur Konzipierung und Planung der Pilotanlagen in Vietnam wurden Laborversuche zur Untersuchung der Einflüsse von Betriebsparametern auf den CDI Prozess sowie computerbasierte Modellberechnungen für die Kombination mit UO/NF durchgeführt. Der spezifische Energieverbrauch (SEC) für Salzkonzentrationen bis 2 g/l (NaCl) lag bei < 2 kWh/m³. In diesem eingeschränkten unteren Konzentrationsbereich zeigt der CDI Prozess Vorteile gegenüber der herkömmlichen UO. In den Versuchen mit verschiedenen kommerziellen CDI Modulen ergaben sich bei höheren Salz-Konzentrationen jedoch deutlich höhere SEC Werte. Eine energetisch konkurrenzfähige Meerwasserentsalzung zur UO mittels einstufigem CDI-Modul ist nach derzeitigem Stand der Technik nicht möglich. Allerdings kann der CDI Prozess beispielsweise einer Niederdruck UO zur Nachbehandlung zugeschaltet werden („Polisher“).

Im Juni 2017 wurde die erste Pilotanlage zur Arsen-, Eisen-, Mangan- und Ammoniumentfernung in der An Giang Provinz (Mekong-Delta) in Betrieb genommen (Abb. 13 links). Die Arsenkonzentrationen lagen zu Beginn des Aufbereitungsprozesses bei ca. 0,08 mg/l und somit um das 8-fache oberhalb des WHO-Grenzwerts von 0,01 mg/l As. Nach der ersten Pilotierungsphase von etwa drei Monaten konnte – neben einer kompletten Eisenentfernung - bereits eine hervorragende Arseneliminierung von > 97 % beobachtet werden (Abb. 14 (1)). Eine Mangan- und Ammoniumentfernung zu Werten unterhalb der Trinkwassergrenze dauerte jedoch etwas länger (Abb. 14 (3)). Auch nach etwa 2,5 Jahre Betrieb konnte die hohe Arseneliminierung unterhalb des Grenzwerts bestätigt werden. Für die Wasseraufbereitung und -förderung verbraucht die Anlage weniger als 1,5 kWh/m³ pro Nutzwasser.

Die Stabilität der Arsenentfernung bei Überziehungen der Grundwasserentnahme, Betriebsstörungen, usw. (Abb. 14 (2)) wurde systematisch untersucht. Auch bei einer Überziehung

Pilot plant An Giang

Iron + Arsenic removal / Capacity: 2 m³/day



Pilot plant Tra Vinh

Iron + Arsenic removal / Capacity: 10 m³/day



Abb. 13: Pilotanlagen in An Giang (links) und Tra Vinh (rechts)

von bis zu 250%, bleibt die maximale Arsenkonzentration unterhalb der Trinkwassergrenze von 10 µg/l. Dies spricht für die Stabilität und Robustheit des Verfahrens.

Im Juni 2018 wurde die zweite In-Situ Pilotanlage zur Entfernung von Eisen, Arsen und zusätzlich zur Entsalzung von Brackwasser mit einer größeren Kapazität (10 m³/Tag) im Standort „Tra Vinh“ im Mekong Delta installiert. Dort weist das Grundwasser erhöhte Salzkonzentrationen von >1.5 g/L (NaCl) auf, sodass ein nachgeschaltetes CDI-Modul zur Entsalzung nachgeschaltet wurde (Abb. 13 rechts). Die dritte Pilotanlage zur hochsalinem Brackwasser wurde in Can Gio aufgebaut, um verschiedene UO-Membranen in Kombination mit CDI zu testen.

Die Pilotanlage in Tra Vinh wird außerdem mit Photovoltaik und Windenergie betrieben. Mit einer Wetterstation zur Aufzeichnung der Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit konnte die Leistung der installierten PV- und Windkraftanlage evaluiert werden. Zur Bewertung des Potentials von erneuerbaren Energien in Vietnam wurde vom Projektpartner Fraunhofer ISI auch ein Energiekonzept zum autarken Betrieb der Wasseraufbereitungsanlagen mittels regenerativer Energiequellen erstellt, inkl. die Bewertung verschiedener Technologien in Form eines Technologieradars.

Perspektiven für die Praxis

Die positiven Ergebnisse der In-situ Anlage zeigen die Umsetzbarkeit und das Potential der Anlage als nachhaltige Option zur Arsenentfernung in Vietnam. Eine vermarktungsfähige Prototypanlage zur Enteisung und Arsenentfernung wird in Zusammenarbeit mit dem deutschen Projektpartner Winkelkemper in Zusammenarbeit mit vietnamesischen Partnern auf den Markt gebracht.

Koordinator:
Prof. Dr. Jan Hoinkis, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft

Projektpartner:
Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe
Karl Spiegl GmbH & Co. KG, Nufringen
Winkelkemper GmbH, Wadersloh

Laufzeit:
01.09.2016 – 31.12.2019

www.wakap.de

Die Versorgung der CDI-Modul mittels PV ermöglicht, ein nachhaltigen Betrieb. Jedoch sind die Investitionskosten für kleinkalierte Anlagen noch zu hoch. Außerdem, aufgrund hochsubventionierter Energiekosten in bestimmten Bereichen scheinen regenerative Energiequellen in Vietnam derzeit wirtschaftlich wenig interessant zu sein. Die Pilotanlage zur Entsalzung von hochsalinem Brackwasser soll die Umsetzbarkeit der CDI-Anlage in Kombination mit einer Niederdruck-UO in größeren Maßstab aufzeigen sowie die bessere Energieeffizienz und weitere Vorteile im Vergleich zur Hochdruck-UO.

Konzentrationsverlauf As, Fe, Mn

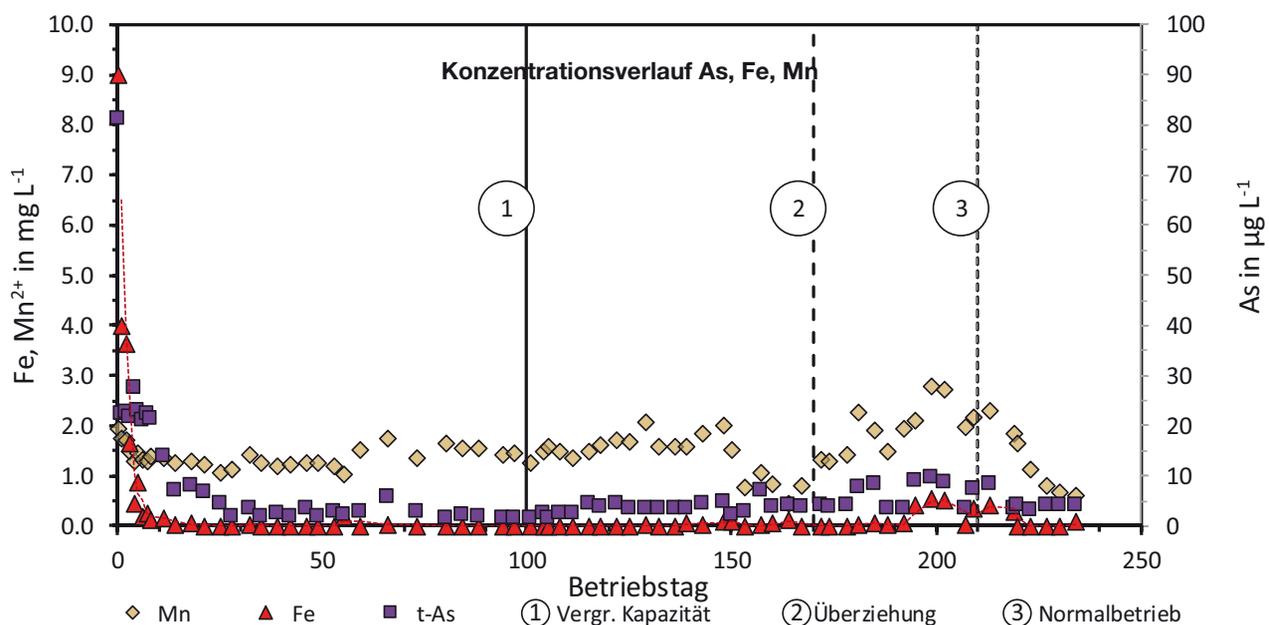


Abb. 14: Arsen-, Eisen- und Manganentfernung der ersten Pilotanlage mit drei gekennzeichneten Phasen: 1) Vergrößerung der Anlage auf 2 m³/Tag; 2) Erhöhte Grundwasserentnahme; 3) Normalbetrieb

WaterMiner

Räumlich-zeitlich abgestimmte Kreislaufführung und Wiederverwendung bergbaulicher Abwässer am Beispiel eines urban geprägten Bergbaugesbietes

Kurzbeschreibung

WaterMiner entwickelt ein Konzept für eine räumlich-zeitliche koordinierte regionale Kreislaufführung und Wiederverwendung bergbaulich belasteter Abwässer aus dem Steinkohlebergbau sowie für die bedarfsgerechte und effiziente Wiederverwendung dieser Abwässer für Bergbauzwecke und Zwecke außerhalb von Bergbaugesbietes. Es wurde eine Me-

thode zur räumlich-zeitlichen Untersuchung bergbaulichen Abwasserströme und Wiederverwendungsmöglichkeiten mit Hilfe eines Stoffstrommodells entwickelt. Weiterhin wurde ein Konzept zur Verbesserung des Oberflächenwasser- und Sedimentmanagements entwickelt. Das Projektgebiet befindet sich in Nordvietnam im östlichen Teil der Stadt Ha Long, auf der Halbinsel Hon Gai (Provinz Quang Ninh).

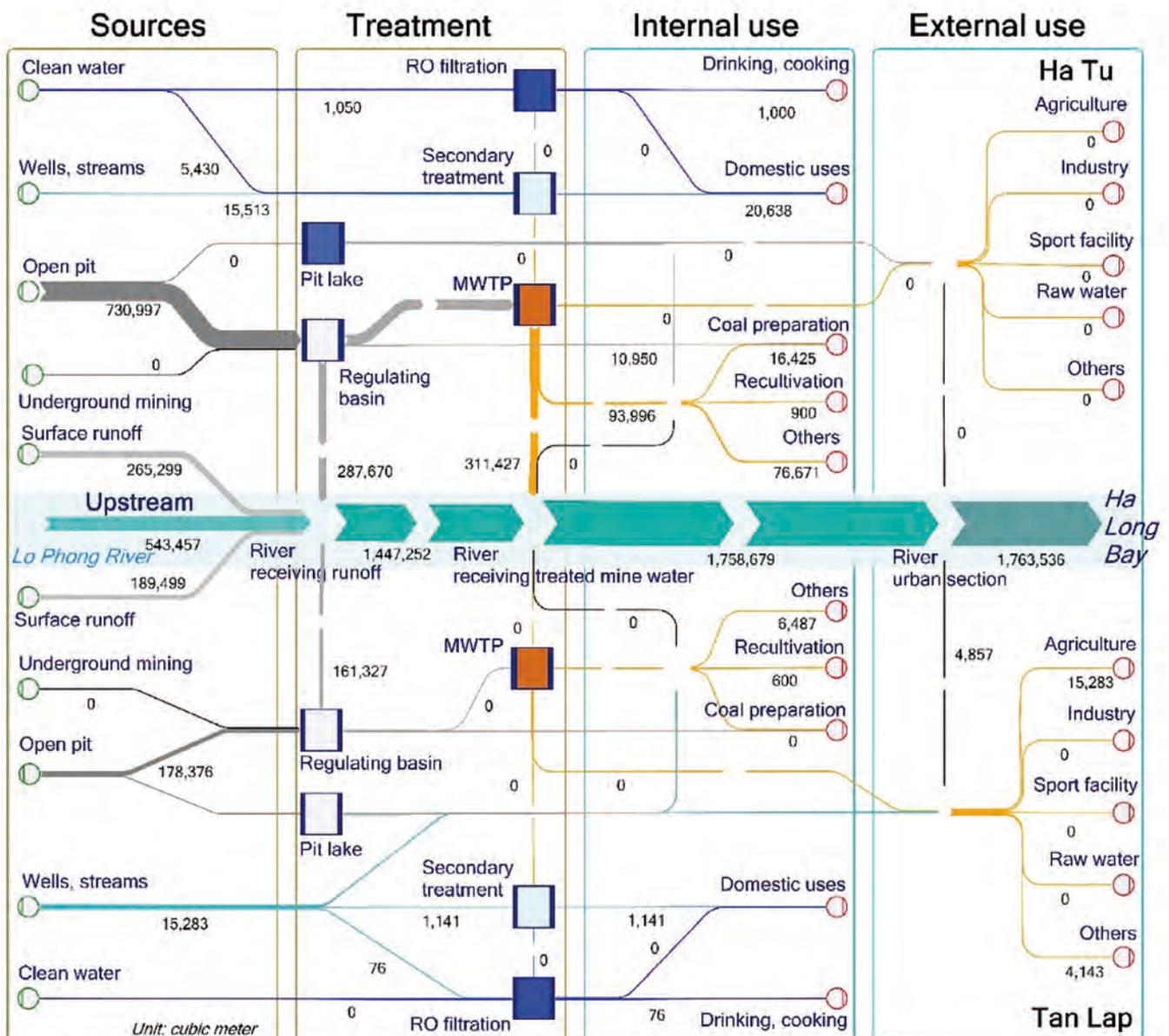


Abb. 15: Sankey Diagramm Drainage Unit Lo Phong (Ist-Zustand, Trockenzeit)

Ergebnisse

Im WaterMiner Projekt wurde eine umfassende, ganzheitliche Methodik entwickelt, die aus folgenden Komponenten besteht:

- ▶ Systemanalyse – Analyse des Systems der bergbaulichen Abwasserströme: bergbauliche Abwässer, Wasseraufbereitung, interne Nutzung sowie potenzielle externe Nutzung
- ▶ Räumlich-zeitliche Analyse – Analyse der räumlich-zeitlichen Veränderung des Systems der bergbaulichen Abwasserströme und der bergbauinternen und bergbauexternen Wiederverwendung aufbereiteter bergbaulicher Abwässer
- ▶ Stoffstromanalyse – Modellierung der räumlich-zeitlichen Veränderung des Systems der bergbaulichen Abwasserströme mit Hilfe eines Stoffstrommodells zur Ableitung und Bewertung von Wiederverwertungskonzepten

Abb. 15 zeigt das Ergebnis der Stoffstrommodellierung für den Ist Zustand am Beispiel eines Abflussgebietes bergbaulicher Abwässer im betrachteten Bergbauggebiet Hon Gai (Drainage Unit Lo Phong mit den Bergwerken Ha Tu und Tan Lap).

Insgesamt werden im WaterMiner Projekt fünf Abflussgebiete (Drainage Units) betrachtet. Neben den Anfallstellen und Anfallmengen der bergbaulichen Abwässer, wird die Abwasserbehandlung, die bergbauinterne Wassernutzung sowie die externe Wassernutzung in dem Stoffstrommodell abgebildet.

Mit Hilfe der entwickelten Methodik wurden Empfehlungen für ein verbessertes bergbauliches Abwasser-Management (Abwasseraufbereitung, interne und externe Wasserwiederverwendung) abgeleitet. Weiterhin wurde ein Managementkonzept mit Vorschlägen zum Design und zur Dimensionierung der Sedimentrückhaltung auch als Voraussetzung zur Kohlerückgewinnung gegeben. Wirtschaftliche Betrachtungen zur Wiederverwendung bergbaulicher Abwässer zeigen den betriebswirtschaftlichen Nutzen sowie den Nutzen im Sinne von Ökosystemdienstleistungen in Form möglicher Verbesserungen des Zustandes der Gewässer im Bergbauggebiet.

Perspektiven für die Praxis

Als Perspektiven für die Praxis ergeben sich aus dem Projekt WaterMiner folgende:

- ▶ **Räumlich-zeitliches Konzept für das Wassermanagement** zur Verwendung und Wiederverwendung von Abwässern in Bergbaugebieten mit Hilfe eines Stoffstrommodells.
- ▶ **Oberflächenwasser- und Sedimentmanagement** in Bergbaugebieten zur Entfernung von: Geröll und Grobstoffen, Mittelkornanteilen und Feinsedimenten, Rückgewinnung von Kohlenstaub zur Wiederverwendung
- ▶ **Tool zur Erstellung von Wasser- und Umwelt-Berichten in Bergbaugebieten:** Erfassung, Auswertung und Berichterstattung zu wasserwirtschaftlichen Daten (Daten zu Wasser und Abwasserflüssen, Abwasserbehandlung, Monitoring), Kontinuierliche Berichterstattung

Koordinator:

Prof. Dr. Harro Stolpe, Umwelttechnik + Ökologie im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum

Projektpartner:

Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. (DGFZ), Dresden
Universität Koblenz-Landau, Landau
ribeka GmbH, Bornheim
Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe

Laufzeit:

01.09.2016 – 31.12.2019

www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/forschung/waterminer.html

- ▶ **GIS-Tool zur mobilen Erfassung von Wasserinfrastrukturdaten** in Bergbaugebieten mit Hilfe der GIS-Software von CADENZA (DISY Informationssystem GmbH). Datenerfassung und -darstellung im Gelände mit Tablet-PCs (Abwasserbehandlungsanlagen, Leitungen, Gewässerquerschnitte, Monitoringeinrichtungen usw.) und Übertragung per WIFI in stationäre Datenbanken.



Abb. 16: Abwasserbehandlungsanlage Ha Tu (Drainage Unit Lo Phong)

PAkmem

Effektive Aufbereitung problematischer Prozess- und Abwässer mit keramischen Nanofiltrationsmembranen

Kurzbeschreibung (inkl. Zielsetzung)

Das Verbundprojekt PAkmem beschäftigt sich mit der Kreislaufführung von industriellen Abwässern. Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Testung eines integrativen Prozesses zur Lagerstättenwasseraufbereitung (LaWa, auch als „Produced Water“ bekannt) mit Flotation und mit keramischer Mikro-Nano-Membranfiltration (MF-NF-Membran) sowie die Abwasserbehandlung der Keramikindustrie mit keramischer NF-Membranen. Der Prozess sollte Feinstpartikel, Organik und zweiwertige Ionen entfernen, um das Wasser einleitfähig bzw. wiederverwendbar zu machen (direkte Einleitung bzw. Wiederverwendung als Brauchwasser in der keramischen Industrie und die Enhanced-Oil-Recovery-Wiederverpressung in der Öl- und Gasindustrie bei der das Wasser konditioniert wird um die Ölförderausbeute zu erhöhen). Zwei innovative Feinstpartikel-Messtechniken (Inline und Online) von den Firmen SOPAT und LUM sind speziell für das Projekt angepasst und in die Pilotanlagen integriert worden.

Eine Flotation-Anlage und die Nanofiltration-Anlage sind nach strengen Sicherheitsstandards konzipiert, ausgelegt und gebaut worden. U. a. werden diese mit Stickstoff inertisiert und bei 30 mbar Überdruck am Ölförderstandort Barnstorf der Firma Wintershall-Dea betrieben (Vermeidung von Sauerstoff-Eintritt, Abb. 17). In der Keramikindustrie sind zwei Pilotanlagen mit NF, Brackwasser-Umkehrosiose (BWRO) und Elektrodialyse (ED) bei den Firmen Duravit und Rauschert eingesetzt und in Betrieb genommen worden.

Am Ende des Projektes sollten verwertbare Ergebnisse in Form von, beispielsweise, marktfähigen Produkten entstehen.

Ergebnisse

In der ersten Hälfte der Projektlaufzeit hat sich die Arbeit auf Laborversuche, Analytik und Auswertung konzentriert. Anhand der Ergebnisse konnten Pilotanlagen in der zweiten Projekthälfte konzipiert, ausgelegt, gebaut, installiert und in Betrieb genommen werden.

Die Zwischenergebnisse des Pilotprojektes in der Öl- und Gasindustrie (Standort Barnstorf in Niedersachsen) zeigen gute Entfernung (95 %) von Partikel und Öl und Teilentfernung (Bis zu 50 %) von Divalentenionen und CSB bei stabilem Betrieb der Flotation-Filtration-Anlage trotz starken täglichen Schwankungen in der Feedwasserqualität (siehe Abb. 18). Das Betriebsverhalten der MF-Membran (bei einem durchschnittlichen Filtrationsfluss von 66 l/m²/h und einer Feedkapazität von ca. 400 l/h) deutete auf Membran-Relaxation hin. Diese bedingt vermutlich durch ein sulfoniertes Acrylsäure Co-Polymer, das als Antiscalant am Förderort verwendet wird. Die NF-Anlage konnte im stabilen Betrieb von 20 bar ca. 240-270 l/h Permeat produzieren. Ein Beispiel der Analytikergebnisse vom LaWa-Feed und NF-Permeat ist in Tab. 1 zu sehen.

Für die ersten Vor-Ort-Versuche in der Keramikindustrie wurden 19-Kanalrohrgeometrien mit niedrigstem Cut-off also geringster Porengröße und höchstmöglicher Selektivität verwendet. Diese brachten keine ausreichende Reduktion der Leitfähigkeit. So erzeugte Permeate ließen sich mittels Umkehrosiose (RO) weiterverarbeiten. Die so erzeugten Endwässer hatten jedoch zu geringen Leitfähigkeiten. Im Berichtszeitraum wurden daher Brauchwässer für Ansatzversuche mittels Verschneidens von NF- und RO-Permeaten erzeugt. Hierzu wurden die bereits in der Anlage verbauten Membranen verwendet („Membran-Batch 1“). Es wurden 3 Batche an Brauchwasser bearbeitet. Im Schnitt konnten ca. 14 % Rückhalt (bezogen auf die Startleitfähigkeit) für die NF-Stufe erreicht werden (spezifischer Permatfluss im Bereich 8 l/(m²hbar)). Eine Weiterverarbeitung mittels RO zeigte Rückhalte im Bereich von 98 % (bezogen auf die Ausgangsleitfähigkeit des NF-Permeates). Durch Verschneiden konnte der Fa. Duravit ein Ansatzwasser mit einer Leitfähigkeit von 243 µS/cm für weitere Versuche zur Verfügung gestellt werden. Die Elektrodialyse (ED) hat als Nachbehandlungstechnologie gutes Potenzial gezeigt und wird momentan weiter untersucht. Am Standort der Firma Rauschert haben die NF-Membranen gute CSB-Entfernung erreicht und um diese weiterhin zu optimieren werden UF-Membranen als Vorbehandlung eingesetzt.

Tab. 1: Auszug aus den Analytikergebnissen der Pilotierung mit Produced Water der O&G-Industrie

Parameter	Wert im Feed [mg/l]	Wert im Permeat [mg/l]	Rückhalt %
Kohlenwasserstoff (C10-C40)	<30	<0,1	>99%
TSS	>20	<10	>50%
Ca	13700	11700	14,6%
Mg	2290	1340	42,5%
SO ₄	117	35	70,1%

Im letzten Teil des Projektes wird eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsanalyse und Erstellung eines Business-Cases für die Vermarktung erfolgen. Die Projektlaufzeit endet am 31.03.2020.

Perspektiven für die Praxis

Die Ergebnisse sind, vor allem in der Öl- und Gasindustrie, besonders vielversprechend. Die Firma Wintershall-Dea überprüft zurzeit intern ob der Einsatz der Technologie/n an einem anderen Standort in größerem Maßstab durchgeführt werden kann, um eine kostenintensive externe Entsorgung zu vermeiden. Für die Praxis bietet sich nach Projektende den Einsatz einer neuen Flotationstechnologie für eine sauerstofffreie Umgebung nach Baustandards der Öl-&Gasindustrie in den Regionen EU, China und Nordamerika an. Außerdem wird der kommerzielle Einsatz der keramischen Nanofiltration mit engeren Porengrößen (MWCO von 200 Da) sowie der ED für die neue Anwendungsgebiete (O&G und Keramikindustrie) durch die Pilotierungsarbeit ermöglicht. Die Feinstpartikelmesstechniken der Firmen SOPAT und LUM wird ebenfalls für das neue Stoffsystem optimiert und in den entsprechenden Märkten und Geografien vermarktet. Das PAKmem-Projekt wird damit erfolgreich abgeschlossen.

Koordinator:

Dr.-Ing. Matan Beery, akvola Technologies

Projektpartner:

Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Hermsdorf/Dresden

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Leipzig

SOPAT GmbH, Berlin

Andreas Junghans - Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG, Frankenberg

Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH, Veilsdorf

LUM GmbH, Berlin

DURAVIT Sanitärporzellan Meißen GmbH, Meißen

Laufzeit:

01.10.2016 – 31.03.2020

www.pakmem.de



+



Abb. 17: Flotation+MF (akvola) + keramische NF (IKTS, Junghans) und LUM-/Sopat-Sonden



Abb. 18: Sichtproben vom 26.09.2019: links LaWa Zulauf, rechts Membranpermeat

WEISS

Effiziente Kreislaufführung von Kühlwasser durch integrierte Entsalzung am Beispiel der Stahlindustrie

Kurzbeschreibung

Wasser bildet ein wesentliches Element zur Prozess- und Produktkühlung in der Stahlindustrie. Durch die Kreislaufführung des Kühlwassers und Verdunstung erfolgt eine Aufkonzentrierung von Salzen und Härtebildnern, sodass zur Vermeidung von Korrosion bis zu 200 m³/h ausgeschleust werden müssen. Aufgrund der komplexen chemischen Zusammensetzung der Kühlwässer durch Einsatz von Kühlwasserbehandlungskemikalien sowie den Eintrag von Feststoffen, Ölen und Fetten hat sich bis heute kein chemikalienfreier und wirtschaftlicher Aufbereitungsprozess im Markt etabliert.

Ziel des Verbundprojektes war die Effizienzsteigerung beim Kühlwassereinsatz zur Verringerung der Absalzwassermenge um bis zu 50 % und somit der Frischwassermenge. Dies entspricht für einen Stahlstandort mit einem großen Warmwalzwerk einer Wassereinsparung von bis zu 800.000 m³/a.

Das Ziel wurde durch Entwicklung innovativer Techniken (Entsalzung: kapazitive Deionisation, Fouling resistente beschichtete Umkehrosmosemembran; Konzentrateinengung: Hochdruckumkehrosmose, Evaporation) und Verfahrenskonzepte in Kombination mit einem Simulationstool zur Bestimmung der optimalen Verfahrensintegration sowie einem Mess- und Regelungskonzept zur bedarfsgerechten Dosierung von Wasserbehandlungskemikalien erreicht.

Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes wurden zwei repräsentative betriebliche Kühlkreisläufe zur direkten Kühlung und zur indirekten Kühlung mit Umlaufvolumenströmen von 1.000 – 1.500 m³/h bzw. max. 600 m³/h näher betrachtet. In enger Zusammenarbeit mit dem Produktionsbetrieb wurden für die Entsalzung folgende Anforderungen an die Wasserzusammensetzung definiert: Leitfähigkeit: < 200 - 250 µS/cm, Chlorid/Sulfat < 20 - 30 mg/L, Härte < 0,8 mmol/l die sowohl im Labormaßstab und während der betrieblichen Erprobung erfüllt wurden.

Zur Minimierung der Einträge von Chlorid und Organik erfolgte die Entwicklung eines Mess- und Regelungskonzeptes für eine bedarfsgerechte Chemikaliendosierung, basierend auf der patentierten BFI online Feststoff-Messung sowie der zeitnahen Messung der mikrobiologischen Aktivität basierend auf dem ATP-Gehalt in 5 min. Beide Messverfahren wurden erfolgreich betrieblich erprobt. Exemplarisch wurde die Anwendbarkeit der online Feststoff-Messung im Bereich von 20 – 40.0000 mg/L bei Abweichungen teilweise < 5 % zwischen Labor- und Onlinemesswert nachgewiesen werden.

Basierend auf den Laborergebnissen der Untersuchung der Entsalzungs- bzw. Konzentrateinengungsverfahren erfolgte die Auslegung und Realisierung der Gesamtversuchsanlage



Abb. 19: Pilotanlage aus dem Projekt „WEISS“ zur Entsalzung von Kühlwasser (Foto: SMS group GmbH)

(Vorbehandlung; Entsalzung: CDI, RO (mit modifizierten RO-Membranen); Konzentrat-Einengung: Hochdruck-RO, Evaporation) mit einer Kapazität von 1 m³/h. Die Demonstration erfolgte an zwei betrieblichen Kreisläufen. Hierbei zeigten die beschichteten Membranen zu Beginn einen geringeren Fluxabfall als die unbehandelten Membranen. Als optimale Betriebsweise erwies sich eine Absenkung des pH-Wertes im Zulauf der RO (Betriebsdruck 30 bar, Ausbeute: 75 %, Flux: 18 l/m²h), HDRO (Betriebsdruck: 60 bar, Ausbeute: 90 %) und Evaporation (Ausbeute: 90 %, Energiebedarf: 15 kWh/m³ Destillat) zur Vermeidung von Scaling. Die erzielten Permeate und Destillate erfüllten die Anforderungen für eine betrieblichen Wiedereinsatz nach einer pH-Anpassung. Im Gegensatz zu den Laborergebnissen wurde beim Betrieb der CDI ein irreversibles Absinken der Entsalzungsleistung auf unter 30 % bei konstanter Ausgangsleitfähigkeit beobachtet. Dies korrelierte mit einer Erhöhung der eingesetzten Kühlwasserbehandlungskemikalien sowie einen produktionsbedingten Anstieg des Organik-Gehaltes im Kühlwasser. Ein expliziter Störstoff konnte aufgrund der Komplexität bisher nicht ermittelt werden. Im indirekten Kühlkreislauf erfolgte der Betrieb der CDI ohne Auffälligkeiten mit einer Reinwasserausbeute von 72 % und einem maximalen Cl-Abscheidegrade von 89 % sowie Erfüllung der Anforderungen für einen betrieblichen Wiedereinsatz. Der Energiebedarf betrug 1 kWh/m³ Feed.

Die Kreisläufe wurden mit Hilfe des Simulationstools SIMAB# zur Simulation der Stoff- und Wasserströme unter Berücksichtigung der Einträge und Senken für Wasserchemikalien und Salze beschrieben und verschiedene Szenarien simuliert. Anhand der ermittelten betrieblichen Daten und Analyseergebnisse erfolgte ein Life Cycle Assessment für eine Bewertung der Entsalzungsverfahren unter ökologischen und ökonomischen Aspekten zur Auswahl geeigneter Verfahrenskombinationen.



Abb. 20: Hochdruck-Umkehrosiose im Versuchscontainer

Koordinator:
Martin Hubrich, VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

Projektpartner:
SMS group GmbH, Düsseldorf
Technische Universität Berlin - Institut für Technischen Umweltschutz, Berlin
Universität Duisburg-Essen - Lehrstuhl für Technische Chemie II, Essen
Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel GmbH & Co. KG, Witten
WEHRLE Umwelt GmbH, Emmendingen
Institut für Automation und Kommunikation e.V., Magdeburg
Fontaine Engineering und Maschinen GmbH, Langenfeld

Laufzeit:
01.10.2016 – 31.03.2020

www.bfi.de/de/projekte/weiss-effiziente-kreislauffuehrung-von-kuehlwasser-durch-integrierte-entsalzung-am-beispiel-der-stahlindustrie

Perspektiven für die Praxis

Die entwickelten Verfahren und Verfahrenskonzepte sind branchenübergreifend auf alle Kühlwasserkreisläufe für indirekte Kühlungen (Anlagen-/Prozesskühlung ohne Kontakt zwischen Kühlwasser und Produkt) übertragbar.

Basierend auf den Ergebnissen von WEISS und einer zunehmenden Wasserverknappung ergab sich ein Forschungs- und Entwicklungsbedarf bezüglich der Erhöhung der Wasserwiederverwendung (Ermittlung von CDI Störstoffen und deren Entfernung, Weiterentwicklung der Antifouling-Beschichtung von RO-Membranen, Vorbehandlung und Entsalzung weiterer im Stahlwerk verfügbarer Abwässer, Konzentratverarbeitung zu Mono-Salzkonzentraten für wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Umgang, Ermittlung von Wiedereinsatzmöglichkeiten), der Optimierung der zeitlichen und räumlichen Wassernutzung mittels Prognosemodellen und digitalem Kühlwassermanagement (Erstellung eines digitalen Zwillings) und Entwicklung von wassersparenden bzw. wasserfreien Kühlungsverfahren.

WaRelp

Water-Reuse in Industrieparks

Kurzbeschreibung

Das Verbundprojekt WaRelp beschäftigt sich mit den in Industrieparks anfallenden Abwässern, deren bedarfsorientierten Aufbereitung und Wiederverwendung für verschiedene Zwecke. Ziel des konzeptionellen Ansatzes ist es eine Aufbereitung nur in dem Umfang durchzuführen, wie Brauchwasser einer bestimmten Qualität für weitere Nutzungszwecke benötigt wird und dadurch Frischwasser und auch Energie einzusparen. Berücksichtigung finden sowohl technische, ökologische, ökonomische sowie soziale Aspekte, weshalb die Projektarbeit insbesondere durch ihre Breite gekennzeichnet ist.

Über die Entwicklung eines Modellindustrieparks sowie Stoffstrommodells werden verschiedenen Water-Reuse-Konzepte entworfen und hinsichtlich wirtschaftlicher, ökologischer und technischer Kriterien bewertet. Weiterhin werden Lösungen für die bei der komplexer werdenden Prozesssteuerung steigenden Anforderungen an Mitarbeiter entwickelt. Neben der konzeptionellen Betrachtung wird auch die technische Umsetzung u. a. mit der Analyse der Anforderungen an das Leitungsnetz und die Messtechnik bearbeitet. Praktische Versuche für technische Problemstellungen, welche für die Zielsetzung der Wasserwiederverwendung in Industrieparks als besonders relevant identifiziert wurden, runden das Gesamtprojekt ab. Dazu gehört die Reduzierung des refraktären CSB, die biologische Behandlung salzhaltiger, organisch belasteter Abwässer sowie Verfahren zur Entsalzung. Die Zusammenführung der Ergebnisse in eine übertragbare Hilfestellung für das Wassermanagement in Industrieparks ist das übergeordnete Ziel.

Ergebnisse

Das Forschungsprojekt startete mit der Entwicklung von Steckbriefen zu Wasserströmen verschiedener industrieller Anlagen sowie zu gängigen Abwasserbehandlungstechniken aus der Literatur. Eine folgende Bestandsaufnahme und Interviews in bestehenden Industrieparks der drei Untersuchungsländer Deutschland, China und Vietnam führte zur Entwicklung von zwei Konzepten, die Mithilfe eines Modellindustrieparks das Water-Reuse-Potenzial für verschiedene Wassernutzungszwecke aufzeigen und zur Methodik-Erprobung dienen. Fokussiert wurde der Einsatz von Brauchwasser für folgende Zwecke: Bewässerung, Straßenreinigung, Toilettenspülung, Kühlwasser und Löschwasser. Ein Einsatz von Reuse-Wasser in Produktionsprozessen selber wurde nicht vertieft untersucht, da die Produktionsanlagenbetreiber keine Erfahrungswerte hinsichtlich des Einsatzes und etwaiger Auswirkungen reduzierter Wasserqualitäten haben.

Anschließend wurden die Ergebnisse in ein Stoffstrommodell inkl. einer Bibliothek praxisnaher Nutzer- und Verfahrensmodelle überführt, mit dem Eingangsdaten für die Bewertung berechnet werden können. Technische, ökonomische und ökologische Vor- und Nachteile verschiedener Konzepte werden in den multikriteriellen Bewertung anhand im Projekt festgelegter Kriterien gegeneinander abgewogen. Als Grundlage erfolgte die Erfassung ökonomischer Daten zu Abwasseraufbereitungstechniken aus Fallstudien, ein Entwurf von Kalkulationsansätzen und Beispielfahrensketten, eine Literatur- und Ökobilanzdatenbankrecherche sowie die Identifizierung bzw. Definition umweltrelevanter Indikatoren zur ökologischen Bewertung des Water-Reuse im Industriepark.

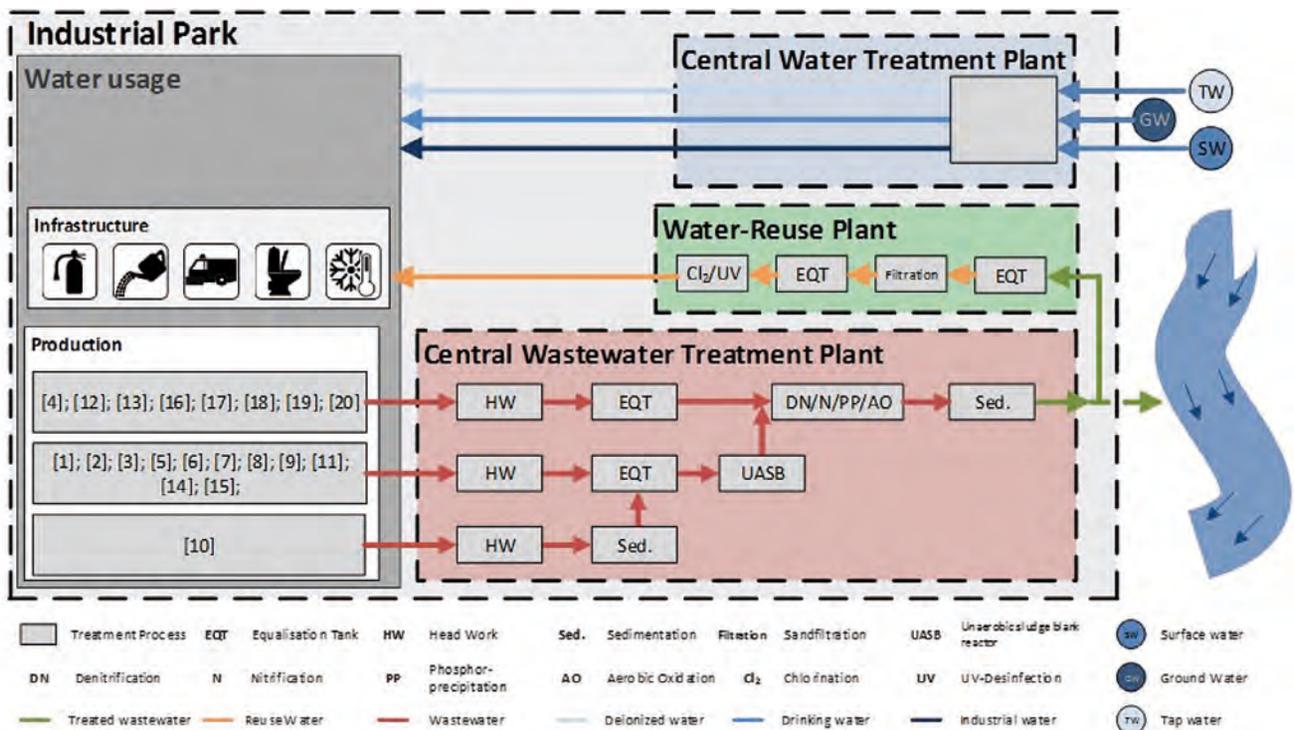


Abb. 21: Konzeptionelle Darstellung des Modellindustrieparks mit Reuse-Konzept



Für die praktische Umsetzung der konzeptionellen Ansätze wurden verschiedene Varianten für dynamische, nutzungs-optimierte Abwasserleitungsnetze entwickelt und auf ihre Praktikabilität untersucht. Notwendige Messtechnik und deren Applikationen wurden kontinuierlich eingebunden. Prozeduren zur Instandhaltung und Kalibrierung zur Sicherstellung der Richtigkeit der Messung für Planer und Ausrüster wurden als „Standard Operation Procedure“ zusammengestellt, so dass Handlungsempfehlungen für den Einsatz von Prozessmesstechnik sowie deren Weiterentwicklung gegeben werden können. In diesem Zusammenhang spielte auch die soziale Komponente eine Rolle, da die Benutzeroberfläche von technischen Hilfsmitteln (Usability) evaluiert wurde und u. a. die Simulation von praxisnahen Nutzerszenarien ermöglicht, die mit Personen aus dem industrienahen Umfeld getestet wurden. Weiterhin wurde ein Messinstrument zur Erfassung von belastungs- und beanspruchungsbezogenen Faktoren entwickelt.

Praktische Versuche der Abwasserreinigung fokussieren die Reduzierung des refraktären CSB, die biologische Behandlung salzhaltiger, organisch belasteter Abwässer sowie Verfahren zur Entsalzung. Es erfolgte der Aufbau und die Inbetriebnahme von Laborkläranlagen sowie Versuche mit synthetischen und Realabwässern. Für die biologische Reinigung und die Entsalzungsverfahren im elektrischen Feld konnte im August 2019 auch eine Pilotierung auf dem Industriegelände des assoziierten Partners Merck KGaA umgesetzt werden. Diese ermöglicht eine Verifizierung der im Labor erarbeiteten Ergebnisse sowie eine Analyse der Auswirkungen einer Kopplung der beiden Verfahren. Schließlich sollen zu allen drei Verfahrenstechniken verlässliche Kennzahlen zur Reinigungsleistung erfasst werden.

Perspektiven für die Praxis

Als Ergebnis des Gesamtprojektes entsteht eine übertragbare Hilfestellung für das Wassermanagement in Industrieparks. Diese Hilfestellung richtet sich unmittelbar an die Betreiber von bestehenden aber auch neu zu entwickelnden Industrieparks weltweit, wobei der Anwendungsschwerpunkt auf Regionen mit Wasserstress liegt.

Koordinator:

Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke, TU Darmstadt, Fachgebiet Landmanagement

Projektpartner:

TU Darmstadt, Fachgebiet Landmanagement

TU Darmstadt, Fachgebiet Abwassertechnik

TU Darmstadt, Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft

TU Darmstadt, Forschungsgruppe Arbeits- und Ingenieurpsychologie

Leibniz Universität Hannover, Institut für Siedlungswasserwirtschaft & Abfalltechnik, Hannover

Universität Witten/Herdecke – IEEM gGmbH – Institut für Umwelttechnik und Management, Witten

EnviroChemie GmbH, Roßdorf

Kocks Consult GmbH, Koblenz

Endress + Hauser Conducta, Gerlinge

Laufzeit:

01.10.2016 – 30.09.2020

www.wareip.de

Durch die Erprobung der Methodik mit einem Modellindustriepark, der die Variation von Produktionsanlagen und Aufbereitungstechniken mit dem Ziel eines möglichst hohen Reuse-Faktors erlaubt, können unterschiedliche Situationen, wie die Neuentwicklung oder die Veränderung bestehender Industrieparks, bezogen auf Wasserverfügbarkeit und -bedarf mit wenig Aufwand simuliert werden. Die modellbasierte Planung und Bewertung ermöglicht zudem Unsicherheits- sowie Sensitivitätsanalysen bzgl. möglicher Bandbreiten der Eingangsdaten durchzuführen. Aus den experimentell ausgerichteten Teilprojekten werden neue Behandlungstechniken abgeleitet und ergänzt.



Abb. 22: Ansicht der gemeinsamen Pilotierung von der TU Darmstadt und EnviroChemie GmbH auf dem Werksgelände des assoziierten Partners Merck KGaA

DiWaL

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

Kurzbeschreibung

Im Projekt DiWaL wird ein ressourceneffizientes Wassermanagement- und Anlagenkonzept für die Oberflächenvorbehandlung (VBH) und die elektrophoretische Tauchlackierung (ETL) unter Nutzung der Keimabtötung durch Elektroimpulsbehandlung (EIB) entwickelt. Übergeordnetes Ziel ist, die mikrobielle Belastung der verschiedenen Prozessflüssigkeiten, die die Beschichtungsqualität mindert, zu unterbinden. Dabei liegt der Fokus der Projektarbeit auf der Schonung von Frischwasserressourcen durch eine verbesserte Kreislaufführung mit Wassereinsparung und auf dem Gewässerschutz durch Vermeidung von wiederkehrenden Biozid Zugaben zu Lacken und Prozesswässern und des damit verbundenen Austrags ins Oberflächenwasser. Aus industrieller Sicht soll mit der effizienteren Kontrolle der mikrobiellen Belastung die optimale Beschichtungsqualität aufrechterhalten, Nacharbeit vermeiden, weniger Lackmaterial verwendet, die Ressourceneffizienz erhöht und der Betriebsaufwand reduziert werden.

In vier parallelen Entwicklungslinien wurde dazu zunächst in mikrobiologischen Arbeiten die Verkeimungslage in der Automobilserienlackierung (kathodischer Tauchlack, KTL) und in der Lackierung von Allgemeingütern (anodischer Tauchlack, ATL) bestimmt. Mit Kenntnis der relevanten Keime konnten dann die abtötungsrelevanten Impulsparameter identifiziert und energetisch optimiert werden.

Im elektrochemischen Projektzweig wurden Behandlungsparameter und Verfahrensweisen identifiziert, die eine Abtötung von Bakterien im Elektrotauchlack uneingeschränkt erlauben, ohne jedoch eine unerwünschte Beschichtung der Elektroden in der Behandlungszelle der Elektroimpulsanlage zu bewirken.

In hochspannungstechnischen Entwicklungen wurde die Elektroimpulstechnologie auf eine aktuelle Technologiestufe gehoben und eine bedienerfreundliche, halbleiterschaltete Impulsgeneratorversion in Modulbauweise entwickelt.



Abb. 23: Lackierung im Tauchbad: In den Wässern und Lacken können sich Bakterien leicht vermehren und die Oberflächenbeschichtung beeinträchtigen (Eisenmann Anlagenbau GmbH & Co. KG)

Der Stakeholderdialog, Innovations- und Nachhaltigkeitsanalysen lieferten übergreifend weitere Entwicklungsrandbedingungen im laufenden Projekt.

Ergebnisse

In mikrobiologischen Arbeiten konnten vorwiegend in Tauchlackieranlagen heimische Keime der Gattungen Burkholderia, Sphingomonas, Microbacteria, um die wichtigsten zu nennen, mit Konzentrationen von bis zu 10^7 ml⁻¹ in kritischen Betriebszuständen, identifiziert werden. Als maßgebliche Eintragswege wurden der Zulauf aus befallenen Vorrats- und Pufferbehältern, die Verschleppung durch Rücklaufwasser entgegen der Lackiergutrichtung und durch Restwasser im Lackiergut festgestellt. Dabei stellt die Zinkphosphatierung gegen Ende der Vorbehandlungszone wegen ihres extremen pH-Werts eine Verschleppungsbarriere dar.

Um eine parasitäre Beschichtung der Elektrodenoberfläche der Impulsbehandlungszelle zu vermeiden müssen Impulsformen mit einer Dauer von wenigen μ s eingesetzt werden. Eine Verfahrensweise zur Vermeidung der Elektrodenbeschichtung in Behandlungszellen befindet sich in der Patentanmeldung.

Simulationsrechnungen zur erforderlichen Inaktivierungsrate beim Bypass Betrieb der EIB an einem Becken in der Elektrotauchlackierung hatten zum Ergebnis, dass eine vergleichsweise niedrige Inaktivierungsrate von 2 Log Stufen ausreichend ist, um Keimstagnation bzw. -reduktion im Becken zu erreichen. Inaktivierungsversuche zeigten, dass diese Inaktivierungsleistung beim Einsatz von μ s-Impulsen mit einem Energieeintrag von 40 kJ/l erreicht werden.

1 kV/0,6 kA Generatormodule bestehend aus je zwei Halbbrückenplatinen wurden erfolgreich entwickelt und in einem 8 kV Pilotgenerator erfolgreich im Lackbetrieb getestet. In allen getesteten Betriebsarten konnte kein negativer Einfluss auf die Lackeigenschaften festgestellt werden. Derzeit befinden sich die 60 Halbbrückenplatinen des 30 kV-Demogenerators im Abnahmetest. Bauteilengpässe auf dem Elektronikmarkt, ein

Koordinator:
Dr.-Ing. Wolfgang Frey, Karlsruher Institut für Technologie, IHM

Projektpartner:
Eisenmann Anlagenbau GmbH & Co. KG, Holzgerlingen
Hochschule Pforzheim, Gestaltung, Technik, Wirtschaft und Recht, Pforzheim
PPG Deutschland Business Support GmbH, Wuppertal
Emil Frei GmbH & Co. KG, Bräunlingen
BMW Group, Leipzig

Laufzeit:
01.11.2016 – 31.03.2020

www.ihm.kit.edu/724.php

erhöhter Entwicklungsaufwand bei der EMV-Härtung der Module und zu einem gewissen Teil auch der Insolvenzantrag der Fa. Eisenmann Mitte dieses Jahres, haben den Projektlauf in dieser Projektlinie verzögert. Der Betrieb der Demoanlage bei Eisenmann an der Beckenkaskade, einer vereinfachten Nachbildung einer Tauchlackierstraße, ist aktuell für Ende Januar 2020 geplant.

Die Nachhaltigkeit des Einsatzes der EIB hängt weniger von den eingesetzten Materialien, sondern vorwiegend vom Strommix am avisierten Zielmarkt ab. Unter den denkbaren Einsatzorten liefert der derzeitige deutsche Strommix vergleichsweise schlechte Nachhaltigkeitswerte.

Perspektiven für die Praxis

Es liegen zahlreiche Anfragen für einen Versuchsbetrieb aus Industriezweigen vor, die Kreislaufwasser im Prozess verwenden. Bei erfolgreichem Betrieb der Demoanlage ist zunächst ein Einsatz bei einem ATL-Beschichter geplant. Ein breiter Einsatz der Elektroimpulstechnologie wird sicherlich von der Höhe der Betriebskosten und auch maßgeblich von künftigen gesetzlichen Regulierungen zum Biozid Einsatz in der Elektrotauchlackierung abhängen.

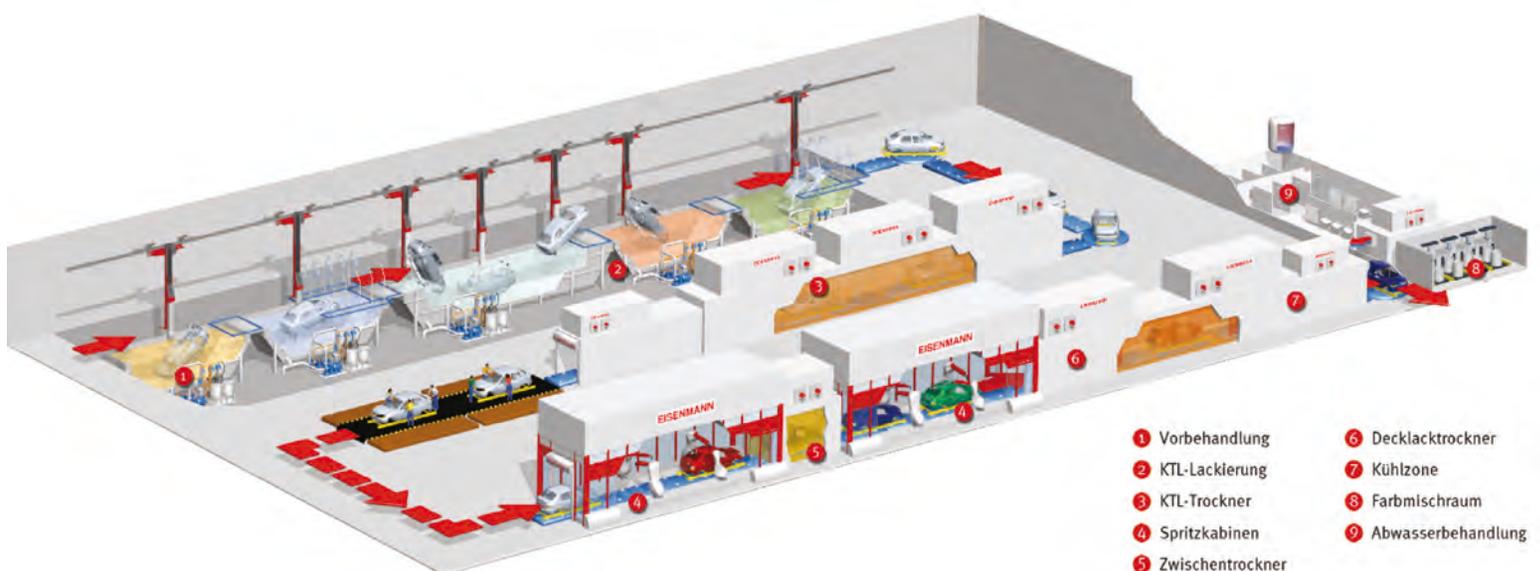


Abb. 24: Vereinfachte Darstellung einer Lackieranlage zur PKW-Serienlackierung. Die Technik der Elektroimpulsbehandlung zur Abtötung von bakteriellen Kontaminationen wird im naßchemischen Bereich der Lackieranlage, in der Vorbehandlung (1) und in der KTL-Lackierung (2), eingesetzt (Eisenmann Anlagenbau GmbH & Co. KG)

Re-Salt

Recycling von industriellen salzhaltigen Prozesswässern

Kurzbeschreibung

In vielen industriellen Prozessen fallen beträchtliche Mengen Abwasser an, in denen hohe Konzentrationen an anorganischen Salzen enthalten sind. Das Einleiten von Salzfrachten in Oberflächengewässer stellt allerdings eine Belastung für das Ökosystem dar, weshalb Anstrengungen notwendig sind, die zur Reduzierung der Salzfrachten führen. Vor diesem Hintergrund besteht aus Sicht der Industrie Handlungsbedarf zur Erforschung und Entwicklung neuer, umweltfreundlicher und ökonomisch tragfähiger Verfahren zur Reinigung, Entsalzung und Nutzung der Salze bzw. der gereinigten aufkonzentrierten Salzlösungen.

Dieses Projekt beschäftigte sich mit der Wiedergewinnung des in industriellen Prozesswasserströmen enthaltenen Salzes (NaCl) und dessen Rückführung als Rohstoff in die Chlor-Alkali-Elektrolyse sowie der Nutzung des anfallenden Wassers. Das Projekt umfasste folgende Schritte:

- ▶ Entwicklung der Spurenstoffanalytik in stark salzhaltigen Lösungen
- ▶ Reinigung der salzhaltigen Prozesswasserströme durch angepasste adsorptive und elektrochemische Verfahren
- ▶ Aufkonzentrierung der salzhaltigen Lösungen mittels innovativer und umweltfreundlicher Verfahren
- ▶ Prüfung der Nutzung der gewonnenen gereinigten und aufkonzentrierten Wasserströme in der Chlor-Alkali-Elektrolyse

Ergebnisse und Perspektiven für die Praxis

Zur **Analytik organischer Verbindungen in stark salzhaltigen Lösungen** wurden mehrere analytische Methoden eingesetzt, adaptiert oder neu entwickelt. Die Spannweite der Methoden reichte dabei von der TOC-Messung bis hin zur Non-Target-Analytik mittels hochauflösender Massenspektrometrie (LC-ESI-TOF). Dabei wurden neben der Reversed-Phase-Chromatographie auch die Anionen- und Kationenaustauschchromatographie eingesetzt.

Für ein tertiäres Amin und eine quartäre Ammoniumverbindung wurde die Bestimmungsgrenze von 0,5 ppm bis auf 5 ppb gesenkt. Diese Methodik wurde bereits innerhalb des Projektes in den Covestro-Laboren weltweit etabliert und ermöglichte das Anfahren eines qualitativ besonders sensiblen Salzrecycling-Prozesses für die tatsächliche Umsetzung im Prozessbetrieb.

Zur Online-Prozessanalytik konnte für die Verbindungen Phenol und Anilin aus Salzwasser in Zusammenarbeit mit der Firma UNISENSOR die Machbarkeit mit dem Sensor-System WATERTRACE gezeigt werden.

Durch eine gezielte **chemische Modifikation der Aktivkohleoberfläche** konnten Sauerstoffgruppen auf diese aufgebracht werden. Die Art- und Menge der Sauerstoffgruppen konnte durch eine Kombination verschiedener naßchemischer und spektroskopischer (z. B. energiedispersive Röntgenspektroskopie) Analysemethoden nachgewiesen werden. Durch die Behandlung ergab sich zwar keine gegenüber dem bisher verwendeten Produkt signifikant verbesserte Elimination der



Abb. 25: Demonstrationsanlage am Covestro-Standort Krefeld-Uerdingen



Zielsubstanz. Allerdings konnten die Adsorptionseigenschaften der Aktivkohle mittels eines thermischen Regenerationsverfahrens bei nur 400°C nahezu vollständig wieder hergestellt werden. Vorteile sind die im Vergleich zu konventionellen Reaktivierungsverfahren erhebliche Energieeinsparung sowie der sehr geringe Massenverlust an Aktivkohle.

Die Leistung von **Hochdruckumkehrosiose-Spiralwickel-elementen** wurde im Bereich hoher Salzkonzentrationen und bei einem Betriebsdruck von 120 bar experimentell untersucht und leistungslimitierende Faktoren eruiert. Die Untersuchungen wurden durch bildgebende Verfahren zur postexperimentellen Analyse der verwendeten Materialien sowie durch Strömungssimulationen unterstützt und validiert. Die Ergebnisse weisen auf stofftransportbezogene Faktoren hin, die im intendierten Anwendungsbereich den Einsatz der Membranelemente limitieren. Es konnte gezeigt werden, dass geeignete Optimierungsansätze unter Einsatz verfügbarer Komponenten möglich sind, so dass Spiralwickel-elemente effizient zur Aufkonzentrierung hochsalzhaltiger Prozessabwässer eingesetzt werden können.

Auf dieser Basis ist im Rahmen des Projektes eine **Demonstrationsanlage** in Betrieb gegangen (ca. 20 m³/d), die NaCl-haltige Prozesswasserströme aus der Kunststoffherstellung reinigt und konzentriert. Die Anlage wurde im Rahmen des Projektes in den betrieblichen Dauerbetrieb überführt, um weitere Langzeiterfahrungen zu sammeln und die wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Verfahrensschritte sowie deren Übertragbarkeit auf andere salzhaltige Abwässer zu validieren. Zusätzlich konnten bereits neue verfahrenstechnische Ansätze mit signifikantem energetischen Potenzial abgeleitet werden.

Unter Einbeziehung der **Arbeiten zum Querschnittsthema „Technologien und Prozesse“** wurden an der TH Köln be-

Koordinator:

Dr. Yuliya Schießer, Covestro Deutschland AG

Projektpartner:

DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe
Donau Carbon GmbH, Frankfurt am Main
Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für mechanische Verfahrenstechnik, Wassertechnik, Duisburg
Dechema-Forschungsinstitut, Frankfurt am Main
EnviroChemie GmbH, Roßdorf
SolarSpring GmbH, Freiburg
Technische Hochschule Köln, Köln

Laufzeit:

01.10.2016 – 31.03.2020

www.re-salt.de

gleitend alternative Aufkonzentrierungsverfahren unter Einbezug der Key Performance Indicators sowie ihrer technologischen Reifegrade analysiert und bewertet. Die osmotische Membrandestillation, die Vorwärtsosmose, die Möglichkeit des Aussalzens mit Alkoholen und die Gefrierkristallisation standen dabei im Fokus der Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der maximal erreichbaren Aufkonzentrierung, der anwendungsspezifischen Grenzen der Verfahren, dem spezifischen Energieverbrauch sowie der technisch verfügbaren Kapazität. Dies abrundend, wurde an der TH Köln im Rahmen eines Workshops zur Aufkonzentrierung und Behandlung hochsalzhaltiger Lösungen mit über 40 Fachleuten aus Industrie, Behörden und Hochschulen eine Bewertung verschiedener neuer Membranverfahren im Vergleich zur etablierten Verdampfungstechnik erarbeitet.



Abb. 26: Hochdruckumkehrosiose-Anlage für vier Spiralwickel-elemente

HighCon

Konzentrate aus der Abwasserwiederverwendung

Kurzbeschreibung

Ziel des Verbundvorhabens ist die Entwicklung von innovativen, mehrstufigen und selektiven Prozessen zur Wiederverwendung von industriellem Abwasser bis hin zur Verwertung der Konzentratinhaltsstoffe. Basierend auf den Anforderungen ausgewählter Industriebranchen werden innovative Technologien wie die Membrandestillation, selektive Nieder temperatur-Destillation-Kristallisation und die Elektrodialyse weiterentwickelt und an spezifische Anwendungen angepasst. Mit Hilfe eines Simulationswerkzeugs wird die ganzheitliche Optimierung der Wasserwiederverwendung ermöglicht.

Ergebnisse

Zu Projektbeginn wurden Stoffstromanalysen an den Anwendungsstandorten durchgeführt um auf dieser Grundlage ver-

schiedene Prozesse aus den HighCon Technologien zu entwickeln. Die Abbaubarkeit von Abwasserinhaltsstoffen stellt hierbei für die gesamte Prozesskette eine wesentliche Herausforderung dar, da die im Konzentrat verbleibenden organischen Komponenten bei der weiteren Aufbereitung hinderlich sind – vor allem mit Blick auf die Rückgewinnung von Salzen.

Um eben diese Trennung von refraktärer Organik und Salzen zu erreichen, wurden selektive Membranverfahren genutzt. Am Produktionsstandort der DEK Deutsche Extrakt Kaffee GmbH Berlin wurde von Juli bis Ende November 2018 die HighCon Demonstrationsanlage zur Untersuchung des HighCon Prozesses betrieben. Das biologisch gereinigte Abwasser wurde mittels Umkehrosmose (UO) aufkonzentriert und das Konzentrat konnte durch die folgenden Technologien bis hin



Abb. 27: HighCon Demonstrationsanlage am Standort der DEK Berlin mit folgenden Technologien (von vorne nach hinten): Nanofiltration, Elektrodialyse (Metathese) und Membrandestillation

zur Salzurückgewinnung aufbereitet werden: Nanofiltration (NF), Elektrodialyse (ED), und Membrandestillation (MD) sowie die alternative Destillation/Kristallisation (s. Abb. 27). Das beim Wasserrecycling anfallende Permeat wies grundsätzlich eine gute Qualität (Leitfähigkeit < 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und TOC < 0,5 mg/L) für denkbare Wiederverwendungen als Kühlwasser, Reinigungswasser oder Kesselspeisewasser (ggf. nach einer weiteren Aufbereitung) auf.

Durch die NF konnte eine hervorragende Trennung von Organik und einwertigen Ionen erreicht werden, sodass die Organik-Konzentrationen mit < 10 mg/L TOC im NF Permeat sehr gering ist. Das NF-Permeat wurde mittels ED und MD weiter aufkonzentriert. Die Destillation/Kristallisation wurde zunächst mit Hilfe von Rotationsverdampfer-Versuchen im Labormaßstab durchgeführt. Bei einer selektiven Kristallisation konnten zwei nahezu organikfreie Salzgemische mit unterschiedlicher Zusammensetzung erzeugt werden: Fraktion 1 enthält zu etwa 90 % ein Gemisch aus Natriumkarbonat und -hydrogenkarbonat mit geringen Anteilen an NaCl und KNO_3 . Bei Fraktion 2 handelt es sich um ein Salzgemisch bestehend aus allen verbleibenden Ionen. Dieses Gemisch ist nicht für eine Wertstoffrückgewinnung geeignet, kann aber u.U. Verwertung im Bergversatz finden, da es auch Organik frei ist.

Die Demonstration wurde anschließend in Freiburg beim Fraunhofer ISE fortgesetzt. Hier wurde die Aufbereitung des UO-Konzentrats aus der Abwasseraufbereitung der L'Oréal Produktion Deutschland GmbH & Co. KG untersucht. Das Konzentrat zeichnet sich gegenüber dem UO-Konzentrat der DEK durch hohe Salzgehalte und vergleichsweise geringe Organik-Konzentrationen aus. Für die Salzurückgewinnung aus dem Konzentrat von L'Oréal wurde u.a. das Verfahren der Multi Effect Humidifikation (MEH) zur Kristallisation erprobt (s. Abb. 28). Hierfür wurde eigens ein wartungsarmer Kühlturm neuentwickelt.

In HighCon wurde eine Methode zur Visualisierung von Fouling und Scaling entwickelt, welche die Optische Kohärenztomografie nutzt. Durch eine optimierte und angepasste Bildverarbeitung ist es gelungen, Deckschichten quantifizierbar zu machen. Es existiert eine kritische Foulingrate, bei der sich die Prozessleistung signifikant verschlechtert. Das neue Verständnis der Deckschichtbildung erlaubt es verbesserte Reinigungsstrategien zu entwickeln und kann somit zur Sicherheit und Effizienz von Membranprozessen beitragen.



Abb. 28: Rückgewonnene Salze aus dem Produktionsabwasser der L'Oréal Produktion Deutschland GmbH & Co. nach Behandlung mit der TerraSaline S (ASL) (Quelle Terrawater GmbH)

Koordinator:

Prof. Dr.-Ing. Sven-Uwe Geißen, Technische Universität Berlin, FG Umweltverfahrenstechnik

Projektpartner:

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt am Main

DEUKUM GmbH, Frickenhausen

DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie, Karlsruhe

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

SolarSpring GmbH, Freiburg

Terrawater GmbH, Kiel

WEHRLE Umwelt GmbH, Emmendingen

Laufzeit:

01.09.2016 – 31.12.2019

www.highcon.de

Demnach wurden Lösungen zur energie- und kosteneffizienten Verwertung von Konzentraten entwickelt. Die Ergebnisse ermöglichen eine vollständige Konzentratbehandlung mit < 4 €/m³. Es können Wasserrecyclingraten von > 95 % bezogen auf den Gesamtprozess erreicht werden. Weiterhin können abhängig von der Konzentratzusammensetzung bis zu 40 % der Salze zurückgewonnen werden, sodass die Salzfracht, die an die Umwelt abgegeben wird, stark reduziert wird. HighCon trägt zur Erhöhung der industriellen Wasserwiederverwendung, zur Schonung von Frischwasserressourcen und zum Erhalt der Biodiversität bei.

Perspektiven für die Praxis

Trotz der technischen Umsetzbarkeit der Konzentrataufbereitung mit Salzurückgewinnung (mit vertretbarem Kostenaufwand) ist sie momentan oft nicht attraktiv, da z. B. die Entsorgung über die Indirekteinleitung weiterhin kostengünstiger ist. Die Rückgewinnung von Konzentratinhaltsstoffen allein wird zum aktuellen Zeitpunkt selten wirtschaftlich sein. Es gibt jedoch weitere Faktoren, die eine Konzentratbehandlung durch HighCon Prozesse interessant machen. Bei steigenden Preisen für die Entsorgung kann die Trennung von Stoffgruppen mittel- bis langfristig eine wirtschaftliche Alternative zur ohnehin benötigten konventionellen Konzentratbehandlung sein. Auch können die HighCon Prozesse durch eine Erhöhung der Recyclingwasserausbeute oder die Vermeidung jeglicher flüssiger Restströme (ZLD) für Anwender insbesondere in ariden Gebieten attraktiv werden.

Trotz der Erfolge aus dem Verbundvorhaben besteht noch Forschungsbedarf für den Umgang mit Konzentraten aus industriellem Wasserrecycling. Die Wichtigkeit des Themas wird durch den IWA Resource Recovery Cluster Award deutlich, mit dem das Projekt HighCon ausgezeichnet wurde. <https://iwa-network.org/news/highcon-wins-iwa-resource-recovery-cluster-best-practice-award-2019/>

WavE-Querschnittsthema: Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung

VORSITZ

Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes
Technische Universität München

Kurzbeschreibung

Jede Form einer geplanten Wasserwiederverwendung erfordert einen vorsorgenden Umgang mit den akuten und chronischen Risiken, die von pathogenen Keimen und chemischen Verbindungen ausgehen. Dieses gesundheitliche Risiko hängt davon ab, in welchem Maße Menschen in Kontakt mit Wasser kommen, welches erhöhte Konzentrationen von Pathogenen sowie chemischen Stoffen beinhaltet. Für die Abschätzung dieses Risikos bei einer Wasserwiederverwendung wurde eine Vielzahl von Ansätzen postuliert. Die World Health Organisation (WHO) hat dazu federführend ein Konzept vorgelegt, das den Prozess der Risikobewertung in vier Schritte einteilt. Diese umfassen die Problemidentifikation, eine zugrundeliegende Dosis-Wirkungsbeziehung, eine Expositionsabschätzung und eine konkrete Risikocharakterisierung. Sie kann für mikrobiologische wie für chemische Kontaminanten durchgeführt werden.

Das Risikobewertungskonzept der WHO („Water Safety Plans“) wurde von vielen Ländern in gesetzgeberischen Anforderungen und technischen Regelwerken adaptiert und für verschiedene Anwendungen der Wasserwiederverwendung umgesetzt. Dieses Konzept bildet daher auch die Grundlage eines Risikomanagements für Anwendungen innerhalb der Fördermaßnahme WavE.

Ziel des Querschnittsthemas war der Austausch über die Anwendung einer umfassenden Risikobewertung der zur Wasserwiederverwendung eingesetzten Technologien und Konzepte (projektübergreifend und mit externen Experten). Hier spielt zum einen die Erhöhung der Akzeptanz für eine Wasserwiederverwendung eine Rolle. Terminologie, Kriterien für Bewertung und Behandlung und ein abgestimmter Dialog sind hier wichtige Aspekte. Themen wie die einheitliche Risikobewertung, die Anwendung standardisierter Verfahren sowie die Überwachung und das Monitoring wurden dabei aufgegriffen.

Ergebnisse

Der inhaltliche Fokus lag auf vier verschiedenen Anwendungsfeldern einer Wasserwiederverwendung: landwirtschaftliche Bewässerung, urbane Nutzungen/Landschaftsbewässerungen, Grundwasseranreicherung und industrielle Wiederverwendung. Um die wichtigsten Aspekte eines Risikomanagements bei einer Wasserwiederverwendung kompakt zu vermitteln, wurden kurze Fact Sheets mit verschiedenen thematischen Schwerpunkte erstellt: a.) mikrobiologischen Parametern, b.) generellen Parameter (wie Organik, Nährstoffe, Salze und Schwermetalle), c.) Spurenstoffen sowie d.) einer Illustration der wesentlichen Elemente eines Gesamtkonzeptes Wasserrecycling.

Darüber hinaus wurden zwei Veröffentlichungen erarbeitet, die die gegenwärtige Diskussion zu minimalen Qualitätsanforderungen an die Wasserwiederverwendung auf der EU Ebene aufgreifen und zur (fehlenden) Akzeptanz einer Wasserwiederverwendung Stellung nehmen. In zwei Workshops (national und international) wurde die EU-Diskussion zu minimalen Qualitätsanforderungen an die Wasserwiederverwendung aufgegriffen und mit externen Experten diskutiert.



Abb. 29: Workshop zum Thema „Risikomanagement bei der Wasserwiederverwendung“ auf der internationalen „IWA Water Reuse Conference 2019“ in Berlin

Publikationen:

J. E. Drewes, E. Schramm, P. Cornel, S. Maaßen, 2018. Anforderungen an Wasserrecycling-Projekte. Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“.

J. E. Drewes, C. Jungfer, B. Zimmermann, 2018. Relevanz chemischer Stoffe in der Wasserwiederverwendung. Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“.

P. Cornel, M. Mohr, A. Nocker, H.-C. Selinka, E. Schramm, C. Stange, J. E. Drewes, 2018: Relevanz mikrobiologischer Parameter für die Wasserwiederverwendung. Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“.

D. Becker, M. Jekel, A. Nahrstedt, J.E. Drewes. Relevanz von Spurenstoffen in der Wasserwiederverwendung. Fact Sheet zum WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung“.

J. E. Drewes, D. Becker, C. Jungfer, K. Krömer, M. Mohr, A. Nahrstedt, E. Schramm, M. Winker, M. Zimmermann, 2018. Mindestanforderungen an eine Wasserwiederverwendung: Hinweise aus Sicht der WavE-Forschungsprojekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). GWF Wasser Abwasser, 12/2018.

J. E. Drewes, E. Schramm, B. Ebert, M. Mohr, M. Beckett, K. Krömer, C. Jungfer 2019. Potenziale und Strategien zur Überwindung von Hemmnissen für die Implementierung von Wasserwiederverwendungsansätzen in Deutschland. Korrespondenz Abwasser (eingereicht).

WavE-Querschnittsthema: Technologien und Prozesse

Kurzbeschreibung

Entscheidungen über die Umsetzung innovativer Technologien und umfassende Konzepte zur Wasserwiederverwendung und Entsalzung sind regelmäßig durch **Zielkonflikte zwischen wirtschaftlichen, technischen, umweltbezogenen und sozialpolitischen Abwägungen** geprägt. Um Entscheidungsträger für neue Technologien zu begeistern, diese Technologien möglichst neutral zu beurteilen und Skeptiker von der Tragfähigkeit innovativer Ansätze zu überzeugen, bedarf es transparenter, belastbarer Entscheidungsgrundlagen.

Das Querschnittsthema „Technologien und Prozesse“ betrachtete dazu die Bewertung von Technologien und Prozessen mit unterschiedlichen Aspekten.

Zum einen wurden die **technischen Aspekte** mit dem Ziel betrachtet, eine Entscheidungsmatrix für den Anwender zu erarbeiten, die zur Unterstützung der Auswahl einer Technologie für eine bestimmte Anwendung dient, und um eventuelle Entwicklungslücken in den Prozessketten zu identifizieren. Für den Anwender ist es wichtig zu erfahren, bei welchen Aufgabenstellungen welche Technologien erfolgreich eingesetzt werden können und welche Leistungsmerkmale man von den Technologien erwarten kann. Auch wurden geeignete Analyseverfahren zu den Parametern DOC und TOC in Gegenwart hoher Salzkonzentrationen diskutiert.

Zusätzlich zu den technischen Aspekten dienen auch die Kategorien Ökonomie, Umwelt und Soziales der Entscheidungsfindung. Im Austausch zu den in den WavE-Projekten verwendeten wissenschaftlichen Methoden zur Kriterien-Gewichtung und Aggregation standen die Kriterien für verschiedenste Anwendungsfälle als Entscheidungsbasis im Fokus.

VORSITZ

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Braun
Technische Hochschule Köln, Wasseraufbereitung und Membranprozesse, Institut für Anlagen- und Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Engelhart
Technische Universität Darmstadt
Institut IWAR, Fachgebiet Abwassertechnik

Kristina Wencki
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung
gemeinnützige GmbH

Ergebnisse

Betrachtung der technischen Aspekte

In Zusammenarbeit mit den Fachleuten der Verbundprojekte wurden die Einsatzgrenzen der Technologien bzw. Prozesse in unterschiedlichen Applikationen diskutiert und Randbedingungen zum erfolgreichen Einsatz definiert. Dazu zählen unter anderem die erreichbaren Zielkonzentrationen bzw. Reinigungsleistungen aber auch Störstoffe, die die Leistungsfähigkeit beeinträchtigen und zum Versagen der Technologien führen können. Die Ergebnisse wurden in einer Matrix der in den einzelnen Verbundvorhaben eingesetzten Technologien und Anwendungen zusammengestellt.

Es wurden technologieübergreifende TechnologieKennzahlen (key performance indicators KPI und key unit operation indicators KUOI) identifiziert, die einen Vergleich der Leistungsfähigkeit einzelner Technologien und Prozesse ermöglichen. Praktiker und Forscher erhalten damit Hinweise auf Einsatzgebiete und damit verbundene Aufwendungen.

KUOI sollen als Kennzahlen die Technologien und die grundsätzlichen Randbedingungen für deren Einsatz definieren (z. B. stoffliche Einsatzgrenzen, Eliminationsleistungen, typische Reinwasserausbeuten). Der Entwicklungsstand einer Technologie wird dabei über den Technology Readiness Level (TRL) eingestuft, und die Komplexität wird am erforderlichen Bedienungsaufwand gemessen. Dynamisierbarkeit und tolerierbare Schwankungen im Zulauf werden qualitativ bewertet.



Abb. 30: Workshop zum Thema „Konzentrierung und Behandlung hochsalzhaltiger Lösungen“ in Köln.

KPI legen die tatsächlichen Leistungskennzahlen der Verfahren fest, die unter den zuvor definierten Randbedingungen erzielt werden können. KPI gestatten somit den Leistungsvergleich von Verfahren im konkreten Einsatzfall. Hierzu dienen Stoffgrößen als Summen- oder Einzelparameter und auch hygienische Parameter. Energiekennzahlen wie spezifischer Strom- und Wärmebedarf gestatten es sowohl die Betriebskosten zu berechnen als auch die Auswirkung auf die Umwelt zu betrachten. Des Weiteren werden die entstehenden Reststoffe, Hilfsstoffe und Chemikalien, der Volumen- oder Flächenverbrauch, sowie der Aufwand für die Instandhaltung betrachtet. Als Bezugsgröße dient in der Regel die Menge an behandeltem Wasser oder die Menge an erzeugtem Reinwasser (abgetrenntes Wasser, Produkt).

Weiterhin wurde über Probleme bei Einsatz bestimmter Analyseverfahren zur Bestimmung des organischen Anteils in Gegenwart hoher Salzkonzentrationen diskutiert (Abb. 30). In einer Grafik wurden dazu die WavE-Projekte in Bezug auf Salzkonzentration und TOC/DOC-Gehalt dargestellt. Dabei wurde deutlich, dass sich sowohl TOC/DOC als auch der Salzgehalt (TDS) über einen Bereich von 3 – 4 log-Stufen erstrecken, was die Vergleichbarkeit von Prozessbedingungen und erzielten Ergebnissen erschwert.

Diese Liste muss künftig weitergeführt und anhand der in den Verbundvorhaben erarbeiteten Ergebnisse unter konkreter der Betrachtungen einzelner Technologien validiert und optimiert werden. Ziel ist es, eine allgemein akzeptierte Zusammenstellung der KPI der Fachöffentlichkeit als weiteres Instrument einer einheitlichen Technologiebewertung zur Verfügung zu stellen.

Betrachtung der wirtschaftlichen, technischen, umweltbezogenen und sozialpolitische Aspekte

Im Rahmen der WavE-Verbundvorhaben wurden für verschiedene Anwendergruppen und lokale Zielkulissen passende Bewertungsansätze zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit innovativer Verfahren gegenüber konventionellen Versorgungsstrukturen im Kontext der Wasserwiederverwendung und Entsalzung entwickelt. Auf dieser Basis wurden Verfahrensschemas abgeleitet und Kriteriensets definiert (Bewertungs- und Abbruchkriterien). Mit diesen Erkenntnissen soll es ermöglicht werden, für verschiedenste Anwendungsfälle eine Bewertungsmethodik mitsamt eines individuellen Kriteriensets, passend zu Bewertungsgegenstand und Entscheidungsträger, zusammenzustellen. Die Kategorien Ökonomie, Umwelt und Soziales weisen über die rein technische Bewertung hinaus. Beispielhafte Kriteriensets zur Anwendung im stärker industriell oder kommunal geprägten Umfeld wurden erarbeitet und sollen als Hilfestellung für die Anwendung des Bewertungsansatzes zwecks Analyse verschiedener Fragestellungen dienen.

WavE-Querschnittsthema: Salze und Reststoffe

VORSITZ

Prof. Dr.-Ing. Sven-Uwe Geißen
Technische Universität Berlin
Fachgebiet Umweltverfahrenstechnik

Kurzbeschreibung

Bei der Wasserwiederverwendung sind Salze und Reststoffe – neben dem aufbereiteten Wasser – der zweite große Stoffstrom. Im Rahmen des Querschnittsthemas „Salze & Reststoffe“ wurden Fragestellungen in Bezug auf die Analytik in Konzentraten sowie Parameter zur Prozesssteuerung und Überwachung in Konzentratströmen diskutiert. Ein weiterer Schwerpunkt war der rechtliche Umgang mit Konzentraten – sowohl aus dem industriellen Wasserrecycling als auch im kommunalen Bereich. Ziel des Querschnittsthemas war u. a. den Dialog mit Behörden zu fördern, Handlungsbedarf zu identifizieren und Lösungsvorschläge zu erarbeiten.

Ergebnisse

Für sichere, verlässliche und zwischen den WavE-Projekten vergleichbare Ergebnisse ist eine verlässliche Analytik unabdingbar. Mit Blick auf die Herausforderungen wurde daher von den WavE-Projekten ein Bericht zur Analytik in Konzentraten erarbeitet. Dieser Bericht wurde durch Ergebnisse aus einer Umfrage bei Herstellern von Laboranalysegeräten als auch Prozessmesstechnik ergänzt und kann eine Hilfestellung bei der Analytik hochkonzentrierter Stoffströme (auch in zukünftigen Projekten) bieten. Die besonderen Herausforderungen bei der Konzentratanalytik können u.a. durch einen hohen Anteil an anorganischem Kohlenstoff im Verhältnis zum organischen Kohlenstoff (Summenparameter), eine komplexe Probenmatrix oder gegenüber Wasser veränderten Stoffeigenschaften entstehen.

Im Umgang mit Konzentraten entstehen nicht nur auf der technologischen Ebene Herausforderungen. Ein wichtiger Punkt sind die rechtlichen Anforderungen für die Wiederverwendung von Wertstoffen, die aus Abwasser zurückgewonnen werden, aber auch die sichere Entsorgung von Reststoffströmen. Das Diskussionsforum „Genehmigungsrechtliche Aspekte im Umgang mit Konzentraten und Reststoffen“ (Juni 2018) ermöglichte einen offenen Austausch der WavE-Partner mit externen Fachleuten (z. B. von Behörden und Entsorgungsunternehmen) zu den rechtlichen Anforderungen, der Genehmigungslage und der Einstufung von Restströmen. Während die Situation für die Verwendung wiedergewonnener Wertstoffe eindeutig ist – hier ist ggf. eine Produktzulassung zu beantragen – besteht insbesondere bei der Einleitung von Konzentraten Bedarf zum Austausch zwischen Anwendern und Behörden. Im Rahmen von zwei WavE Workshops (Mai und Oktober 2019) wurde der Umgang mit Konzentraten aus der industriellen und kommunalen Wasserwiederverwendung gemeinsam diskutiert.

Ein wichtiges Ergebnis aus den Veranstaltungen ist, dass eine einheitliche Genehmigungspraxis zwar gewünscht ist, die Umsetzung jedoch schwierig ist, da lokale Gegebenheiten (z. B. Größe des Vorfluters) immer berücksichtigt werden müssen. Weiterhin ist es zielfördernd das Gespräch mit Behörden frühzeitig aufzunehmen, um Hürden für eine Genehmigung zu identifizieren und frühzeitig gemeinsam Lösungen zu suchen. Darüber hinaus wurde von behördlicher Seite der Wunsch nach einer Austauschplattform für Behörden untereinander, aber auch mit Vertretern aus Wissenschaft und Industrie formuliert.



Abb. 31: WavE-Workshop in Freiburg zum „Umgang mit Konzentraten aus industriellem Wasserrecycling“ (Quelle TU Berlin)

www.bmbf-wave.de