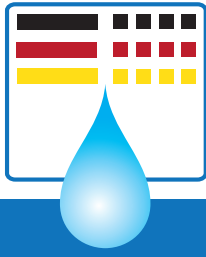


BMBF-Fördermaßnahme



MachWas

Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

www.machwas-material.de

Inhalt

Werkstoffe für eine nachhaltige Wasserwirtschaft	4
CNT-Membran	8
KerWas	10
MABMEM	12
POLINOM	14
Rohrmembran	16
ElektroPapier	18
RADAR	20
ContaSorb	22
Ferrosan	24
ZeroTrace	26
AntiPARAM	28
KERAMESCH	30
OEMP	32
IMPRESSUM	35

Werkstoffe für eine nachhaltige Wasserwirtschaft

Die Fördermaßnahme „Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – MachWas“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt die Erforschung und Entwicklung von Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft.

Wasser ist die wichtigste Ressource für Mensch, Natur und Wirtschaft. Daher muss sie durch dauerhafte naturverträgliche, wirtschaftliche und soziale Entwicklungen für zukünftige Generationen geschützt und nachhaltig bewirtschaftet werden. Durch den Wasserkreislauf erneuern sich unsere Wasservorräte zwar ständig, aber nur in begrenztem Umfang. Wasser kann weder mithilfe anderer Ressourcen hergestellt noch durch solche ersetzt werden. Auch ist ein überregionaler Transfer von Wasser aus Überschussgebieten in Trockenregionen nur eingeschränkt möglich. Bedingt durch Klimawandel und Bevölkerungswachstum sowie Industrieproduktion und Landwirtschaft werden unsere Wasserressourcen auch künftig zunehmend beansprucht werden. Daraus resultieren zum Beispiel steigende Schadstoffbelastungen von Grund- und Oberflächenwasser, Hochwasser oder Trockenperioden. Im Ergebnis ist das ökologische

und chemische Gleichgewicht unserer Wasserressourcen gefährdet. Diese Probleme müssen gelöst werden, um die lebenswichtige Ressource Wasser für Mensch, Natur und Wirtschaft zu erhalten und einen vorsorgenden Gesundheitsschutz zu gewährleisten. Nur durch die Entwicklung innovativer Materialien und Technologien wird es möglich sein, die vorhandenen Wasserressourcen ökologisch, ökonomisch und sozialverträglich im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung zu nutzen.

Daraus resultierende Aktionsfelder sind die Entwicklung effizienter Abwassertechnologien, das Schließen von Stoff- und Wasserkreisläufen, die Reduzierung des Wasserverbrauchs, die Elimination anthropogener Schadstoffe sowie die bessere Nutzung der Ressource Abwasser.



© Amir Kaljickovic-fotolia.de

© Werner - stock.adobe.com

DIE FÖRDERMASSNAHME

Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Fördermaßnahme „Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – MachWas“ sollen durch Innovationen zur Minimierung des Wasserverbrauchs und zur Maximierung der Wasserverfügbarkeit beitragen. Ebenso sollen durch Technologien zur Wasseraufbereitung und -gewinnung wirkungsvolle Impulse zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressource Wasser geliefert werden.

Daher werden in der Fördermaßnahme 13 Verbundprojekte mit 75 Projektpartnern zu folgenden Themenfeldern gefördert:

Materialien für Membranverfahren

In der Wasserreinigung und -aufbereitung sind Membranverfahren wichtig. Mikro-, Ultra- und Nanofiltration sowie Umkehrosiose haben sich als Alternativen zu konventionellen Trennverfahren in der Wasserreinigung etabliert und gelten mittlerweile als Schlüsseltechnologien, auch für die betriebliche Wasserkreislaufschließung und Wertstoffrückgewinnung.

Adsorptionsmaterialien

Neben der Filtration spielt die Adsorption eine bedeutende Rolle in der Wasserreinigung und -aufbereitung. Besonders die Gewässerbelastung mit organischen, endokrinen und persistenten Stoffen (z. B. Medikamente und deren Metabolite) bereitet zunehmend Besorgnis. Adsorptionsmaterialien können dabei helfen, diese Stoffe zu binden und auf diesem Wege aus dem Wasserkreislauf zu entfernen.

Materialien für oxidative und reduktive Verfahren

Innovative Technologien, wie oxidative und reduktive Verfahren zielen auf eine Umwandlung von kritischen Substanzen ab. Mittels chemischer Reaktionen sollen diese Substanzen in weniger kritische überführt und zum Teil vollständig zerstört oder dauerhaft immobilisiert werden. Aufgrund der in Prozess-, Ab- und Grundwasser in der Regel vorhandenen großen Anzahl verschiedener Substanzen ist die Selektivität der oxidativen und reduktiven Verfahren von hoher Bedeutung, um einen gezielten Abbau im Wasser zu ermöglichen.

Materialien für weitere Anwendungen in der Wassertechnik

Für das Ziel einer nachhaltigen Wasserwirtschaft werden Materialentwicklungen und Verfahren auch über die Schwerpunktthemen hinaus vorangetrieben. Daher werden auch Themen zu Einsparpotentialen in der Wasserwirtschaft, zur verbesserten Umweltverträglichkeit von Materialien, zur Entfernung von Schadstoffen sowie Optimierung von bereits in der Wasserwirtschaft eingesetzten Verfahren und Technologien betrachtet.

MachWasPlus

Die Fördermaßnahme MachWas adressiert in den vier thematischen Schwerpunkten ein breites Spektrum an Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft, für deren

Entwicklung sich ein multidisziplinäres Feld von Akteuren aus Forschungseinrichtungen und unterschiedlichen Industriezweigen engagiert. Das Vernetzungs- und Transferprojekt MachWasPlus hat zum Ziel, ein MachWas-Netzwerk mit hohem Identifikationsmaß bei den an der Fördermaßnahme Beteiligten zu etablieren und die Sichtbarkeit der Fördermaßnahme bei Technologieentwicklern, -anbietern, Anwendern und in der (Fach-) Öffentlichkeit zu gewährleisten. Neben der Erstellung von MachWas-Informationsmaterial und der Betreuung der MachWas-Internetplattform (www.machwas-material.de) gilt es, die Vernetzung mit relevanten (inter)nationalen Fördermaßnahmen und Aktivitäten voranzutreiben. Des Weiteren werden die Verbundprojekte mit Blick auf ihren Beitrag zu den Zielen der Fördermaßnahme, d.h. deren Impulsen für eine nachhaltige Wasserwirtschaft durch Materialentwicklungen und dem Innovationspotential der zu erwartenden Ergebnisse, analysiert und deren wichtigste Ergebnisse als MachWas -Kompendium zusammengeführt.

MachWasPlus begleitet als zentraler Anlaufpunkt aller Akteure der Fördermaßnahme die Verbundprojekte fachlich und zielt darauf ab, diese intensiv zu vernetzen.

Die Bildung von Querschnittsthemen, d.h. Themen, die für viele der Projekte von Relevanz sind, nimmt dabei eine wichtige Stellung ein. Im Rahmen von MachWas findet ein projektübergreifender Austausch zu den Querschnittsthemen „(Indikator-) Substanzen und Qualitätssicherung“, „Methoden zur Materialcharakterisierung“ sowie zu „Innovations- und Umwelteffekten von MachWas-Materialien“ statt.

Im Querschnittsthema „(Indikator-)Substanzen und Qualitätssicherung“ wurde Diclofenac als eine Indikatorschubstanz identifiziert, welche von einem großen Teil der MachWas-Projekte verwendet wird. Es sind projektübergreifende Untersuchungen zu Diclofenac im Rahmen einer Messtudie geplant, um so die Vergleichbarkeit der Forschungsergebnisse projektübergreifend zu erhöhen.

Ziel des Querschnittsthemas „Methoden zur Materialcharakterisierung“ ist es, einen projektübergreifenden Erfahrungsaustausch zu ermöglichen zu Materialparametern und jeweiligen Messmethoden, mit welchen die in den MachWas-Projekten eingesetzten Materialien untersucht werden.

Durch die Arbeiten im Querschnittsthema „Innovations- und Umwelteffekte von MachWas-Materialien“ soll auf Basis von strukturierten Befragungen der MachWas-Projekte mit Hilfe eines Erhebungstools und unter Verwendung entsprechender Indikatoren dargestellt werden, welche Beiträge in der Fördermaßnahme MachWas insgesamt im Hinblick auf die Ziele einer nachhaltigeren Wasserwirtschaft geleistet werden.

Materialien für Membranverfahren

CNT-Membran

Nanoporöse Membranen hohen spezifischen Flusses aus orientierten CNTs für die energieeffiziente Aufbereitung von Ab- und Prozesswässern der Erdöl- und Erdgasindustrie

Koordinator: Dr.-Ing. Matan Beery, akvola Technologies GmbH, Berlin

KerWas

Dünnwandige, keramische Membranen angepasster Benetzbarkeit und hoher volumenspezifischer Membranfläche für die Nanofiltration und Membrandestillation zur nachhaltigen Aufbereitung von salzhaltigen Wässern

Koordinator: Dr.-Ing. Christiane Günther, Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH, Veilsdorf

MABMEM

Entwicklung einer Material-Auswahlbox zur Herstellung von Hochleistungsmembranen für die Wasseraufbereitung

Koordinator: Prof. Dr. Martin Weber, BASF SE, Ludwigshafen

POLINOM

Polyvalente Trennungen durch flexible Integration aktiver Oberflächen in Membranen

Koordinator: Dr. Thomas Schiestel, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB), Stuttgart

Rohrmembran

Neue Beschichtungsmethoden zur Herstellung maßgeschneiderter säurebeständiger Umkehrosiose-Rohrmembranmodule für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer

Koordinator: Dr.-Ing. Ralf Wolters, VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH, Düsseldorf

Materialien für oxidative und reduktive Verfahren

ElektroPapier

Entwicklung papierbasierter Elektroden für die mikrobielle elektrochemische Abwasserreinigung

Koordinator: Dr. Eva Gilbert, EnviroChemie GmbH, Rossdorf

RADAR

Radikalische Abwasserreinigung

Koordinator: Andreas Bulan, Covestro Deutschland AG, Leverkusen

Adsorptionsmaterialien

Ferrosan

Entwicklung hochvernetzter Biopolymere auf Basis von Glucan-Chitin-Komplexen zur Schwermetallabscheidung insbesondere der Eisenadsorption

Koordinator: Prof. Andreas Heppe, BioLog Heppe GmbH, Landsberg

ZeroTrace

Neue Adsorptionsmaterialien und Regenerationsverfahren zur Elimination von Spurenstoffen in kommunalen und industriellen Kläranlagen

Koordinator: Catrin Bornemann, Wupperverband, Wuppertal

ContaSorb

Entwicklung von Kohlenstoff-Eisen-Komposit-Materialien für die Sorption und Zerstörung von halogenierten Grundwasserschadstoffen

Koordinator: Dr. Katrin Mackenzie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig

Materialien für weitere Anwendungen in der Wassertechnik

OEMP

Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf

Koordinator: Dipl.-Ing. Markus Knefel, GKD - Gebr. Kufferath AG, Düren

AntiPARAM

Antifoulingkonzepte für Mehrparameter-Analysenmess- und Wasserentkeimungssysteme

Koordinator: Michael Boer, 4H-Jena engineering GmbH, Jena

KERAMESCH

Entwicklung und Erprobung von Keramik-Metall-Schwabekörpern aus Kompositwerkstoffen zur effizienten reduzierenden Schadstoffelimination aus Abwässern in fluidised-bed-Reaktoren bei hohen Durchsätzen

Koordinator: Hans-Jürgen Friedrich, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Dresden

CNT-Membran

Das Projekt CNT-Membran beschäftigt sich mit Carbon Nanotubes (CNT), d.h. Hohlfasern, welche aus gerollten Graphenschichten bestehen (single-walled oder multi-walled CNT). Mit ausgerichteten CNT, eingebettet in verschiedene Matrixmaterialien, werden neue Materialien für Membranverfahren entwickelt, welche z.B. für die energieeffiziente Aufbereitung von Ab- und Prozesswässern der Erdöl- und Erdgasindustrie eingesetzt werden können.

HINTERGRUND

Im Vergleich zu herkömmlichen polymeren und keramischen Membranen wird eine Erhöhung der Permeatflüsse durch offenere Membranstrukturen bis zu einem Faktor von 10 erwartet. Die CNT-haltigen Membranen sollten zur effizienten Wasseraufbereitung durch Nano- und Ultrafiltration im Bereich der Abwasser- und Prozesswasserbehandlung in der metallverarbeitenden Industrie sowie der Erdöl- und Erdgasförderung beitragen.

ZIELE

Ziel ist die Hochskalierung und Fertigung von CNT-Membranen sowie deren Testung in realen Prozesswässern der Erdgas- und Erdölförderung sowie der Metallverarbeitungsindustrie.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

- I) Entwicklung nanoporöser Membranen für sehr hohe Wasserflüsse durch die Synthese orientierter, beidseitig geöffneter Kohlenstoffnanotubes („Carbon-Nanotubes“, CNT) und deren Einbettung in eine impermeable Matrix (Polymer- und Keramikbasiert)

- II) Verfahrenstechnische Optimierung des Trennprozesses in Kombination mit Zentrifugation, Flotation sowie Mikro- und Ultrafiltration mit keramischen Membranen

- III) Ökonomische, ökologische, ökotoxikologische Evaluierung des Gesamtprozesses im Vergleich zu herkömmlichen Technologien

ERSTE ERGEBNISSE

Im Projekt werden Kompositmembranen entwickelt, bei denen CNT auf verschiedenen Trägermaterialien mit unterschiedlichen Verfahren fixiert werden. Es ist im Projekt bisher gelungen auf Silizium-Wafersubstraten über die Methode der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) vertikal gerichtete Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) mit einer Länge von etwa 190 µm abzuscheiden (vgl. Abb.1 links). Diese wurden anschließend mit dem Polymer Polyethersulfon (PES) infiltriert. Das Ergebnis ist ein Komposit mit fixierten vertikal gerichteten CNT (vgl. Abb. 1 rechts). Momentan laufen Untersuchungen zum Abtrag des Polymerüberstandes an der Probenoberfläche sowie zum Öffnen der vertikal gerichteten CNT unter Nutzung eines plasmagestützten Gasphasenprozesses.

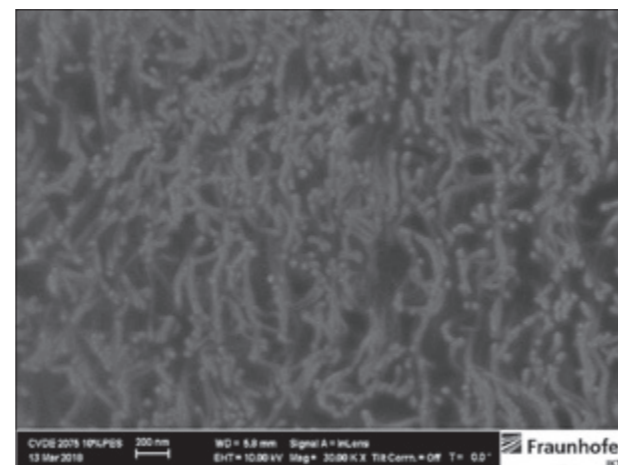
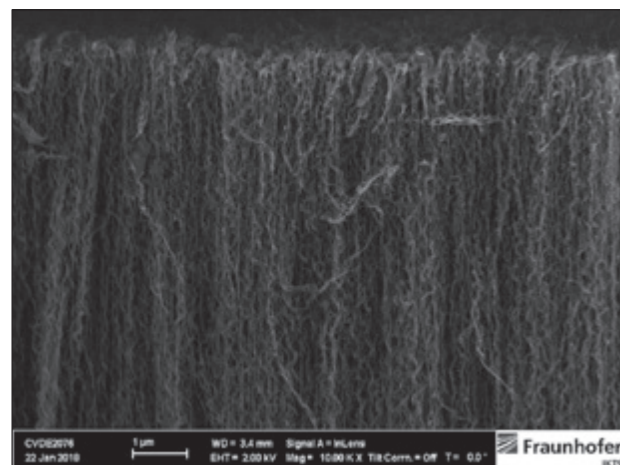


Abb. 1: Vertikal gerichtete Kohlenstoff-Nanoröhrchen auf einen Silizium-Wafersubstrat (links) und Komposit aus vertikal gerichteten Kohlenstoff-Nanoröhrchen in einer Polyethersulfon-Matrix (rechts) (© Fraunhofer IKTS)

Es ist in dem Projekt ebenfalls gelungen CNT in einer keramischen Membran zu dispergieren und damit die ersten Filtrationsexperimente mit CNT-beinhalteten Membranen durchzuführen.

In der späteren Anwendung zur Trennung von Öl-Wasser-Gemischen werden die Membranen und damit auch die CNT in die Umwelt eingebracht. In Abhängigkeit von ihrer Herstellungsrouten, Morphologie etc. können CNT toxische und ggfs. auch ökotoxische Eigenschaften aufweisen. „CNT Membran“ hat sich daher zum Ziel gesetzt, neben Entwicklung und Test der Membranen ihre ökotoxikologische Relevanz zu untersuchen und in die Gesamtbewertung des neuen Verfahrens einzubeziehen. Die aktuell stattfindenden Tests umfassen die Exposition unterschiedlicher Organismen (z. B. Hyalella Azteca in Abbildung 3) gegenüber freien CNT und gegenüber Bruchstücken von CNT-Membranen aus den unterschiedlichen Herstellungsrouten.

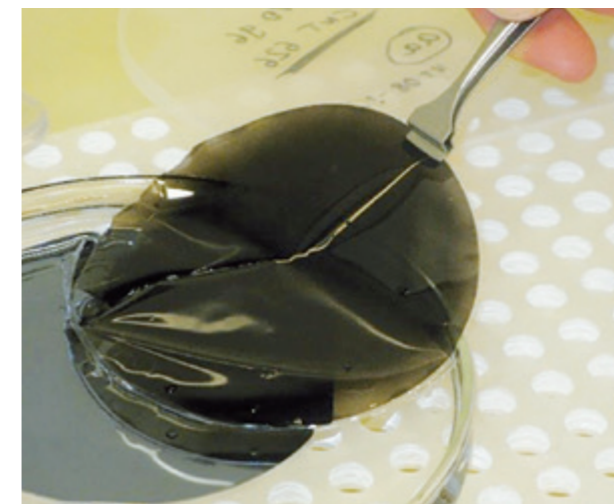


Abb. 2: CNT-Membran infiltriert in Polystyrol-Matrix (© Fraunhofer IKTS)



Abb. 3: Testorganismus der ökotoxikologischen Bewertung, *Hyalella Azteca* (Mexikanischer Flohkrebis)

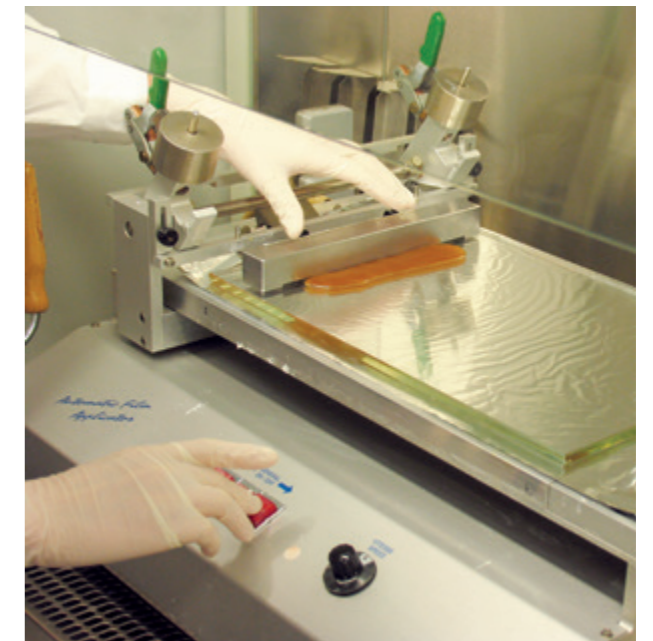


Abb. 4: Rakeln von Flachmembran mit Polymerlösung (© Fraunhofer IKTS)

Laufzeit des Projektes: 01.03.2017 – 28.02.2020

Förderkennzeichen: 03XP0104

Projektpartner:

akvola Technologies GmbH	Dr.-Ing. Matan Beery (beery@akvola.com)
Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme	Dr. Hannes Richter (hannes.richter@ikts.fraunhofer.de)
Leibniz Institut für Polymerforschung	Dr. Lothar Jakisch (jakisch@ipfdd.de)
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH	Udo Lubenau (Udo.Lubenau@dbi-gut.de)
ECT Ökotoxikologie GmbH	Mirco Weil (m.weil@ect.de)
LUM GmbH	Prof. Dr. Dietmar Lerche (d.lerche@lum-gmbh.de)
Nanostone Water GmbH	Dr. Christian Göbber (Christian.goebbert@nanostone.com)
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung	Dr. Dana Kühnel (dana.kuehnel@ufz.de)

KerWas

Im Projekt KerWas sollen dünnwandige, keramische Membranen angepasster Benetzbarkeit und hoher volumenspezifischer Membranfläche entwickelt und zur nachhaltigen Aufbereitung von Bergbauabwässern mittels Nanofiltration und Membrandestillation erprobt werden.

HINTERGRUND

Ein wichtiges Thema im Bereich der Abwasserbehandlung und Wasseraufbereitung ist die Entsalzung bzw. Salzaufkonzentrierung, welches im vorliegenden Projekt am Beispiel von Bergbauwässern genauer betrachtet werden soll. Dabei treten Abwasserströme mit sehr unterschiedlichen Salzkonzentrationen auf. In Spülwässern liegen die Konzentrationen im Bereich von < 1 g/l und können voraussichtlich mittels Nanofiltration aufbereitet werden. Im Bereich mittlerer Konzentrationen von 1-50 g/l soll untersucht werden, ob mittels Nanofiltration eine Fraktionierung der Salze möglich ist und KCl bzw. $MgSO_4$ als Wertstoff aus dem Abwasser gewonnen werden kann. Im Bereich hoher Salzkonzentrationen von > 50 g/l, wie sie als Laugen aus Salzhalden austreten, soll Membrandestillation mit neuartigen dünnwandigen, hydrophoben Mikrofiltrationsmembranen eingesetzt werden. Zusätzlich sollen Flowback-Wässer mit keramischen Membranen gereinigt werden, die auf Grund ihrer Restölgehalte den Einsatz von Polymermembranen unmöglich machen.

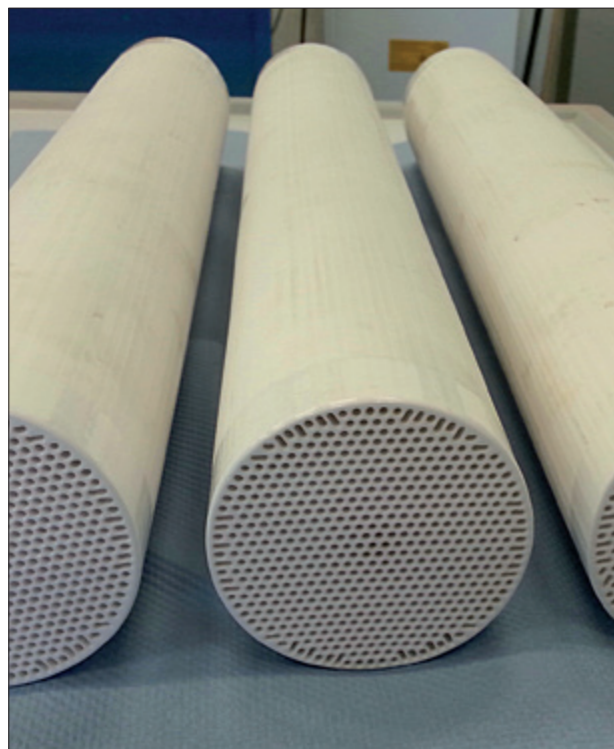


Abb. 1: Keramische Waben für die Nanofiltration (© Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH).

ZIELE

Ziel ist die Entwicklung keramischer Membranen aus Siliciumcarbid (SiC) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) in Form von Waben und Hohlfaserbündeln mit hydrophoben Makroporen für die Membrandestillation und hydrophilen Nanoporen für die Nanofiltration.

Die Verwendung poröser keramischer Waben und Hohlfaserbündel reduziert den manuellen Handlingaufwand und damit die Herstellungskosten erheblich. Jedoch stellen die engen, dünnwandigen, großvolumigen Bauteile und die Verwendung in der Querstrom-Filtration und Membrandestillation hohe werkstoffliche Herausforderungen in Bezug auf das Design, die Extrusion, die defektfreie Beschichtung mit NF-Membranen und die gezielte Einstellung der Benetzbarkeit.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Folgende Arbeitsschwerpunkte werden im Projekt KerWas bearbeitet:

- Entwicklung von wabenförmigen Supportgeometrien mit 10 m^2 Membranfläche pro Membranelement (Strömungsberechnung, Substratdesign, Werkzeugauslegung, Werkzeugbau, Extrusion, Brennen, Handling der schweren Membranelemente, Charakterisieren)
- Entwicklung druckstabiler Membranen auf SiC-Supporten (druckstabile SiC-Supporte, Beschichtung, Charakterisierung)
- Entwicklung hydrophober Hohlfaserbündel mit bis zu 1 m^2 Membranfläche je Bündel (Hohlfaserspinnen, Bündeln, Potten, Brennen, Hydrophobieren, Charakterisieren)
- Beschichtung von Al_2O_3 -Waben (Zwischenschichten, NF-Beschichtung, Charakterisierung)
- Hydrophobe wabenförmige Membranen (Hydrophobierung, Charakterisierung)
- Verfahrens- und Anlagenentwicklung (Nanofiltrationsanlagen und Membrandestillationsanlagen für Labor- und Pilotversuche unter Beachtung des hohen Salzgehaltes, insbesondere Chlorid)
- Anwendung (saure Bergbauwässer, Flowback-Wässer, Salzlauge aus dem Kalisalzbergbau)

ERSTE ERGEBNISSE

In den ersten 12 Monaten der Projektlaufzeit wurde die Membranfläche der Nanofiltrationsmembranen von $1,3\text{ m}^2$ /Element auf $4,5\text{ m}^2$ /Element erhöht (Abb. 1). An dieser Geometrie wurden wichtige Erkenntnisse zum Scale-up der Supportherstellung, Beschichtung, des Handlings, und der Charakterisierung gewonnen. Es wurden umfangreiche CFD-Rechnungen mit unterschiedlicher Kanal- und Schlitzgeometrie durchgeführt und durch praktische Schlitz- und Pluggingversuche validiert. Mittels 3D-Druck wurden neue Werkzeuggeometrien hergestellt und praktisch in der Extrusion erprobt. In Auswertung der Ergebnisse wird das Werkzeug für die 10 m^2 -Geometrie ausgelegt.

Für die Membrandestillation wurden kleine keramische Hohlfaserbündel (Abb. 2) hergestellt, unterschiedlich hydrophobiert und bezüglich des „Liquid-entry-pressure“ getestet.

Zwischen den Partnern wurde ein umfangreiches Versuchsprogramm zur Charakterisierung der Membranen in der Nanofiltration und Membrandestillation abgestimmt, die technischen Voraussetzungen für die Versuche geschaffen und mit den Versuchen begonnen. Mit den Anwendungspartnern wurden die Versuchsbedingungen für die Pilotversuche und daraus rückschließend die Anforderungen an die Pilotanlagen geklärt und mit der Planung und dem Bau der Pilotanlagen begonnen.

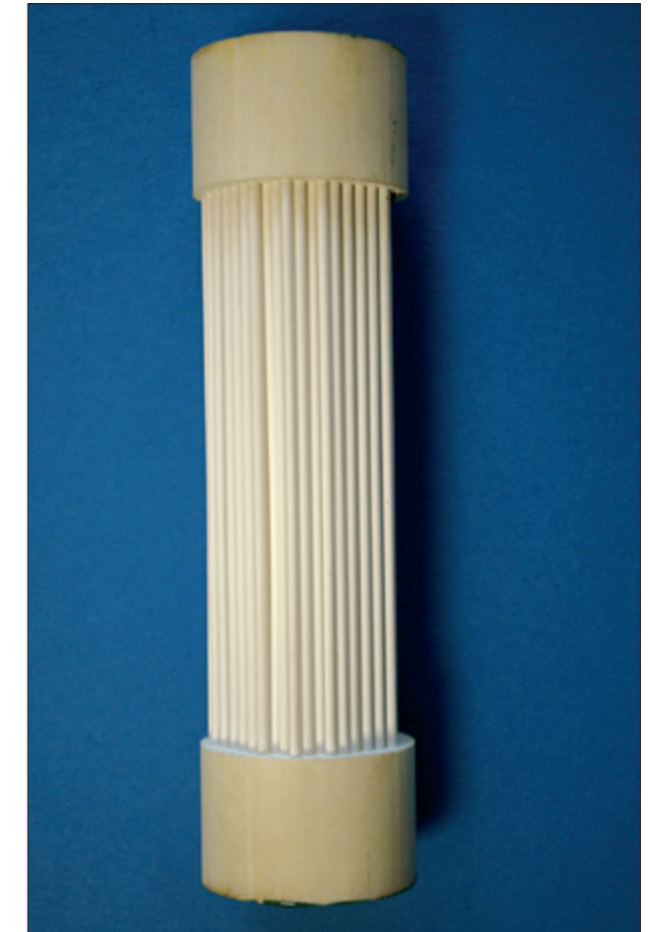


Abb. 2: Keramische Hohlfaserbündel für die Membrandestillation (© Fraunhofer Institut für keramischer Technologien und Systeme).

Laufzeit des Projektes: 01.02.2017 – 31.01.2020

Förderkennzeichen: 03XP0096

Projektpartner:

Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH	Dr. Christiane Günther (c.guenther@rkv.rauschert.de)
FCT Ingenieurkeramik GmbH	Dr. Karl Berroth (k.berroth@fcti.de)
Andreas Junghans – Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG	Andreas Junghans (a.junghans@ajunghans.de)
K-UTEC AG Salt Technologies	Dr. Bernd Schultheis (bernd.schultheis@k-utec.de)
G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH	Dipl.-Ing. Tim Aubel (t.aubel@geosfreiberg.de)
DEUSA International GmbH	Michael Pfeifer (michael.pfeifer@deusa.de)
Fraunhofer Institut für keramischer Technologien und Systeme	Dr. Ingolf Voigt (ingolf.voigt@ikts.fraunhofer.de)
TU Bergakademie Freiberg	Dr. Roland Haseneder (roland.haseneder@tun.tu-freiberg.de)

MABMEM

Im Projekt MABMEM werden neue Materialien und Materialkombinationen für Multibore®-Ultrafiltrationskapillarmembranen (Hochleistungsmembranen) zur Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung entwickelt. Durch Integration von oberflächenaktiven Additiven in die Trennschicht sollen Membraneigenschaften wie Permeabilität, Trenngrenze und das Foulingverhalten verbessert werden.

HINTERGRUND

Die Ressource Wasser wird durch eine stetig wachsende Weltbevölkerung zunehmend beansprucht. Ultrafiltration (UF) für die Wasseraufbereitung nimmt innerhalb der bekannten Membranverfahren bereits eine wichtige Position ein, da Verunreinigungen wie Bakterien und Viren, aber auch Biopolymere und Partikel bei moderaten Drucken sicher abgetrennt werden können. Dabei steht jedoch in vielen Fällen die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu etablierten Verfahren einem breiteren Einsatz noch entgegen.

ZIELE

Bei MABMEM handelt es sich um ein industriegeführtes Verbundprojekt zur vorwettbewerblichen Materialentwicklung für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Auf der Basis neuer Materialkombinationen soll die Leistungsfähigkeit derzeit verfügbarer UF-Membranen zur Wasseraufbereitung deutlich gesteigert (geringere Foulingneigung, höhere Permeabilität, verbesserte Rückhaltung), die Produktausbeute des eingesetzten Rohwassers erhöht und gleichzeitig geholfen werden, Investitions- und Betriebskosten für entsprechende Wasseraufbereitungsanlagen zu senken. Damit soll auch das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie verbreitert und Märkte adressiert werden, die derzeit noch nicht für die UF mit polymeren Membranen entwickelt sind.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Die in MABMEM zu entwickelnden Hochleistungsmembranen sind für folgende in der Fördermaßnahme priorisierte

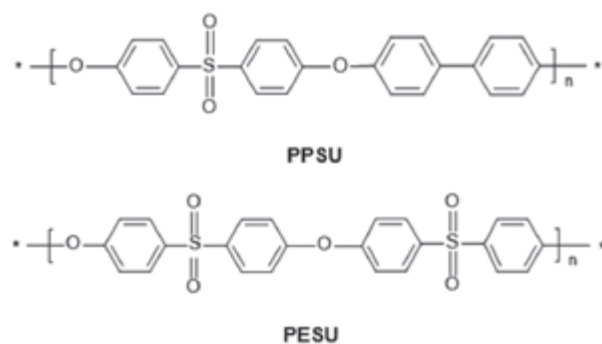


Abb. 1: Polyethersulfon (PESU) und Polyphenylsulfon (PPSU)

Technikansätze relevant und einsetzbar: Wasseraufbereitung, Ermöglichung von gesteigerter Wassernutzungseffizienz (Kaskaden-/Kreislaufnutzung), Abwasserreinigung und -aufbereitung. Die Entwicklungen in MABMEM liefern Ergebnisse zu den folgenden Handlungsfeldern innerhalb des Schwerpunkts „Materialien für Membranverfahren“ der Fördermaßnahme MachWas:

- Erhöhung der Selektivität, einstellbare Trenngrenze
- Erhöhung der Permeatflüsse
- Erhöhung der chemischen, mechanischen und thermischen Stabilität
- Integration zusätzlicher Funktionen zur Abtrennung spezifischer Stoffklassen

Darüber hinaus adressieren die Arbeiten zudem den Einbau adsorbierender Gruppen in die Membranstrukturen, wodurch die Fähigkeiten von Membranen zur gezielten Abtrennung von Schwermetallionen verbessert werden sollen. Ziel ist somit die Entwicklung einer neuartigen „Multi-Purpose Membran“.

ERSTE ERGEBNISSE

Als Basismaterial zur Herstellung von UF-Membranen wird Polyethersulfon (PESU) verwendet. Daneben soll als zusätzliches Basismaterial Polyphenylsulfon (PPSU) verwendet werden (Abb. 1). Bisher sind keine kommerziell verfügbaren MF/UF-Membranen aus diesem Polyarylether bekannt. Im Vergleich zu PESU weist dieser Polyarylether bei vergleichbarer Kettenlänge nur halb so viele SO₂-Verknüpfungen auf wie PESU. Damit hat PPSU gegenüber PESU den signifikanten Vorteil der erhöhten Beständigkeit gegenüber oxidativen Behandlungen, wie sie zur chemischen Reinigung von Filtrationsmodulen regelmäßig verwendet werden.

Die zur Performanceverbesserung der UF-Membranen einzusetzenden oberflächenaktiven Membranadditive lassen sich mittels Polykondensation von Dichlorodiphenylsulfon (DCDPS) mit Dihydroxydiphenylsulfon (DHDPS) bzw. Dihydroxybiphenyl (DHDP) sowie polyalkylenoxidhaltigen Synthesebausteinen erzeugen. Es entstehen, je nachdem ob mono

bzw. difunktionale Polyalkylenoxide als Einsatzstoffe gewählt werden, Tri- bzw. Multi-Blockcopolymerstrukturen. Die darin enthaltenen PESU- bzw. PPSU-Einheiten bilden die hydrophoben Segmente in der Additivstruktur, während die Polyalkylenoxidsegmente (Pluriol® E8000, Lutensol® AT80 und Pluronic® F127) die hydrophilen Segmente repräsentieren.

Hinsichtlich der Wirkungsweise dieser oligomeren Additive wird angenommen, dass diese sich nach Einarbeitung in die Polymergießlösung im Zuge des Phaseninversionsprozesses an der Oberfläche der Membrantrennschicht anreichern. Dabei wird vorausgesetzt, dass das hydrophobe Polyarylethersegment (PPSU, PESU) für eine Verankerung in der Oberfläche sorgt, während die hydrophilen Polyethylenoxidsegmente die Hydrophilie der Membranoberfläche vergrößern und somit deren Foulingneigung verringern sollen.

Die synthetisierten Membranadditive werden in PESU und PPSU Flachmembranen hinsichtlich Permeabilität und Selektivität vorgetestet und mit ausgewählten Kandidaten Hohlfasermembranen zur Evaluierung des Foulingverhaltens hergestellt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht zu den bisher synthetisierten und getesteten Additivbausteinen. Es konnte für die Mehrzahl der Additive eine Anreicherung in der Filtrationsschicht nachgewiesen werden, sowie für eine Vielzahl

von Additiven Verbesserungen der Membraneigenschaften wie Permeabilität und Foulingverhalten.

Von vier ausgewählten Entwicklungskandidaten werden im abschließenden Schritt Demonstratoren mit Multibore®-Ultrafiltrationskapillarmembranen jeweils mit PESU und PPSU hergestellt und diese in Pilotierungsanlagen mit Oberflächenwasser und Abwasser beim OOWV sowie bei der WAG abschließend evaluiert.

Im Arbeitspaket zu neuartigen „Multi-Purpose Membranen“ zur gezielten Abtrennung von Schwermetallionen wurde Polyphenylsulfon-co-dihydroxyphenylvaleriansäure (PPSU-co-DPA) als neuartiges Membranmaterial für die Herstellung von UF-Membranen etabliert. Diese neuen Membranen lassen sich nach entsprechender Aktivierung mit metallionenbindenden Oligomeren, wie beispielsweise Polyethylenimin (PEI, Lupasol®) flexibel beschichten. Mit den entsprechenden Beschichtungen konnten bislang unter statischen Bedingungen Metallionenbindkapazitäten für Cu(II)-Ionen von bis zu 30 mg/m² realisiert werden. Im nächsten Schritt werden Multi-Purpose Hohlfasermembranen hergestellt und verschiedene Beschichtungen unter realistischen Filtrationsbedingungen evaluiert werden.

Tabelle 1: Übersicht der synthetisierten und getesteten Additivbausteine

Struktur	Typ	Molmasse M _n	PEO Anteil	Polyethersulfon X = -SO ₂ - (PESU)			Polyphenylsulfon X = --- (PPSU)		
				2.5 k	5.0 k	7.5 k	2.5 k	5.0 k	7.5 k
H(O-CH ₂ -CH ₂)-OAlkyl	Lutensol® AT80	~3500 g/mol	97 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Lutensol® AT50	~2500 g/mol	92 %	✓					
	Pluriol® A 5010 E	~5000 g/mol	99 %	✓	✓				
H(O-CH ₂ -CH ₂)-OAlkyl	Pluriol® E 8000	~8000 g/mol	100 %	✓		✓			✓
H[EO]-[PO]-[EO]-OH	Pluronic® F 127	~14000 g/mol	73 %	✓		✓	✓		✓

Laufzeit des Projektes: 01.05.2016 – 30.04.2019

Förderkennzeichen: 03XP0043

Projektpartner:

BASF SE, Advanced Materials & Systems RAP/OUB	Prof. Dr. Martin Weber (martin.weber@basf.com) Dr. Oliver Gronwald (oliver.gronwald@basf.com)
Universität Duisburg-Essen Lehrstuhl für Technische Chemie II (UDE TC)	Prof. Dr. Mathias Ulbricht (mathias.ulbricht@uni-due.de)
Universität Duisburg-Essen Lehrstuhl für mechanische Verfahrenstechnik (MVT/WT)	Prof. Dr.-Ing. Stefan Panglisch (stefan.panglisch@uni-due.de)
Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH (HZG) Institut für Polymerforschung – Zentrum für Membranen und Strukturierte Materialien	Prof. Dr. Volker Abetz (volker.abetz@hzg.de) PD Dr. Ulrich Handge (ulrich.handge@hzg.de)
inge watertechnologies GmbH	D.I. Martin Heijnen (mheijnen@inge.ag)
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung GmbH (IWW)	Dr. Andreas Nahrstedt (a.nahrstedt@iww-online.de)
WAG Wassergewinnungs- und -aufbereitungs-gesellschaft Nordeifel mbH (WAG)	Walter Dautzenberg (walter.dautzenberg@enwor.de)
Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV)	Kerstin Krömer (kroemer@oowv.de)

POLINOM

Um Filtrationsmembranen vollständig räumlich zu nutzen, werden im Projekt POLINOM neue Beschichtungsmaterialien und partikuläre Additive entwickelt um zusätzlich zu der Filtrationsfunktion in Wasser gelöste Schadstoffe adsorptiv binden zu können und so polyvalente Trennungen durch flexible Integration aktiver Oberflächen in Membranen zu ermöglichen.

HINTERGRUND

Aktuell stellt die Zunahme von Mikroschadstoffen im Grundwasser, die in Kläranlagen nicht vollständig abgebaut werden, ein wachsendes Problem dar. Zu den Mikroschadstoffen gehören sehr unterschiedliche Stoffgruppen, wie z.B. Arzneimittelrückstände, Stoffe aus der Landwirtschaft (Pestizide, Herbizide) oder auch Industriechemikalien. Diese Stoffe werden teilweise in der Natur kaum abgebaut (Persistenz) und können sich auch in Organismen anreichern (Bioakkumulation). In den letzten Jahrzehnten wurde eine weltweite Akkumulation dieser Spurenstoffe in Abwasser, Oberflächenwasser und Grundwasser beobachtet.

Mikroschadstoffe sind chemisch sehr unterschiedlich aufgebaut und es gibt deshalb keine universell einsetzbare Lösung, um diese abzutrennen. Mit dem in diesem Projekt verfolgten Ansatz, sollen sogenannte Membranadsorber flexibel mit sehr unterschiedlichen funktionellen Gruppen ausgestattet werden, um damit maßgeschneiderte Lösungen für die Behandlung von verunreinigtem Wasser anbieten zu können.

Membranen haben in der Wasserbehandlung bereits vielfach Eingang gefunden. Allerdings können die bisher für Mikrofiltration (MF) und Ultrafiltration (UF) eingesetzten Membranen mit Porengrößen im Bereich von 1 µm bis 0,1 µm (MF) bzw. 100 bis 2 nm (UF) relevante niedermolekulare Schadstoffe über das Größenausschlussprinzip nicht entfernen. Membranen für die Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (RO) können zwar molekulare und ionische Stoffe teilweise zurückhalten, dafür sind aber hohe Drücke notwendig, was sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten in die Höhe treibt.

Andererseits können Adsorber prinzipiell für die Entfernung von molekularen Störstoffen genutzt werden. Typische Adsorbermaterialien sind mikroporöse Materialien, um eine große spezifische Oberfläche für die Adsorption bieten zu können. Der Nachteil dieser Materialien ist der limitierte Massetransport aufgrund der Diffusion der Mikroschadstoffe in die innere poröse Struktur der Adsorbentien. Dies bedeutet, dass lange Kontaktzeiten von Wasser und Adsorber notwendig sind, damit die Substanzen quantitativ adsorbiert werden. Somit können nur kleine Volumenströme behandelt werden oder die Anlagen müssen entsprechend groß dimensioniert werden. Dies ist bei der Nachrüstung bestehender Wasserbehandlungsanlagen, gerade auch für sogenannte point-of-use

(PoU) Systeme, aus Platzgründen oft problematisch und ganz allgemein aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich.

ZIELE

In diesem Vorhaben werden Materialien und Verfahren entwickelt, um die Membran vollständig räumlich zu nutzen. Hierfür werden neue Beschichtungsmaterialien und neue partikuläre Additive entwickelt. Diese werden entweder direkt in den Herstellungsprozess oder in einem Nachbehandlungsschritt in die Membran integriert. Durch diesen Ansatz sind Membranen zugänglich, die zusätzlich zu ihrer Filtrationsfunktion in Wasser gelöste Stoffe adsorptiv binden können. Durch eine innovative Kombination von funktionellen Beschichtungen und oberflächenmodifizierten Partikeln in Membranen sollen Mixed-Matrix-Membranadsorber mit multifunktionellen inneren Oberflächen entwickelt werden, die unterschiedliche Stoffgruppen mit hoher Kapazität und Selektivität binden.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

In einem ersten Schritt werden parallel Materialbibliotheken für die Beschichtung und für funktionelle Partikel aufgebaut und Verfahren zur Integration dieser Materialien in Membranen entwickelt. Diese Entwicklungen werden dann in einem zweiten Schritt zusammengeführt und in einem dritten Schritt in den Pilotmaßstab aufskaliert. Auf jeder Entwicklungsebene werden Funktionstests durchgeführt (Abtrennung von Mikroschadstoffen und Schwermetallen) und die vielversprechendsten Ansätze selektiert. Zum Abschluss werden Demonstrator-Module in Feldtests mit realen Trennproblemen getestet.

Das Projektkonsortium besteht aus dem Lehrstuhl für Technische Chemie II der Universität Duisburg-Essen, dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB sowie den beiden Unternehmen poromembrane und FUMATECH BWT. Die Partner bringen dabei jeweils komplementäres Know-how in das Projekt ein.

ERSTE ERGEBNISSE

Um diese Ziele zu erreichen, wurden zunächst polymere Partikel mit Größen von 200 nm bis 400 nm entwickelt und mit unterschiedlichen Funktionen ausgestattet. Es konnte bereits gezeigt werden, dass diese Partikel einfach über den

sogenannten Phaseninversionsprozess in Membranen eingebaut werden können (s.a. Abbildung). Dazu werden diese Partikel in Polymerlösungen dispergiert und anschließend werden daraus über einen Naßspinnprozess Hohlfasermembranen hergestellt. Parallel dazu wurden funktionelle Beschichtungen für Membranen entwickelt, die sich einfach und effektiv in einem Nachbehandlungsschritt in die Membran integrieren lassen. Die Basis bildet dabei die Click-Chemie, die als besondere Merkmale eine schnelle Reaktion auch

unter milden Bedingungen, einen hohen Umsatz und eine große Vielfalt an möglichen Funktionalitäten bietet. Auch hier konnte bereits die prinzipielle Machbarkeit demonstriert werden, wobei beschichtete Membranen hergestellt werden konnten, die neben ihren Ultrafiltrationseigenschaften auch Kupferionen adsorbieren können.

In Rahmen des Projektes werden diese beiden Ansätze zusammengeführt und an realen Proben getestet.

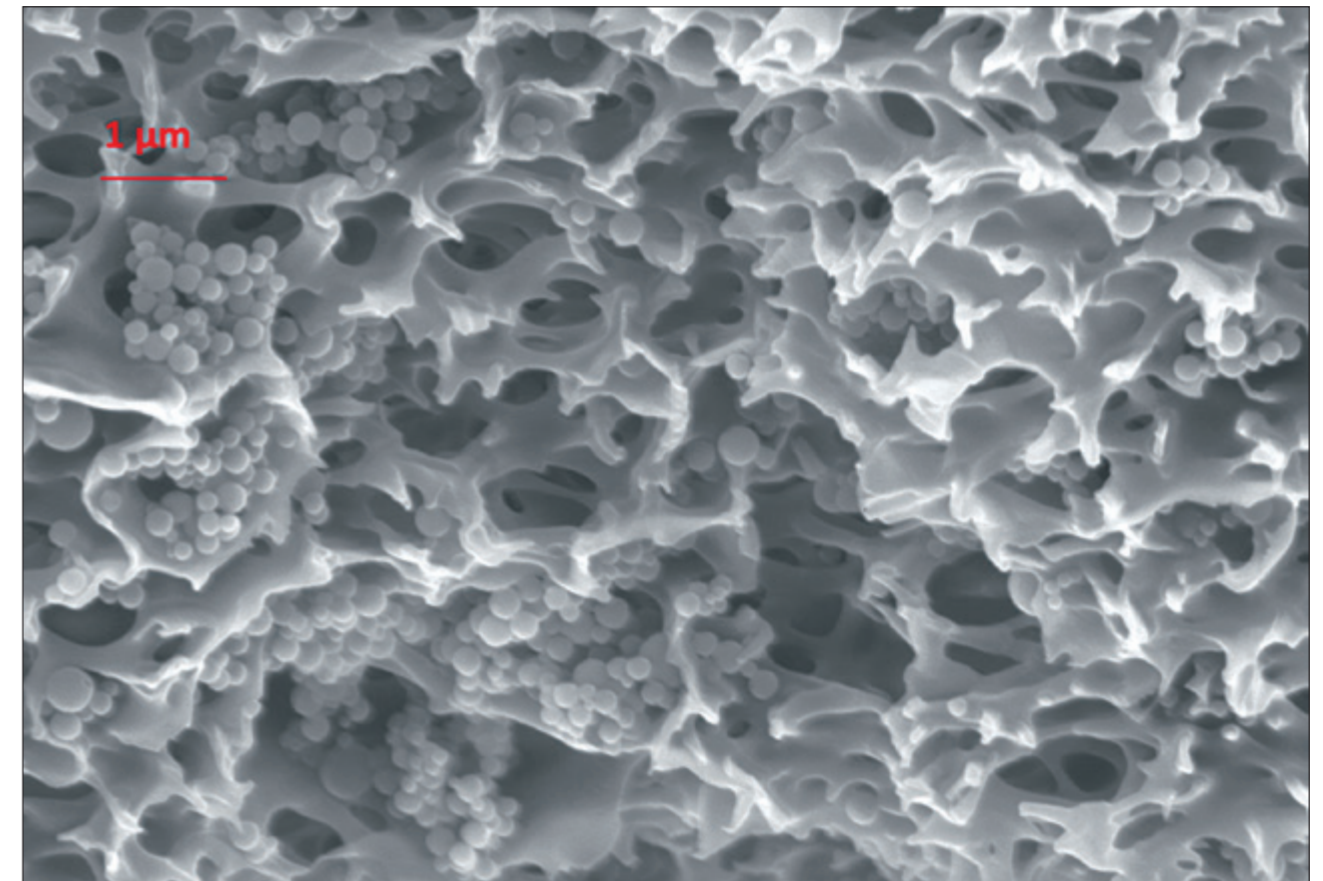


Abb. 1: Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Mixed-Matrix-Membran. (©Fraunhofer IGB)

Laufzeit des Projektes: 01.03.2017 – 29.02.2020

Förderkennzeichen: 03XP0106

Projektpartner:

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik	Dr. Thomas Schiestel (thomas.schiestel@igb.fraunhofer.de)
poromembrane GmbH	Dr. Dietmar Oechsle (dietmar.oechsle@poromembrane.de)
Universität Duisburg/Essen Lehrstuhl für Technische Chemie II	Prof. Dr. Mathias Ulbricht (mathias.ulbricht@uni-due.de)
FUMATECH BWT GmbH	Dr. Michael Jeske (Michael.Jeske@fumatech.com)

Rohrmembran

Im Projekt Rohrmembran werden neue Beschichtungsmethoden zur Herstellung maßgeschneiderter säurebeständiger Umkehrosmose-Rohrmembranmodule für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer entwickelt.

HINTERGRUND

Umkehrosmose-Membranen werden standardmäßig als Wickelmodul gefertigt und neigen ohne geeignete Vorreinigung bei einer Partikelbelastung zur Verblockung. Durch die neuartige Beschichtung von Rohrmembranen mit einer dichten Umkehrosmose-Trennschicht wird das Cross-flow Prinzip neuartig auf Umkehrosmose-Rohrmembranen übertragen, wobei in einem einzigen Verfahrensschritt die gewünschte selektive Trennung erfolgen kann. Durch den Verzicht auf eine zusätzliche Vorreinigungsstufe entfallen Investitionskosten, so dass die im Rahmen des Forschungsvorhabens angestrebte Materialentwicklung insbesondere für kleine und mittlere Volumenströme bei der Oberflächenbehandlung von Metallen angewendet werden kann. Diese Prozesswässer (oftmals saure partikelhaltige Spülwässer) sind ohne diesen innovativen Lösungsansatz für den Prozess verloren und werden in der Regel direkt über die Abwasserbehandlungsanlage entsorgt.

ZIELE

Projektziel ist die Herstellung säurebeständiger Umkehrosmose-Rohrmembranen für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer.

Hierbei werden neuartige Beschichtungs- und Herstellungsverfahren für polymere und keramische Rohrmembranen eingesetzt – die Beschichtung erfolgt mittels generativer Nanofabrikation und Grenzflächenpolymerisation.

Die neuartigen Rohrmembranen sollen in einem Verfahrensschritt die Erzeugung eines salz- und partikelfreien Wasserfiltrats ermöglichen.

Durch die Entwicklung der säurebeständigen UO-Rohrmembranen können saure und partikelhaltige Prozesswässer aus der Oberflächenbehandlung direkt aufbereitet und wiederverwendet werden. Kleine und mittlere Prozesswasserströme (bis zu 10 m³/h) werden derzeit aufwändig in der Abwasserbehandlung aufbereitet und sind bislang für die industrielle Wasserkreislaufführung verloren.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Erforderlich für den neuartigen innovativen Lösungsansatz sind materialtechnische Entwicklungen bezüglich der Membranwerkstoffe, speziell neuartige Beschichtungsverfahren müssen entwickelt und erprobt werden. Bezüglich Leistungscharakteristik und Säurestabilität werden die innovativ gefertigten Rohrmembranmodule industriennah in Betriebsversuchen an einer Produktionslinie getestet. Ergänzend wird der Stoffübergang an der RO-Rohrmembran mittels Modellrechnungen abgebildet und optimiert.

Die wesentlichen Arbeitsschwerpunkte des Vorhabens sind

- Entwicklung neuartiger UO-Beschichtungen für Rohrmembranen mittels Grenzflächenpolymerisation (Polymermembran) und generativer Nanofabrikation (anorganischer Membran-Support),

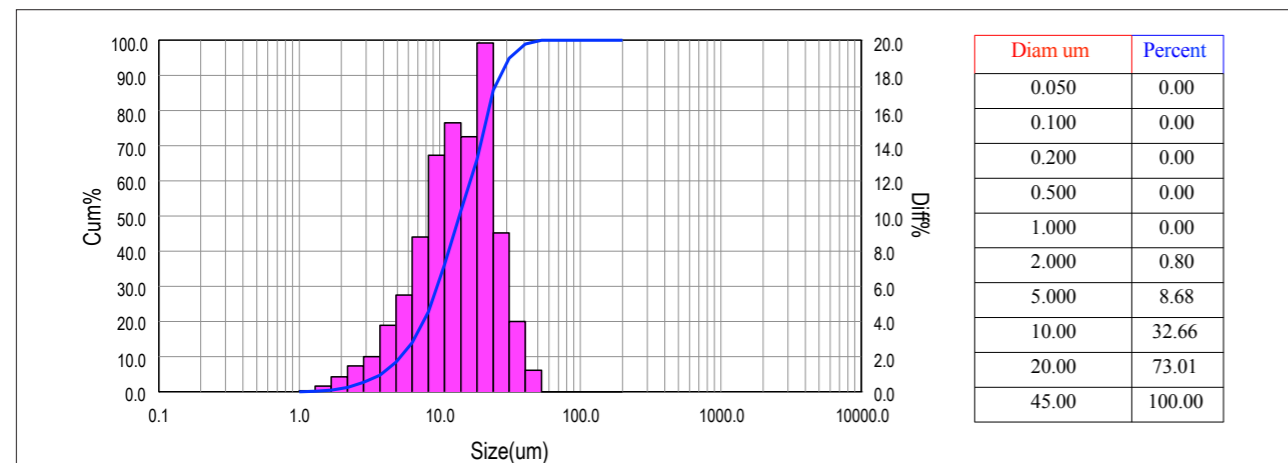


Abb. 1: Beispiel der Partikelverteilung im ausgewählten Spülwasser

- Laborversuche zur Ermittlung der Trenncharakteristiken der beschichteten Monokanalmembranen u.a. mit Original-Spülwasser,
- Herstellung säurebeständiger UO-Rohrmembranmodule für industrielle Anwendungen,
- Erprobung der neuen Membranmodule zur Minimierung des Frischwasserbedarfs durch Kreislaufführung von industriellen Prozesswässern (betriebliche Versuche),
- Entwicklung eines Prozessmodells für die Umkehrosmose mit Rohrmembranen,
- Darstellung der Wirtschaftlichkeit speziell für kleine und mittlere Volumenströme.

ERSTE ERGEBNISSE

Abb. 1 zeigt die Partikelanalyse für das ausgewählte industrielle Spülwasser von DEW: In der Probe sind 50 % der Partikel kleiner als 14 µm und 90 % der Partikel kleiner 27 µm. Die Partikel weisen zumeist keine scharfkantigen Ecken auf.

Die durchgeführten Beschichtungen und Charakterisierungen zeigen, dass vom DWI auf den anorganischen Membran-Supports des Partners Atech erfolgreich Poly-

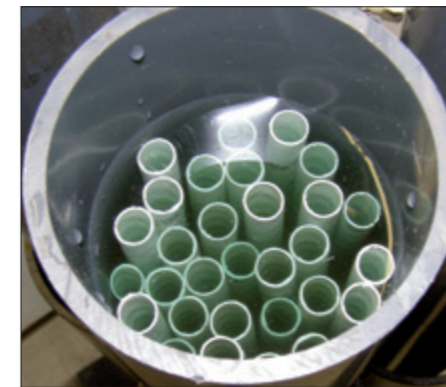


Abb. 2: Einlegeversuche von Rohrmembranen in Original-Spülwasser (© VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH)

elektrolytschichten aufgetragen werden können. Ein flächendeckender, fehlerfreier Multilayer wurde für unterschiedliche Membran-Supports ab 5 Bilagern erreicht. Die beschichteten Membranen können mit Rückhalten von 98% für bivalente Ionen und bis zu 90% für monovalente Ionen bei 10 Bilagern in die Kategorie der Umkehrosmose eingeordnet werden.

CUT hat polymere Rohrmembranen (PES, Labor-PVDF) produziert, die aufgrund von geringen Oberflächendefekten für die RO-Beschichtung noch weiter optimiert werden müssen.

Die Säurestabilität ist bei Einlegeversuchen in Original-Spülwasser im BFI über den bislang betrachteten Untersuchungszeitraum von max. 6 Monaten sowohl für polymere als auch für anorganische Membranen gegeben (Abb. 2).

Die RWTH Aachen hat erfolgreich Modellierungsrechnungen zu den Strömungsprofilen und zu den Konzentrationsprofilen (Abb. 3) durchgeführt.

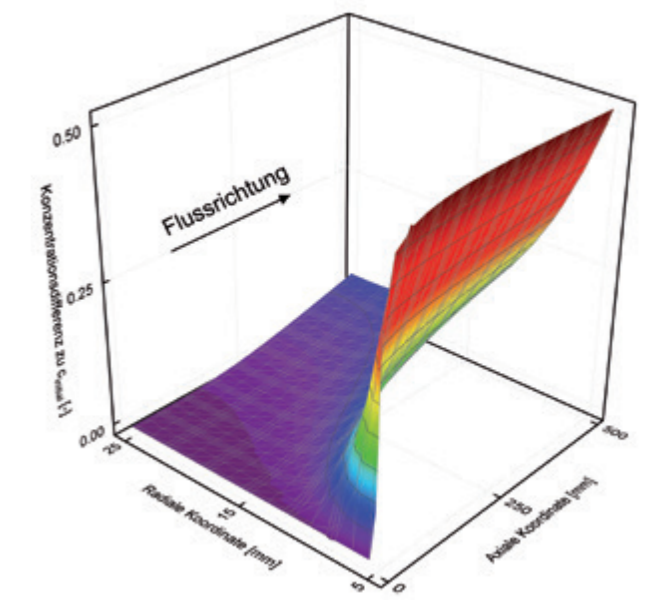


Abb. 3: Beispiel für das Konzentrationsprofil einer Rohrmembran (Shell domain)

Laufzeit des Projektes: 01.03.2017 – 28.02.2020	Förderkennzeichen: 03XP0100 A-F
Projektpartner:	
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH (BFI)	Dr. Ralf Wolters (ralf.wolters@bfi.de)
Aachener Verfahrenstechnik der RWTH Aachen (AVT.CVT)	Prof. Dr.-Ing. Matthias Wessling (matthias.wessling@avt.rwth-aachen.de) Deniz Rall M.Sc. (deniz.rall@avt.rwth-aachen.de)
Leibniz-Institut für Interaktive Materialien (DWI)	Johannes Kamp M.Sc. (johannes.kamp@avt.rwth-aachen.de)
Atech innovations GmbH (Atech)	Dr. Peter Mund (mund@atech-innovations.com)
CUT Membrane Technology GmbH (CUT)	Dr. Sven Behnke (sven.behnke@cut-membrane.com)
Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel GmbH & Co. KG (DEW)	Dipl.-Ing. Frederik Kolinke (frederik.kolinke@DEW-STAHL.com)

ElektroPapier

Im Projekt ElektroPapier wird u.a. an der Entwicklung papierbasierter Elektroden für die nachhaltige Abwasserreinigung mittels elektrochemisch aktiver Mikroorganismen geforscht, welche organische Verunreinigungen im Abwasser direkt in Energie oder wertvolle Energieträger umwandeln. Das Projekt fokussiert auf die Neu- und Weiterentwicklung der notwendigen Materialien um das Konzept insgesamt wirtschaftlich zu machen.

HINTERGRUND

Verantwortungsvoller Umgang mit Wasser bedeutet nachhaltige Reinigung von Wasser und Abwasser. Um eine nachhaltige Wassernutzung zu garantieren, werden innovative Behandlungskonzepte und Materialien benötigt. Eine vielversprechende Möglichkeit stellen mikrobielle elektrochemische Technologien bzw. mikrobielle Elektrolysezellen (MEZ) dar. Neu ist dabei, dass beim Abbau der organischen Abwasserbestandteile durch die elektrisch aktiven Mikroorganismen (EAM) direkt verwertbare elektrische Energie oder speicherbare Energieträger erzeugt werden. Dazu muss den Mikroorganismen ein leitfähiges Aufwuchsmaterial zur Verfügung gestellt werden, an welches sie die elektrische Energie abgeben können. Die Grundlagenforschung hat gezeigt, dass die Leistungsfähigkeit dieser Technologie vor allem durch den Ionentransport und somit das Elektrodenmaterial bestimmt wird. Aufgrund hoher Investitionssummen liegen bislang nur wenige Erkenntnisse im Hinblick auf eine großtechnische Umsetzbarkeit vor. Ein wesentlicher Flaschenhals ist die Entwicklung skalierbarer, großflächiger und in ökonomischem Maßstab zu produzierenden Elektrodenmaterialien.

ZIELE

Ziel ist es eine skalierbare Technologie für MEZ auf Basis von Rohrreaktormodulen mit dreidimensionalen Flächenelek-

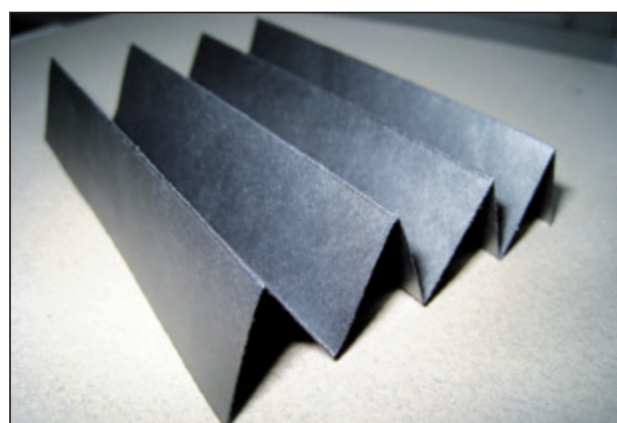


Abb. 1: Gefalteter papierartiger Elektrodenwerkstoff mit einem Füllgrad von 80% Graphit (© Papiertechnische Stiftung).

troden und optimierten Ionenaustauschermembranen zu entwickeln.

Die Leistungsfähigkeit dieses Systems mit neuen Materialien und einem stabilen Reaktorsystem wird im Labormaßstab und in der großtechnischen Anwendung mit kommunalem und industriellem Abwasser demonstriert. Durch die verwendeten papiertechnischen Verfahrensschritte zur Herstellung der Elektroden wird ein kostengünstiger flächiger Werkstoff entstehen, welcher zur Wirtschaftlichkeit der ökologischen Abwasserreinigung beiträgt und die MET (mikrobielle elektrochemische Technologien) einen Schritt näher an die industrielle Anwendung der Zukunft bringt.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Im Projekt ElektroPapier

- werden papierbasierte und graphithaltige Elektroden (ElektroPapiere) entwickelt. Diese sind im Gegensatz zu gängigen MBZ-Elektroden kosteneffizienter, durch den Verzicht auf Metalllegierungen umweltschonender und erleichtern die Hochskalierung der MEZ.



Abb. 2: Rohrreaktoren im Labormaßstab; links: mikrobielle Brennstoffzelle im Einkammersystem; rechts: mikrobielle Elektrolysezelle im Zwei-Kammer-System (© EnviroChemie GmbH).

- werden etablierte Papierformgebungsverfahren zur Bildung von 3D-Strukturen verwendet, wodurch die Elektrodenfläche pro Volumen (Ziel >400 m²/m³) und damit die Leistung der MEZ gesteigert wird.
- werden chemisch und mechanisch äußerst stabile Membranen mit hoher Ionenleitfähigkeit und einer geeigneten Antifoulingbeschichtung entwickelt.
- werden MBZ-Module designed, in denen die entwickelten Komponenten auf werkstoffliche Eigenschaften sowie in elektrochemischer und biologischer Hinsicht evaluiert und optimiert werden können.
- werden die entwickelten MBZ-Module mit realem Abwasser erstmals in einer großtechnischen Demonstration eingesetzt.

ERSTE ERGEBNISSE

Für die Herstellung des Elektrodenmaterials wurde im Labormaßstab ein spezielles Papierherstellungsverfahren entwickelt, mit dem die hochgradige Einbindung von Graphitpulver in das Fasergefüge möglich wird. Es konnten damit im Labormaßstab erfolgreich stabile leitfähige papierbasierte Werkstoffe, sog. „ElektroPapiere“ hergestellt, papiertypisch weiterverarbeitet und getestet werden.

Die papierphysikalischen Untersuchungen ergaben, dass die formgebende Faltung der Papiere bis zu einem Winkel von 180° keine Auswirkung auf die elektrische Leitfähigkeit der „ElektroPapiere“ haben.

Auch die Abwasserreinigung mit Hilfe von „ElektroPapieren“ wurde erfolgreich im Labormaßstab mit verschiedenen Abwässern (industriell und kommunal) nachgewiesen. In der Anwendung in MET konnten durch „ElektroPapier“ mit einem Anteil von 80 % Graphit, reproduzierbar sehr gute Stromdichten von bis zu 1 mA/cm² erzeugt werden. (Zum Vergleich: 0,8 - 1 mA/cm² sind üblich für reine Graphitelektroden und viele Metallelektroden). Diese Erkenntnisse legen den Grundstein für die Weiterentwicklung und Anwendung der dreidimensionalen papierbasierten Elektroden.

In ElektroPapier wurden kostengünstige und umweltfreundliche Elektroden entwickelt, die in MBZ Stromdichten ermöglichen, die mit den Spitzenwerten anderer Elektroden vergleichbar sind.

Zur Hochskalierung der Elektrodenherstellung wurde das (Elektro-)Papierherstellungsverfahren auf eine kontinuierliche Fertigung auf einer Technikumpapiermaschine übertragen. Die Optimierung dieses Prozesses wird derzeit noch durchgeführt.

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse durch einen Langzeitversuch zur Leistungsfähigkeit der „ElektroPapiere“ mit kommunalem Abwasser im Technikumsmaßstab (20 Liter) ergänzt.

Eigens im Projekt entwickelte dünne, freitragende Membranen aus modifizierten Polymeren zeigen in o.g. Laborversuchen mit EAM gute Performance und ausreichende Festigkeit, so dass ein langjähriger Betrieb möglich ist.

Zur Bewertung der Eignung verschiedener dreidimensionale Elektrodengeometrien wurden sechs Reaktoren im Labormaßstab (7 Liter) gebaut. Der Durchmesser dieser zylindrischen Laborreaktoren entspricht bereits dem der geplanten Rohrmodule für den Pilotmaßstab. Derzeit werden „ElektroPapiere“, teilweise durch Faltung, in verschiedene Strukturen gebracht, die dann in den Laborreaktoren untersucht werden sollen. Dabei werden neben den erzielbaren Stromdichten auch die Stabilität der „ElektroPapiere“ sowie die Strömungsbedingungen bewertet.

Ein Protokoll für die mikrobiologische Untersuchung der EAM auf Flächenelektroden wurde etabliert und die ersten Proben aus dem Technikumsreaktor werden bereits analysiert. Entlang dieses Protokolls wird nun der Langzeitversuch zur Leistungsfähigkeit der „ElektroPapiere“ begleitet. Auch die verschiedenen Strukturen der „ElektroPapiere“ werden nach den Laborversuchen an unterschiedlichen Stellen der Struktur mikrobiologisch untersucht.

Laufzeit des Projektes: 01.02.2016 – 31.01.2019

Förderkennzeichen: 03XP0041

Projektpartner:

EnviroChemie GmbH (Koordinator)	Dr. Eva Gilbert (eva.gilbert@envirochemie.com)
FUMATECH BWT GmbH	Dr. Bernd Bauer (bernd.bauer@fumatech.com)
Graphit Kropfmühl GmbH	Dr. Robert Feher (r.feher@gk-graphite.com)
Papiertechnische Stiftung (PTS)	Dr. Stefan Knohl (stefan.knohl@ptspaper.de)
Technische Universität Braunschweig/Institut für Ökologische und Nachhaltige Chemie (IÖNC)	Prof. Dr. Uwe Schröder (uwe.schroeder@tu-bs.de)
Technische Universität Braunschweig/Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW)	Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn (t.dockhorn@tu-braunschweig.de)
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ)	Dr. Falk Harnisch (falk.harnisch@ufz.de)

RADAR

Im Projekt RADAR sollen im Rahmen einer radikalischen Abwasserreinigung schwer abbaubare Verbindungen aus Abwässern entfernt werden durch eine Kombination von Reaktionen mit OH-Radikalen und Wasserstoffperoxid in einer elektrochemischen Zelle mit einer bordotierten Diamantelektrode (BDD) als Anode und einer Gasdiffusionselektrode (GDE) als Kathode.

HINTERGRUND

Wasser ist eine Lebensnotwendigkeit für die nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft. Der Bedarf an Wasser steigt kontinuierlich, währenddessen die Verfügbarkeit u.a. durch den Klimawandel sinkt. Der Schutz der Wasserressourcen sowie die Minimierung aller Abwasseremissionen verlangen eine Kreislaufführung von (Prozess-) Wasser bzw. eine wirksame Aufbereitung des Abwassers. Die Problematik bei industriellen und anderen Wasserkreisläufen besteht in der Anreicherung von Verunreinigungen, die zu entfernen sind. In diesem Projekt wird ein elektrochemisches Verfahren entwickelt, welches organische Stoffe weitestgehend mineralisiert. Besonders vorteilhaft könnten mit diesem Verfahren biologisch nichtabbaubare Verbindungen, toxische Inhaltsstoffe sowie endokrin wirksame Substanzen beseitigt werden. Die verwendeten OH-Radikale können als starke Oxidationsmittel diese Stoffklassen vollständig mineralisieren.

ZIELE

Im Rahmen des Projektes sollen schwer entfernbare organische Verunreinigungen wie z.B. aliphatische Verbindungen, Wirkstoffe und Röntgenkontrastmittel von Abwässern durch eine Kombination von Reaktionen mit Wasserstoffperoxid und OH-Radikalen in einer elektrochemischen Zelle mit einer bordotierten Diamantelektrode (BDD) als Anode und einer Gasdiffusionselektrode (GDE) als Kathode mineralisiert werden, wobei sowohl an der Anode (OH-Radikale) als auch an der Kathode (Wasserstoffperoxid) starke Oxidationsmittel entstehen. Durch diese neuartige Kombination werden zusätzliche Oxidationsreaktionen erzeugt, welche die elektrochemische Ausbeute und die Gesamt-Abbaueffizienz der Wasserreinigung erhöhen.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Die Realisierung des neuen Verfahrens im technischen Maßstab erfordert folgende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten:

- GDE-Design (Katalysator, Additive, Trägermaterialien, Porenstruktur, Stabilität, Fertigung)
- Herstellung von BDD-Elektroden sowie Scale-Up des Herstellungsverfahrens
- Materialentwicklung und Herstellung von Hilfselektroden/biegsamen Elektroden gegen Scaling

- Skalierbares Zelldesign für den synergetischen Betrieb der neuen GDE/BDD
- Vergleich verschiedener grundlegender Zellkonzepte
- Anpassung des Zelldesigns zur Vermeidung von Scaling, Ausfällung und Abscheidung von Ca-/Mg-Verbindungen, falls Wasserhärte vorhanden ist
- Anpassung des Zelldesigns an die verschiedenen Demonstrator-Anwendungen
- Praxistest einer angepassten Elektrolysezelle anhand realitätsnaher Kriterien
- Technologiebewertung im Vergleich mit anderen Oxidationsverfahren und alternativen Elektroden
- Erprobung des neuen Verfahrens an verschiedene Abwasserqualitäten
- Ökotoxikologische Untersuchungen und Bewertung der Technologie
- Wirtschaftliche Bewertung anhand Anwendungsrelevanter Parameter wie NRC und LCC

ERSTE ERGEBNISSE

Material- und Elektrodenentwicklung

Die eingesetzten GDE sollen zum einen die Wasserstoffbildung inhibieren und somit ein Schäumen des Abwassers bei der elektrochemischen Abwasserbehandlung vermeiden, zum anderen Wasserstoffperoxid erzeugen, welches einen zusätzlichen Beitrag zur Abwasserreinigung leistet. Darüber hinaus müssen die GDE mechanisch stabil und kostengünstig sein. Es wurden GDE mit dem von COVESTRO entwickelten Trockenpulververfahren mit verschiedenen Kohlenstofftypen hergestellt und untersucht. Es wurden Kohlenstofftypen identifiziert, die sich gut zu GDE verarbeiten lassen. Zur Testung wurde eine Laborzelle mit einer Fläche von 100 cm² aufgebaut. In dieser können die GDE im Wasserstoffperoxid- als auch im Hydroxid-Ionen-Modus betrieben werden. Ziel war die Optimierung der Elektrode bzgl. der Sauerstoffreduktion zu Hydroxid-Ionen als auch zu Wasserstoffperoxid. Verdünnte Kalilauge diente als Elektrolyt. Es wurden bei Stromdichten von 0,5 bis 1 kA/m² Stromausbeuten bzgl. der Wasserstoffperoxid-Bildung von bis zu 60 % gemessen.

Bei EISENHUTH wurden unterschiedliche Kompositen-Mischungen zur Herstellung der flexiblen Elektroden für den Entkalkungsreaktor erstellt, zu Elektrodenplatten verarbeitet und hinsichtlich ihrer Eigenschaften untersucht. Dabei stellten sich zwei Materialien als sehr vielversprechend heraus. Diese Materialien zeigten bei guter mechanischer Flexibilität eine

gute elektrische Leitfähigkeit und geringe Anhaftungen von Kalk. Es wurden Elektrodenplatten in unterschiedlichen Geometrien gefertigt um im System/Teststandbetrieb erprobt zu werden (Abb. 1).

Zellen Design und Erprobung

Neben dem technischen Design einer Wasserstoffperoxid-bildenden GDE sind die Betriebsparameter leistungsbestimmend für die zu entwickelnden elektrochemischen Zellen. Eine Laboranlage mit Reaktoren im technisch-relevanten Maßstab von je 100 cm² aktiver Fläche (Abbildung 2) wurde bei TUC in Betrieb genommen, um den Einfluss verschiedener Betriebsparameter wie Stromdichte, pH-Wert, Sauerstoff- und Elektrolytvolumenstrom zu untersuchen. Bisherige Ergebnisse zeigen einen gravierenden Einfluss der Temperatur auf die Wasserstoffperoxid-Ausbeute auf. Je kälter, desto besser – ganz im Sinne der Behandlung von relativ kühlem Abwasser. Neben dem Screening der Betriebsparameter steht die Untersuchung vielversprechender Wasserstoffperoxid-Katalysatoren in Zukunft im Vordergrund.

Es wurde weiterhin im DECHEMA-Forschungsinstitut eine Elektrolysezelle mit einer BDD zur Ozon- und einer GDE zur Wasserstoffperoxid-Herstellung konzipiert. Erste Erprobungen zum Abbau von Röntgenkontrastmitteln laufen. Ziel ist die Optimierung der Ausbeute von Wasserstoffperoxid mit Unterdrückung möglicher Nebenreaktionen. Geeignete Analytik Methoden zur Detektion von Ozon und Wasserstoffperoxid wurden getestet und validiert.

Im CUTEC Forschungszentrum wurde ein an Zugabwasser angepasstes Modellabwasser ozonisiert und hinsichtlich



Abb. 1: Kompositen-Elektrodenplatte (© Eisenhuth GmbH und Co. KG)

Ozoneintrag, Versuchsdauer, Energieeintrag und pH-Wert bewertet. Darüber hinaus wurde das im Begleitkreis ausgewählte Medikament Diclofenac ebenfalls ozonisiert und die entstehenden Metaboliten analysiert. Parallel wurde mit dem Aufbau einer Versuchsanlage mit den Komponenten BDD und GDE begonnen, um die Abbaueffizienz der elektrochemischen Oxidation mit der Ozonisierung zu vergleichen.

Das Design der Elektrolysezellen entsprechend den beantragten Konzepten wurde bei CONDIAS abgeschlossen. Die dafür hergestellten bordotierten Diamantelektroden (BDD) auf Niob-Substrat haben erfolgreich die internen Prüfungen bestanden und wurden an unsere Projektpartner geliefert. Die erfolgreiche Kombination der BDD Anode mit der GDE Kathode in einer Elektrolysezelle zeigt erhöhte Abbauraten der organischer Bestandteile im synthetischen Abwasser. Untersuchungen darüber werden auch in anwendungsnahen Modellabwässern durchgeführt.

Wirtschaftliche Bewertung:

Die Erstellung eines Lastenhefts und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Zugabwasseraufbereitung mit dem neuen Zellsystem im Vergleich zum Stand der Technik sind in Arbeit bei EVAC.

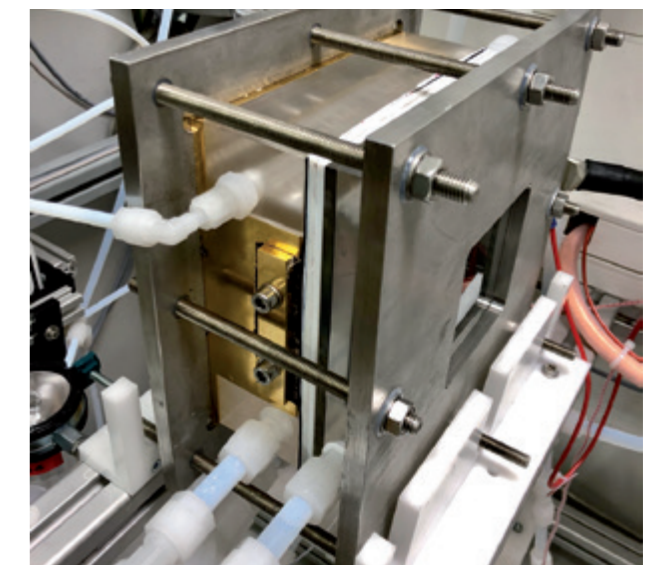


Abb. 2: Elektrochemischer Laborreaktor für die radikalische Abwasserreinigung (© DECHEMA-Forschungsinstitut)

Laufzeit des Projektes: 01.04.2017 – 31.03.2020

Förderkennzeichen: 03XP0107

Projektpartner:

Covestro Deutschland AG	Andreas Bulan (andreas.bulan@covestro.com)
Eisenhuth GmbH & Co. KG	Dr. Thorsten Hickmann (t.hickmann@eisenhuth.de)
Evac GmbH	Tobias Wendt (tobias.wendt@zodiac aerospace.com)
Technische Universität Clausthal	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kunz (kunz@icvt.tu-clausthal.de)
Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum (CUTEC)	Prof. Dr.-Ing. Michael Sievers (michael.sievers@cutec.de)
DECHEMA-Forschungsinstitut	Dr. Klaus-Michael Mangold (mangold@dechema.de)
CONDIAS GmbH	Rieke Neuber (neuber@condias.de)
Eilenburger Elektrolyse- und Umwelttechnik GmbH	Dr. Hans-Jürgen Förster (hjf@eut-eilenburg.de)

ContaSorb

Im Projekt ContaSorb werden neuartige „Multi-Purpose-Kompositmaterialien“ (Kohlenstoff-Eisen-Komposit-Materialien) für die Sorption und Zerstörung von halogenierten Grundwasserschadstoffen entwickelt und erprobt. Die Kompositmaterialien, die bei der In-situ-Grundwasserreinigung in den Aquifer eingespült werden, vereinen Adsorptionseigenschaften und Reaktivität. Halogenierte Grundwasserschadstoffe werden am Komposit gezielt adsorptiv angereichert und im sorbierten Zustand durch eingebaute Reagenzien bzw. Katalysatoren oxidativ oder reduktiv zerstört.

HINTERGRUND

Das Spektrum an persistenten halogenierten Grundwasserschadstoffen ist nach wie vor breit. Der Bedarf, Kontaminationen aktiv zu beseitigen, erweitert sich aber merklich von Schadensfällen mit „konventionellen“ chlorierten Lösungsmitteln hin zu Pestiziden, Pharma-Reststoffen und polyfluorierten Säuren und Tensiden (PFTs). Gemeinsam ist diesen Kontaminationen, dass die Schadstoffkonzentrationen niedrig sind, die Substanzen sehr persistent und polar sind und durch reine Sorption nur unzureichend aus den kontaminierten Grundwasserleitern entfernt werden. Die Kopplung der sorptiven Anreicherung an geeigneten Sorbenzien und die Zerstörung der Schadstoffe im sorbierten Zustand erscheint uns als einer der wenigen aussichtsreichen Wege, die genannten Problemstoffe effektiv zu beseitigen.

Der Erfahrungsschatz, der aus der Entwicklung von Carbo-Iron® stammt (ein Produkt, das am UFZ entwickelt wurde, Sorption mit Reaktion von Schadstoffen verbindet und das optimierte Eigenschaften für die In-situ-Anwendung im Aquifer aufweist), soll hier genutzt werden, um injizierbare reaktive Partikel zu entwickeln, die maßgeschneidert für mehrere verschiedene Anwendungsbereiche sind („Multi-Purpose-Materialien“).

ZIELE

Ziel von ContaSorb ist die Entwicklung und Felderprobung neuartiger Kompositmaterialien zur In-situ-Reinigung halogenorganisch kontaminierter Grundwässer, wobei nicht

nur die „konventionellen“, sondern auch die „neuen“ Mikroschadstoffe, wie Pestizide, halogenierte Pharmareststoffe und polyfluorierte Säuren und Tensiden (PFTs), in den Fokus kommen. Im Projekt wird die gesamte Bandbreite von der Materialentwicklung bis hin zur Feldtestung abgebildet.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Die Arbeiten werden in fünf ineinandergreifende Arbeitspakete (AP) unterteilt. Die Partikelentwicklung und -optimierung (AP1) beinhaltet neben der Erstellung der Herstellungsmethoden, die eingehende chemisch-physikalische Partikelcharakterisierung, Reaktivitäts- und Mobilitätstests mit Blick auf die Anwendung im Feld. Das AP2 beinhaltet die pilotmaßstäbliche Produktion der Partikel mit dem erforderlichen Up-Scaling der Herstellungsmethoden. Nach Vorerkundung erfolgt die Demonstration und Validierung der Wirksamkeit der neuen Materialien im Feldversuch (AP3). Das Feld-Monitoring und die Erfolgskontrolle (AP4) durch Mehrmethodenansätze, die Schadstoffabbau und Partikeltransport analysieren, helfen das Potenzial der neuen Methoden und Materialien zu bewerten. Im AP5 wird ein Verwertungskonzept erstellt.

ERSTE ERGEBNISSE

- Zwei Feldstandorte wurden aquiriert für CKW (Standort 1) und perfluorierte Tenside (Standort 2), die derzeit mit den zuständigen Behörden und Problemeignern für Pilottests vorbereitet werden.

- Ein Screening für verbesserte PFT-Sorptionsmaterialien als Grundlage für das Sorptions/Reaktions-Konzept ist erfolgt. Zwei besonders geeignete Materialtypen konnten identifiziert werden.
- Ein neuer Katalysator für die Aktivierung von Oxidationsmitteln wurde gefunden. Derzeit laufen Arbeiten zum Verbund mit geeigneten Trägern (Plan für Standort 2) und dem Zusammenwirken von Träger und Katalysator.
- Geträgerte Katalysatoren zur Oxidation von Mikroschadstoffen wurden erfolgreich im Labormaßstab getestet. Die Katalysatoren sind upscalingfähig.
- Das Konzept des korrosionsstabilen Carbo-Iron ist erfolgreich (Einsatz am Standort 1). Eine Publikation dazu steht kurz vor der Einreichung. Eine Patentschrift wurde verfasst.
- Vereinigung von Eisen und Kohlenstoff durch mechanochemische Methoden ist erfolgreich. Die angestrebte Partikelgröße erfordert längere Mahldauern.
- Ein Methodenscreening für zwei halogenierte Mikroschadstoffe aus dem Bereich der Herbizide erfolgte (Atrazin, Bromacil). Die Machbarkeitsanalyse zeigte die Eignung von verschiedenen ContaSorb-Partikeln. Es wurden ökotoxikologische Untersuchungen und die Metabolitenfeinanalytik mit Identifizierung der Abbauewege durchgeführt und eine Partikel-Empfehlungen für Anwender erstellt.

Tab. 1: Geplante Materialentwicklungen, Innovation und Zielanwendungen te Materialentwicklungen, Innovation und Zielanwendungen





Partikeltyp	Produkt	Angestrebte Innovation	Zielanwendung	Entwickler
 A Coating	Fe/C Fe-Nanopartikel mit geeignetem fest haftendem sorptionsaktivem Coating	Entwicklung einer mechanochemischen Herstellungsmethode für kolloidale Metall/C-Komposite mit hohem Eisenanteil. Der C-Mantel soll Schadstoffe anreichern, den Kontakt zu organischen Phasen vermitteln, das Fe schützen und dessen Agglomeration senken.	Dechlorierung, Quellensanierung, hochkonzentrierte Fahnen	UVR-FIA GmbH
 B Eisen in poröser Matrix	C/Fe korrosionsstabiles Carbo-Iron (kolloidale C-Partikel mit eingebauten korrosionsstabilen Eisenclustern)	Entwicklung einer sehr langlebigen Variante des Carbo-Irons. Die Reduktionskraft des Eisens soll zu nahe 100% in die Dechlorierung und nicht in die Korrosion fließen.	Dechlorierung, Standorte, bei denen es v.a. auf Langzeitstabilität ankommt, Vorteil für niedrigkonzentrierte Fahnen durch Schadstoffefang	UFZ
 B Eisen in poröser Matrix + Zusatz	C/Fe + Bioaktivator Bio-Carbo-Iron	Kopplung von chemischen und mikrobiologischen Abbauprozessen. Carbo-Iron-Variante, die neben der chemischen Dechlorierung aktiv mikrobiologische Prozesse unterstützt.	Dechlorierung	Isodetect GmbH
 B Katalysator in poröser Matrix	Sorbens+Kat sorptionsaktive Oxidationskatalysatoren	Entwicklung neuer Systeme für Advanced Oxidation. Eine wichtige Zielgruppe sind poly- und perfluorierte Tenside (PFTs). Aktivierung von einspülbaren Oxidationsmitteln zur radikalbasierten Zerstörung sorbierter Schadstoffe.	Oxidation von Mikroschadstoffen einschl. PFTs	UFZ



Abb. 1: Wertschöpfungskette

Laufzeit des Projektes: 01.02.2017 – 31.01.2020	Förderkennzeichen: 03XP0090
Projektpartner:	
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ	Dr. Katrin Mackenzie (katrin.mackenzie@ufz.de)
UVR-FIA	Dr. Andre Kamptners (kamptner@uvr-fia.de)
SCIDRE Scientific Instruments Dresden GmbH	Robert Schöndube (r.schoendube@scidre.de)
Isodetect GmbH	Dr. Anko Fischer (fischer@isodetect.de)
Intrapore GmbH	Dr. Johannes Bruns (johannes.bruns@intrapore.com)

Ferrosan

Im Projekt Ferrosan werden hochvernetzte Biopolymere auf Basis von Glucan-Chitin-Komplexen entwickelt zur Schwermetallabscheidung insbesondere der Eisenadsorption. Diese Biopolymere sollen in stillgelegten Braunkohle-Tagebauebenen zum Einsatz kommen und hier metallische Bestandteile (Eisensalze und Eisenhydroxid) aus Oberflächengewässern entfernen/reduzieren, welche durch ansteigendes Grundwasser ausgespült werden und durch den hohen Eisen- und Sulfatanteil zu Problemen bei der Trinkwassergewinnung führen.

HINTERGRUND

Seit etwa 100 Jahren wird in den Regionen Sachsens Braunkohle abgebaut. Durch die Stilllegung vieler Tagebaue und deren Flutung steigt das Grundwasser wieder an und spült aus Abraumdeponiegebieten und natürlich vorkommenden Bodenschichten metallische Bestandteile (Eisensalze und Eisenhydroxid) aus. Das führt zur Belastung der Oberflächenwässer (die sogenannte „Verockerung der Spree“) und zu Problemen bei der Trinkwassergewinnung durch den hohen Eisen- und Sulfatanteil. Deren Entfernung/Reduzierung ist deshalb eine permanente Aufgabe sowohl der aktiven Bergwerke als auch stillgelegter Produktionsstandorte. Es ist bekannt, dass Chitosan über sehr gute Schwermetallbindungseigenschaften verfügt.

ZIELE

Ziel ist die Entwicklung eines neuartigen Flockungsmittelkomplexes mit dem Schwerpunkt der Eisenflockung aus Ab- oder Oberflächenwässern in Bergbauregionen. Durch Flockungsprozesse werden feinste Fremdbestandteile im Wasser

adsorbiert, um sie durch Sedimentation oder Filtration besser entfernen zu können. Im Projekt sollen die Flockungsmittel eine möglichst hohe Adsorptionsrate an Metallen und Salzen aufweisen, aber gleichzeitig für die Technologien der bestehenden Grubenwasserreinigungsanlagen geeignet sein. Der beim Adsorptionsvorgang gewonnene metallhaltige Schlamm soll so aufbereitet werden, dass er weiter genutzt werden kann. Die zu entwickelnden Flockungsmaterialien sind biologisch abbaubar und ökologisch unbedenklich.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Eigene Forschungen zeigten, dass unerwartet hohe Abreinigungsleistungen möglich sind. Mit 50kg Chitosan konnten im Großversuch 500 t Eisenhydroxid bzw. -sulfat gebunden werden. Damit ist ein kostengünstiger Einsatz bei geringer Modifizierung vorhandener Anlagentechnik gegeben.

Ein Weg, die Wirksamkeit der Flockungsmittel zu erhöhen und den Bedarf an Chitosan zu verringern, ist die Vernetzung/Co-Polymerisierung von Chitosan. Die aus Bier- und Gärhefen gewonnenen Zellwände, welche aus einem Glu-

can-Chitin-Komplex bestehen, sollen so modifiziert werden, dass sie zur Vernetzung von Chitosanketten geeignet sind und dadurch hochmolekulare Flockungsmittel mit hoher Reaktivität entstehen. Mit diesen soll verhüttbares Eisen aus Tagebauwässern gewonnen werden. Ziel ist die Technologie- und Ausrüstungsentwicklung für die Produktion der Biopolymere und deren Test bei Eisensulfat haltigen Oberflächenwässern.

Die geplante Entwicklung der Materialien soll auch eine Nutzung zur Aufbereitung von Trink-, Grund- und Kühlwasser sowie schwermetallhaltiger Wässer von Zink bis zum Uran ermöglichen.

ERSTE ERGEBNISSE

Es ist der Nachweis sowohl qualitativ als auch quantitativ erbracht, Hefezellwände teilweise zu kationisieren und eine Wirkung auf Eisen- und Sulfationen nachzuweisen. Die Verfahrenstechnologie konnte verkürzt werden, da durch den Bezug von Abfallzellwänden der Aufschluss der Hefezellen nicht mehr notwendig ist. Es sind nur noch die Verfahrensschritte Endproteinierung, Deacetylierung und Neutralisation erforderlich.

Im Sommer/Herbst 2018 werden in Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Bodenverband Oberland Calau Großversuche mit geotextilen Schläuchen stattfinden.

Die Herstellung von trockenem verhüttbarem Eisenschlamm mit einem 40 %igen Eisenanteil und 95 %TS ist wirtschaftlich nur mit Abfallwärme der Energieerzeuger vor Ort möglich. Gegenwärtig ist die Perspektive des Kraftwerkes „Schwarze Pumpe“, welches für die Trocknung angedacht war, nicht gesichert und auch keine Bereitschaft vorhanden, die Trocknungstechnologie mit einzubeziehen.

Die Nutzung von leicht kationischen Flockungsmitteln aus Hefezellwand hat auch Bedeutung für alle leicht sauren Nahrungsmittel wie Säfte, Bier, Wein usw. Für diesen Einsatz sind jedoch Zulassungen im Lebensmittelbereich notwendig. Auch medizinische Anwendungen zur Reglung von Verdauungsproblemen sind denkbar. Gering kationisch geladene Polymere haben sich auch in der Reinigung von Kieswaschwasser und Baustellen-Sumpfungswasser bewährt.



Abb. 1: Entwässerung in Absetzbecken (© Biolog Heppe GmbH)



Abb. 2: Entwässerung in geotextilen Schläuchen (© Biolog Heppe GmbH)

Laufzeit des Projektes: 01.04.2016 – 31.03.2019

Förderkennzeichen: 03XP0048

Projektpartner:

Biolog Heppe GmbH

Prof. Andreas Heppe (chitosan@biolog-heppe.de)

Leibnitz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.

Dr. Simona Schwarz (simsch@ipfdd.de)

ZeroTrace

Das Projekt ZeroTrace entwickelt neue Adsorptionsmaterialien (Aktivkohlen mit hoher Leitfähigkeit aus nachwachsenden Rohstoffen) für die Entfernung von Spurenstoffen in kommunalen und industriellen Kläranlagen. Die Aktivkohlen werden vor Ort thermoelektrisch regeneriert und wiederverwendet. Das neue Adsorptionsverfahren soll effizient, kostengünstig und nachhaltig sein.

HINTERGRUND

50 Millionen organische Verbindungen sind weltweit im Umlauf, von denen ca. 5000 als potentiell umweltrelevant eingestuft werden. In dem bevölkerungsreichen Land Deutschland mit vielen industriellen Ballungsräumen sind die Ab- und Gewässer oft außergewöhnlich hoch mit sogenannten Spurenstoffen, z. B. Arzneimittelrückständen, belastet. Diese Spurenstoffe sind zum Teil schwer abbaubar und wirken trotz ihrer sehr geringen Konzentration im Wasser - meist weniger als ein Teil Schadstoff auf eine Milliarden Teilchen Wasser - möglicherweise toxisch. Um die Spurenstoffe zu entfernen, setzen die Kläranlagen in vielen Fällen Materialien ein, die Spurenstoffe an sich binden können. Aktivkohle ist solch ein Material, das Schadstoffe an der Oberfläche bindet. Das so gereinigte Wasser verlässt die Kläranlage; die gebrauchte Aktivkohle wird entweder entsorgt oder in zentralen Aufbereitungsanlagen wieder regeneriert und erneut verwendet. Nachteilig ist, dass der überwiegende Anteil an Aktivkohle aus Steinkohle gewonnen wird - einem nicht nachwachsenden Rohstoff.

ZIELE

ZeroTrace will ein neues Aktivkohleverfahren zur Abwasserreinigung etablieren und dazu Aktivkohlen entwickeln, die

- in großen Mengen preiswert verfügbar sind (→ industrielle und kommunale Anwendbarkeit),
- ortsnah effizient regenerierbar sind (→ Ressourcenschonung) und
- möglichst viele Arten von Spurenstoffen entfernen (→ Breitbandwirksamkeit).

Wesentliche Innovation ist die Entwicklung von stabilen Komposit-Aktivkohlen mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit, die in einem neuen elektrischen Regenerationsverfahren (EFSA-Electric Field Swing Adsorption) im Labor- und Pilotmaßstab umgesetzt werden sollen.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Der Lösungsweg des Konsortiums deckt die komplette Wertschöpfungskette ab, beginnend mit der Entwicklung von Komposit-Aktivkohle aus einem Basismaterial und einer elektrisch

leitfähigen Komponente. Die modifizierte Aktivkohle wird konfektioniert und in einfachen Labortests auf ihre Anwendbarkeit zur Elimination bestimmter Indikator-Spurenstoffe untersucht. Ein neues Regenerationsverfahren auf Basis der EFSA, die bisher nur in der Gasadsorption Anwendung findet, wird im Labormaßstab für die spätere Pilotierung umgesetzt und untersucht. Die Adsorptionsfähigkeit der priorisierten Aktivkohlen wird im erweiterten Labormaßstab überprüft, bevor sich Pilotphasen mit kommunalem und industriellem Abwasser anschließen. Das neue Aktivkohleverfahren wird unter Berücksichtigung der sozio-ökonomischen und ökologischen Innovationstreiber und -hemmnisse bewertet, um eine zielgerichtete und nachhaltig wirkende Entwicklung sicherzustellen.

ERSTE ERGEBNISSE

Um leitfähige Aktivkohlepellets herzustellen, werden native Kohlenstoffträger auf Basis von Holzkohle und Kokosnussschalen im Vergleich zu Steinkohle untersucht. Sie werden mit expandiertem Graphit gemischt und zuckerstämmigen Bindemitteln (Palatinose und Dicksaft) bzw. Pechöl gebunden. Als Zwischenergebnis einer umfangreichen Parameterstudie gelingt es, erste Rezepturen für stabile Komposit-Aktivkohlen mit 10 und 20 % Graphit aus Steinkohle und aus Holzkohlemehl (Abb. 1) zu entwickeln und kleinere Chargen herzustellen.

Ob die hohe Leitfähigkeit von 520 S/m¹ für den effizienten Betrieb der EFSA erforderlich ist, wird gegenwärtig in Prozesssimulationen geprüft. Denn die Steigerung der Leitfähigkeit bedingt gleichzeitig eine Abnahme der Adsorptionsfähigkeit für die Modellsubstanz Diclofenac² um 19 % auf 81 %. Die Adsorptionsfähigkeit der Komposit-Aktivkohle auf Basis von Holzkohlemehl für Diclofenac mit 76,8 %³ lässt sich voraussichtlich noch steigern, da die Rezepturentwicklung noch läuft.

Aus Gründen der Nachhaltigkeit, die projektbegleitend im Vergleich der verschiedenen Rohstoffe und Verfahrensvarianten untersucht wird, fokussieren die nächsten Entwicklungsschritte auf die Herstellung von kokosnussschalenbasierten und holzstämmigen Komposit-Aktivkohlen, die bei ZeroTrace aus heimischen Hölzern gewonnen werden. Letztendlich entscheidet das Konsortium aber nicht nur unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit und Effizienz, sondern auf Grund einer umfangreichen Kosten-Nutzen-Abschätzung.

In den nächsten Laborversuchen werden Adsorptionsisothermen der ausgewählten Komposit-Aktivkohlen mit Diclofenac als gut, Gabapentin als schlecht und Acesulfam als sehr schlecht adsorbierbaren Spurenstoff ermittelt. Praxisrelevante Konzentrationen und Mischungsverhältnisse werden eingestellt und abschließend reale Wässer aus Kläranlagenabläufen verwendet. Die beste leitfähige Aktivkohle wird ausgewählt und in Säulenversuchen im erweitertem Labormaßstab (1 kg) untersucht. Für die Pilotversuche wird sie als Granulat konfektioniert. Parallel wird die Labor-EFSA auf Basis der Messdaten und mittels Computersimulation konzeptioniert und gebaut.

Gespannt erwartet das Konsortium auch die Ergebnisse einer laufenden „Expertenbefragung zum Thema Spurenstoffe in der Deutschen Wasserwirtschaft“ mit ca. 300 Befragten, die in ZeroTrace gemeinsam mit den Verantwortlichen des Begleitprojekts entworfen wurde.



Abb. 1: Komposit-Aktivkohle (holzkohlebasiert, 20 % Graphit, Binder: Palatinose) © Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

¹ Steinkohlenbasierte Aktivkohle mit 20 % Graphit, Mittelwert aus 5 Messungen, Schwankungsbreite: - 26 % und + 17 %
² Steinkohlenbasierte Aktivkohle mit 20 % Graphit, 60 mg/L Diclofenac-Lösung, 4 h Adsorptionsdauer
³ Aktivkohle auf Basis von Holzkohlemehl mit 20 % Graphit, 60 mg/L Diclofenac-Lösung, 2 h Adsorptionsdauer

Laufzeit des Projektes: 01.02.2017 – 31.01.2020	Förderkennzeichen: 03XP0098
Projektpartner:	
Wupperverband	Catrin Bornemann (bor@wupperverband.de)
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT	Ilka Gehrke (ilka.gehrke@umsicht.fraunhofer.de)
Carbotech AC GmbH (assoziiert)	Carsten Schledorn (carsten.schledorn@carbotech.de)
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	Andreas F. Thünemann (andreas.thuenemann@bam.de)
EVERS Wassertechnik & Anthrazitveredelung GmbH & Co. KG	Stephan Evers (s.evers@evers.de)
EnviroChemie GmbH	Eva Gilbert (eva.gilbert@envirochemie.com)
inter 3 Institut für Ressourcenmanagement GmbH	Wolf Raber (raber@inter3.de)

AntiPARAM

Im Projekt AntiPARAM werden neuartige und hocheffektive Antifoulingbeschichtungen von Sensoren und anderen Oberflächen für den Einsatz in Fluss-, Meer- oder auch Abwässern entwickelt. Hierbei kommen Kombinationsschichtsysteme zum Einsatz, die ihrerseits aus speziellen Tetraetherlipiden (zur Immobilisierung) und hydrophilen Polymeren (zum Antifouling) bestehen. Dieser Ansatz ermöglicht es, dass mit Schichtdicken im niedrigen Nanometer-Bereich das Antifouling wirksam unterdrückt und das jeweilige Einsatzgebiet des Objektes (Sensorfunktion bzw. UV-Durchlässigkeit) dennoch nicht beeinträchtigt wird.

HINTERGRUND

Im Bereich der Trinkwasserentkeimung, der Wasser- bzw. Brauchwasseraufbereitung und Abwasserbehandlung, aber auch im Gewässermonitoring spielen Messsysteme zur Erfassung von Standardparametern wie Temperatur, Leitfähigkeit/Salinität, pH, Chlorophyll, pCO₂ und Trübung eine entscheidende Rolle. Beim Verbleib in wässrigen Medien werden Sensorsysteme binnen kurzer Zeit mit einer Bewuchsschicht aus verschiedensten Organismen (Biofilm) bedeckt, was die Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Sensors beeinträchtigt. Die derzeitige Praxis im Umgang mit dem Problem des Fouling/Scalings besteht in dem häufigen Austausch der Sensorkomponenten sowie der Etablierung von wartungs- und kostenaufwändigen mechanischen Reinigungszyklen bzw. dem Einsatz ökologisch bedenklicher, wassergefährdender Chemikalien. Daher besteht das Ziel des Projekts darin, ein hocheffektives aber nicht-toxisches Antifoulingkonzept für das Gewässermonitoring auf der Basis von spezifisch funktionalisierten, wasserbarrierebildenden Schichten zu entwickeln und somit den Kundenanforderungen nach nicht wartungsintensiver und doch langzeitstabiler Messtechnik Rechnung zu tragen.

ZIELE

Die für die jeweiligen Applikationstestungen nötigen Setups wurden durch die Industriepartner entwickelt und bereitgestellt. In der kommenden Projektphase werden erste Tests unter Realbedingungen durchgeführt. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgt die weitere Schichtoptimierung. Das Projekt fokussiert sich auf die Entwicklung einer nicht-toxischen und funktionalen Antifoulingbeschichtung von Komponenten und Baugruppen für das Gewässermonitoring in der Trink- bzw. Brauchwasseraufbereitung. Im Einzelnen sollen anti-adhäsive Schichtsysteme auf Glas- und Stahlwerkstoffen etabliert werden. Diese Substrate sollen im Projekt mit einer effektiven Antifoulingbeschichtung funktionalisiert werden, die erstmals definiert polyhydrophile Funktionspolymere (PEG, POx) mit polyzwitterionischen Funktionspolymeren (Betaine) kombiniert (Kombinationsschichtsystem). Für die Substratkopplung bzw. Interkalierung wird hierbei eine membrananaloge Immobilisierungsmatrix auf der Ba-

sis von Tetraetherlipiden (TEL) eingesetzt. Diese biomimetischen Schichtsysteme werden unter Einbeziehung etablierter mikrobiologischer Modelle unter in vitro-Bedingungen charakterisiert, optimiert und getestet und schließlich bei den Firmen 4H-Jena engineering GmbH und UV-Technik Speziallampen GmbH in Feldtestungen unter realen Bedingungen evaluiert. Um die so entwickelten und optimierten Beschichtungen wirtschaftlich rentabel aufzubringen, ist die Entwicklung einer Beschichtungstechnologie auf Spray-Basis vorgesehen. Das Kernziel des Projektes liegt in der Etablierung einer qualitativ neuen, anti-adhäsiven Antifouling -Beschichtung durch eine gezielte Kombination aus polyhydrophilen Polymerketten wie PEG und POx und polyzwitterionischen Komponenten in Zusammenarbeit mit der FSU Jena und dem Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V. Die Verwendung von Tetraetherlipiden als Linker (Immobilisierungsmatrix) zwischen Substrat und organischer Beschichtung stellt für diese Anwendung eine Neuheit dar. Desweiteren werden vom Projektpartner CAM-D Technologies GmbH Computersimulationen durchgeführt zur Aufklärung der molekularen Mechanismen für die Herstellung kombinatorischer Schichtsysteme mit ausreichenden Antifoulingseigenschaften. Mit herkömmlichen experimentellen Methoden und Verfahren sind derartige Fragen zur molekularen Struktur der Tetraetherlipide/Betaine und der sich ausbildenden Wasserbarriere auf festen Substraten nicht bzw. nur sehr schwer zu beantworten. Als weitere Neuheit in dem beantragten Projekt wird der Partner IFB Halle GmbH ein Fermentationsverfahren für Archaea sowie ein Aufreinigungsregime für deren Membranlipide entwickeln.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Es werden seitens der Anwender 4H-Jena engineering GmbH und UV-Technik Speziallampen GmbH genaue Zielvorgaben der zu erreichenden Eigenschaften der Beschichtungen erstellt. Zielparame-ter wie Schichtstabilität, optische/chemische/physikalische Eigenschaften sowie das zu erreichende Antifoulingpotenzial werden definiert. Seitens der Beschichtungsentwickler werden mit spezifischen Anforderungen an die zu erreichende Qualität der extrahierten Membranlipide in Zusammenarbeit mit dem IFB erarbeitet. Durch den Partner IFB zu realisierende Etablierung einer reproduzierbaren

und kontinuierlichen Fermentation unterschiedlicher Archaea und deren Down-Stream-Processing hinsichtlich der Isolation von Membranlipiden. Ein Scale-Up des Verfahrens liefert die Basis für eine industrielle Nutzung der Methode.

Gleichzeitig wird an der Entwicklung einer effizienten Kopp- lungsschemie von PEG/POx und zwitterionischen Molekülen wie Betainen an TEL beschichtete Substrate gearbeitet. Hierfür müssen die bestehenden Protokolle zur PEG/POx Modi- fizierung von TEL an die vom Partner IFB neu isolierten Li- pide adaptiert und optimiert werden. Die Hauptaufgabe der FSU besteht in der Polymersynthese oben genannter Struk- turen im entsprechend zu erwartenden Maßstab, um auf diese Weise die zu erbringenden Beschichtungsaufgaben zu gewährleisten. Herzustellen sind dabei besonders Polyme- re mit unterschiedlichen aber definierten molaren Massen (Kettenlängen), um durch gezielte Mischung der verschiede- nen Polymerlängen den Funktionalisierungsgrad der Ober- flächen zu optimieren. Mit der mesoskopischen Molekula- ren-Fragment-Methode (MFD) wird der Mechanismus der Adsorption, die Struktur und damit die Bindungseffizienz von Tetraetherlipidschichten auf Oberflächen verschiede- ner Substrate (Glas, Edelstahl) untersucht. Die Änderungen der Struktur durch chemisch funktionalisierte Lipide sowie Veränderungen der Eigenschaften der chemisch modifizier- ten Strukturen hinsichtlich der Adsorption von Wasser soll auf molekularem Niveau im Detail aufgeklärt werden. Mit atomistischen Simulationen, die auf molekülmechanischen Kraftfeldern beruhen (MM/MD), soll insbesondere die Fra- ge der Wasserstruktur (Barrierewirkung) und der Bindung von Wassermolekülen an TEL-Oberflächen bzw. zusätzlich hydrophilisierten TEL-Oberflächen geklärt werden. Seitens der Anwender sind zum einen Stabilitätsuntersuchungen an den Schichten unter Simulation von applikationsnahen Bedingungen vorgesehen, zum anderen werden die ent- wickelten Schichtsysteme im Feldversuch am potenziellen Applikationsort (Trinkwasseraufbereitungsanlage; Flusswas- ser) auf Funktionalität getestet. Die umfassende Analyse der Schichtsysteme nach Stabilitäts- und Feldversuchen erfolgt in Zusammenarbeit zwischen Anwendern und Schichtent- wicklern sowohl licht- als auch fluoreszenz- und elektronen- mikroskopisch.

ERSTE ERGEBNISSE

Durch das IFB Halle konnte bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Kultivierung von sechs Archaeenspezies realisiert werden, aus diesen wurden schließlich die notwendigen TEL extra- hiiert und umfassend charakterisiert. Im iba Heiligenstadt er- folgte die Optimierung einer Beschichtungsstrategie, bei der diese TEL unter milden Bedingungen kovalent als Monolayer auf unterschiedlichen Substraten (Glas, Edelstahl) fixiert wer- den und somit die Basis für die weitere Antifoulingfunktio- nalisierung bilden. Durch die FSU Jena konnte eine Vielzahl an hydrophilen POx- und PEG-basierten Polymeren dargestellt und schließlich auf der TEL-Schicht fixiert werden.

Im durch das iba Heiligenstadt entwickelten biologischen Screeningtest konnten hier im Flußwassermodell bereits vielversprechende, d.h. stark adhäsionsminimierende Kom- binationsschichtsysteme ermittelt werden, welche zum gegenwärtigen Zeitpunkt für die Vor- und Felduntersuchun- gen bei den Industriepartnern 4H-Jena und UV-Technik prä- pariert werden.

Die jeweiligen für die letztgenannten Testungen nötigen Set- ups wurden durch die Industriepartner entwickelt und be- reitgestellt.

In der kommenden Projektphase werden erste Tests unter Realbedingungen durchgeführt. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgt die weitere Schichtoptimierung.

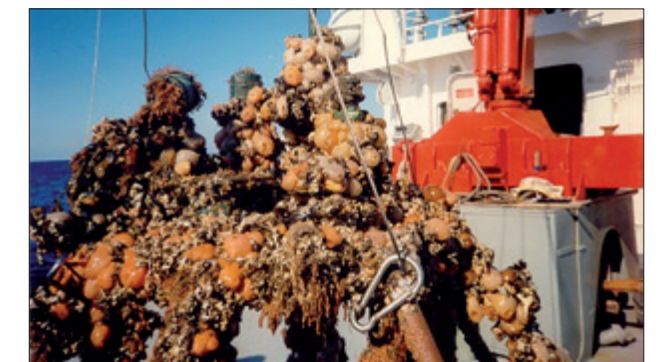


Abb.1: Messsonden u.a. für Leitfähigkeit, Druck, Strömung und Temperatur auf einem Sensorgestell nach 6-monatigem Einsatz in der Nordsee vor Sylt (© 4H-Jena engineering GmbH)

Laufzeit des Projektes: 01.05.2016 – 30.04.2019

Förderkennzeichen: 03XP0044

Projektpartner:

4H-Jena engineering GmbH	Michael Boer (boer@4h-jena.de)
UV-Technik Speziallampen GmbH	Marie-Christin-Machalett (marie-christin.machalett@uvtechnik.com)
IFB Halle GmbH	Dr. Jürgen Hensel (Hensel.ifbhalle@t-online.de)
iba Heiligenstadt e.V.	Prof. Dr. Klaus Liefeth (Klaus.Liefeth@iba-heiligenstadt.de)
FSU Jena JCSM	Dr. Michael Gottschaldt (michael.gottschaldt@uni-jena.de)

KERAMESCH

Im Projekt KERAMESCH werden Keramik-Metall-Schwabekörpern aus Kompositwerkstoffen entwickelt und erprobt. An diesen im Abwasserstrom schwimmenden Keramikügelchen, die mit speziellen Eisenlegierungen als Katalysatoren umhüllt sind, sollen unerwünschte Spurenstoffe reaktiv umgesetzt bzw. eliminiert werden.

HINTERGRUND

Die sichere Versorgung mit sauberem Trink- und Brauchwasser ist ein globales Problem. Auch in Deutschland und Europa treten immer wieder Probleme auf, Wasser in einwandfreier Qualität zur Verfügung zu stellen. Insbesondere Pharmakarückstände lassen sich mit etablierten Verfahren der Abwasserbehandlung nicht ausreichend zurückhalten. So stieg in den letzten Jahren die Zahl der Meldungen über den Nachweis von endokrin wirksamen Spurenstoffen in Oberflächen- und Trinkwasser stetig an. Diese gelangen häufig über das Abwasser in den Wasserkreislauf. Auch wenn derzeit von solchen Verbindungen keine akute Gefahr ausgeht, sind doch langfristige Risiken für Mensch und Umwelt möglich. Zu erwähnen sei hier etwa das vermehrte Auftreten antibiotikaresistenter Keime, also von Krankheitserregern, gegen die die normalerweise verwendeten Medikamente nicht helfen. Auch Fruchtbarkeitsstörungen könnten mit Wirkstoffrückständen im Wasser zusammenhängen. Neue und preisgünstige Verfahrensschritte für die Wasserreinigung werden daher benötigt. Das Projekt „KERAMESCH“ setzt genau hier an.

ZIELE

Die Partner des KRAMESCH-Verbundes verfolgen das Ziel, spezielle eisenbasierte Katalysatoren, die auf schwimmfähigen Keramikschaum aufgebracht sind, für ein preisgünsti-

ges Verfahren für die Entfernung von Wirkstoffrückständen aus Abwässern zu entwickeln. Mittels dieser eisenumhüllten Keramikschaumkügelchen lassen sich Schadstoffe in harmlose Stoffe umwandeln und absorbieren. Als Quelle für das nötige Eisen lassen sich preiswerte Eisen- und Stahlschrotte verwenden. Die Keramikschaumkügelchen sollen auf Basis von einheimischen Tonen erzeugt werden.

Die Nutzung von Eisenlegierungen für den reduktiven Schadstoffabbau ist zwar bereits länger bekannt, eignet sich jedoch nicht für die in der Abwasserbehandlung zu bewältigenden großen Volumenströme. Verantwortlich hierfür sind sich nach und nach bildende Deckschichten aus Korrosionsprodukten, sodass die zu entfernenden Stoffe immer langsamer an die Katalysatorschicht gelangen und dort reagieren können. Folglich geht die Reinigungsleistung immer stärker zurück.

Um diese Nachteile zu umgehen, ist es geplant, die o.g. eisenumhüllten Keramikschaumkügelchen zu nutzen und auch einen entsprechenden Reaktor zu entwickeln. Beim Durchströmen des Reaktors mit Abwässern erhalten die Kügelchen durch den Keramikschaum in ihrem Inneren einen Auftrieb. Sie schwimmen also trotz der Eisenbeschichtung an der Wasseroberfläche und geraten durch das Wechselspiel von Auftrieb und Strömung in ständige Bewegung. Dabei reiben und stoßen sie aneinander, wobei die blockierende Deckschicht regelmäßig abgerieben wird und die Reaktionsfähig-

keit der Kügelchen solange erhalten bleibt, bis die Eisenschicht weitgehend aufgebraucht ist. Eine Wiederverwendung des keramischen Trägers ist vorgesehen. Die im Projekt zu entwickelnden Aktivmassen aus reaktiver Eisenhülle und inertem Kern aus Keramikschaum sind daher eine vielversprechende Möglichkeit, um dieses Problem relativ preisgünstig zu lösen.

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung eines Eisen-basierten Katalysatorsystems, mit dem sich möglichst viele Stoffe umsetzen lassen und der zugehörigen metallurgischen Technologie für die Erzeugung stofflich homogener Pulver auf Basis von Schrotten, die Entwicklung einer Herstellungstechnologie für die Keramikschaumkügelchen, die Entwicklung eines entsprechenden Reaktors, die Weiterentwicklung von analytischen Methoden zur Bewertung des Schadstoffabbaus und schließlich eine praktische Erprobung. Eine Herausforderung stellt dabei die Herstellung eines sog. geschlossenzelligen Keramikschaums dar, denn die Schaumkügelchen sollen zwar im Innern viele Poren aufweisen und hierdurch leicht sein, ihre Oberfläche muss allerdings geschlossen sein, damit kein Wasser in das Innere eindringen kann.

ERSTE ERGEBNISSE

Erste Ergebnisse aus Laborversuchen zeigen, dass es durchaus möglich ist, Rückstände von z.B. Diclofenac, einem gängigen Schmerzmittel oder von Erythromycin, einem häufig verordneten Antibiotikum, unter Verwendung bestimmten Eisen-basierten Katalysatoren zu eliminieren. Bei letzterem konnten bislang bis zu ca. 60% eliminiert werden (Abb.1). Die Herstellung von Keramikschaumkügelchen gelingt ebenfalls, allerdings sind an der Oberfläche noch zu viele Poren vorhanden, sodass die Kügelchen gegenwärtig noch nicht lange genug schwimmfähig sind (Abb.2).

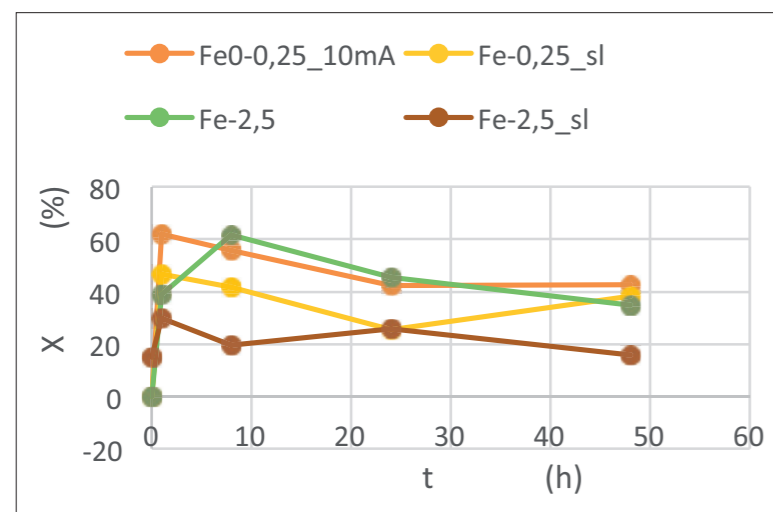


Abb. 1: Elimination von Erythromycin mittels Eisen

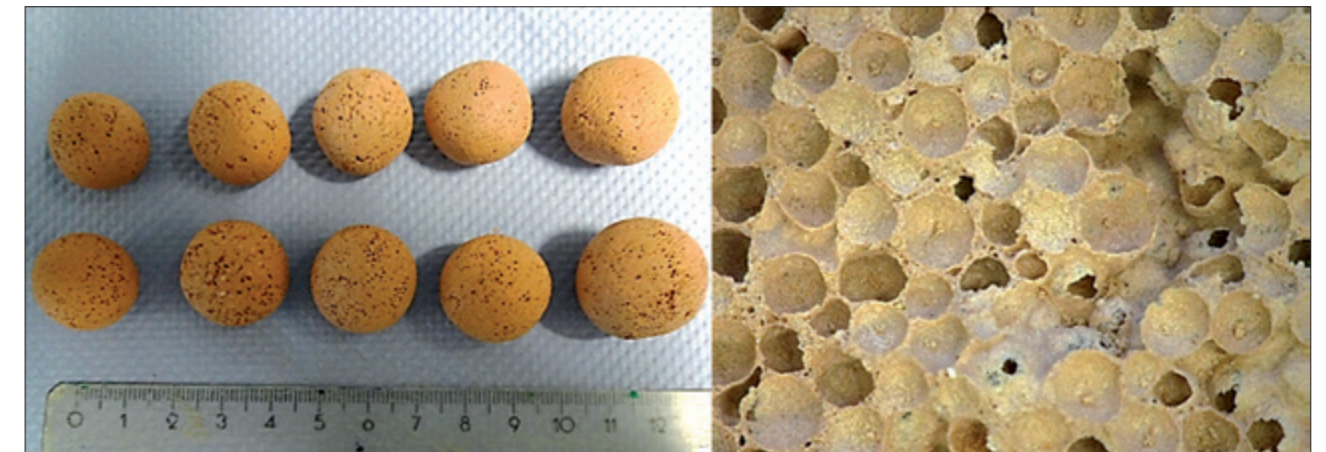


Abb. 2: Gesinterte Kügelchen aus geschäumtem Ton (© Fraunhofer IKTS)

Laufzeit des Projektes: 01.04.2017 – 31.03.2020

Förderkennzeichen: 03XP0105

Projektpartner:

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)	Hans-Juergen Friedrich (hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de)
Eisenwerke Würth GmbH	(vianden@eisenwerk-wuerth.de)
Schlagmann Poroton GmbH	Jens Geduhn (jens.geduhn@schlagmann.de)
Schenk Kunststofftechnik GmbH	Hans Abraham (hans.abraham@schenk-kunststoff-technik.de)
reconsite GmbH	Uwe Hiester (uwe.hiester@reconsite.de)
Hochschule Wismar	Volker Birke (volker.birke@hs-wismar.de)
Abwasserverband Braunschweig	Bernhard Teiser (bernhard.teiser@abwasserverband-bs.de)

OEMP

Das Projekt OEMP beschäftigt sich mit der Entfernung von Mikroplastik aus kommunalem Abwasser. Innerhalb des Projektes erfolgt die Entwicklung neuer Materialien und Verfahrenstechnik, um den Rückhalt von unterschiedlichen Mikroplastikpartikeln (Größe, Form, Material) aus verschiedenen Eintragspfaden der Siedlungswasserwirtschaft im städtischen Raum zu gewährleisten und damit eine nachhaltige Wasserwirtschaft umzusetzen.

HINTERGRUND

Seit der industriellen Großproduktion von Kunststoffen Mitte des letzten Jahrhunderts steigt der Bedarf an Kunststoffen kontinuierlich an. Durch die vielseitigen Materialeigenschaften, die einfache und flexible Formgebung bei gleichzeitig geringen Materialkosten sind Kunststoffe in sehr vielen Bereichen präsent. Mit der zunehmenden Verwendung von Kunststoffen seit über 60 Jahren ist allerdings auch ein unerwünschter Eintrag in die Umwelt verbunden und für verschiedene Eintragspfade (beispielsweise über das Abwasser) nachgewiesen.

Bei sogenanntem Mikroplastik wird zwischen primärem Mikroplastik (als Bestandteil einer Vielzahl von Produkten wie Kosmetika und Pflegeprodukten sowie Reinigungsmittel) und sekundärem Mikroplastik (durch physikalische, biologische und chemische Abbauprozesse aus großen Plastikteilen)

entstanden) unterschieden. Mikroplastikpartikel sind nach aktueller Definition kleiner als 5 mm. Der potenzielle Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt kann direkt und indirekt erfolgen, er kann über Gewässer und über Land erfolgen. Über den Wasserpfad kann Mikroplastik beispielsweise über einen nicht ausreichenden Rückhalt in Kläranlagen und damit Eintrag mit dem behandelten Abwasser über die Flüsse bis ins Meer gelangen.

ZIELE

Ziel des Projekts ist die Entwicklung innovativer Materialien und Verfahren zum Rückhalt von Mikroplastik aus Kläranlagenablauf, Mischwasserüberlauf und Straßenabfluss. Mithilfe von technischen und In Situ Versuchen an den entsprechenden Standorten wird der Anlagenbetrieb kontinuierlich verbessert.



Abb. 1: Projektfokus des BMBF-Verbundprojekts OEMP



Abb. 2: Dezentrale Straßenablauffilter der Firma Funke Kunststoffe GmbH- Innolet® ((L) © Funke Kunststoffe GmbH, (r.) © MeierGuss GmbH & Co. KG)

ARBEITSSCHWERPUNKTE

Innerhalb des Projektes erfolgt die Entwicklung neuer Materialien und Verfahrenstechnik, um den Rückhalt von unterschiedlichen Mikroplastikpartikeln (Größe, Form, Material) aus verschiedenen Eintragspfaden der Siedlungswasserwirtschaft im städtischen Raum zu gewährleisten und damit eine nachhaltige Wasserwirtschaft umzusetzen. Darüber hinaus werden einfache, natürliche Systeme (Bodenfilter) hinsichtlich ihrer Fähigkeit des Rückhaltes im Wasserkreislauf untersucht. Dazu ist eine Qualitätssicherung notwendig, mit der die verschiedenen technischen und natürlichen Systeme hinsichtlich ihrer Rückhaltung untersucht werden können. Entscheidender Bestandteil hierfür ist eine auswertbare Untersuchungsmethodik, die innerhalb des Projektes entwickelt wird.

ERSTE ERGEBNISSE

Am Standort Kläranlagenablauf wurden ein Trommelfilter mit einem speziellen Polstoff und eine Scheibenfilteranlage mit einem Hochleistungstressengewebe aus Edelstahl betrieben und beprobt. Diese Anlagen werden im Anschluss an einem Mischwasserüberlauf eingesetzt und bewertet.

Die dezentralen Reinigungsanlagen für Straßenablaufwasser wurden an einem speziellen Teststand unter definierten Bedingungen getestet und werden derzeit in einer In Situ Messstrecke betrieben, um das Betriebsverhalten zu untersuchen und zu optimieren.

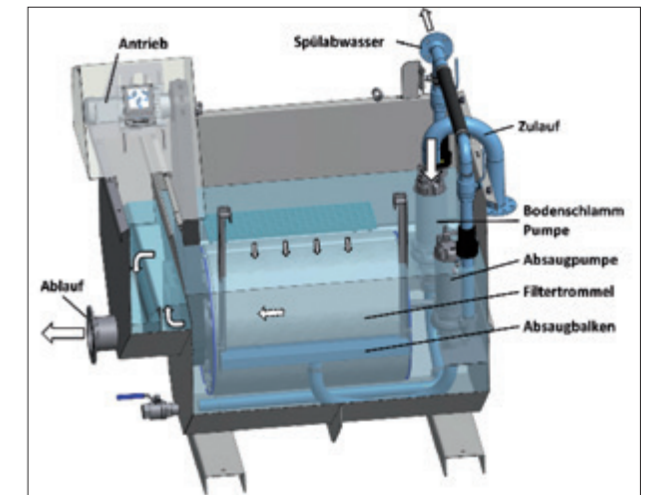


Abb. 3: Trommelfilter mit Polstoff der Firma Mecana Umwelttechnik GmbH (© Mecana Umwelttechnik GmbH)

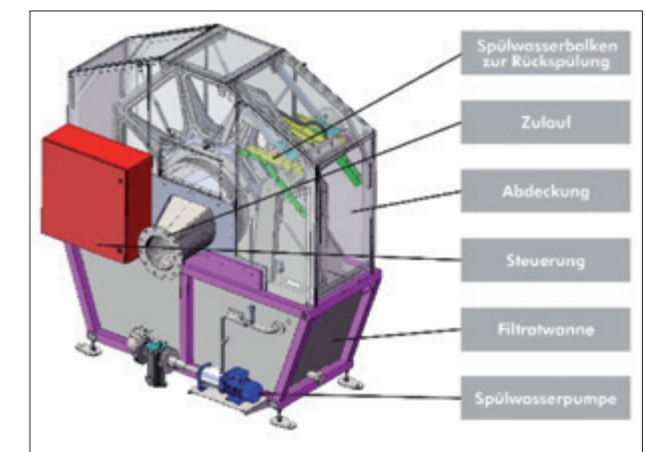


Abb. 4: Scheibenfilter Invent Umwelt und Verfahrenstechnik AG mit Hochleistungstressengewebe 6 µm GKD (© INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik AG/ GKD-Gebr. Kufferath AG)

Laufzeit des Projektes: 01.04.2016 – 30.09.2018

Förderkennzeichen: 03XP0045

Projektpartner:

INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik AG	Dr.- Ing. M. Höfken (mhoefken@invent-uv.de)
GKD-Gebr. Kufferath AG	Dipl.-Ing., MBA M. Knefel (Markus.Knefel@gkd.de)
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	Dr. rer. nat. U. Braun (ulrike.braun@bam.de)
Kompetenzzentrum Wasser Berlin	Dr.-Ing. U. Miehe (ulf.miehe@kompetenz-wasser.de)
TU Berlin – Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft	Prof. Dr.-Ing. M. Barjenbruch D. Venghaus M.Sc. (daniel.venghaus@tu-berlin.de)
Umweltbundesamt	Dr. C.-G. Bannick (claus-gerhard.bannick@uba.de)
Assoziierte Partner:	
Funke Kunststoffe GmbH	Dipl. -Ing. (FH) E. Melcher (E.Melcher@Funkegruppe.de)
Mecana Umwelttechnik GmbH	Dr.- Ing. U. Grabbe (U.Grabbe@mecana.ch)
MeierGuss Limburg GmbH	S. Weis (sw@meierguss.de)
Berliner Wasserbetriebe	Dipl.-Ing. R. Gnirss (regina.gnirss@bwb.de)

IMPRESSUM

Herausgeber:



DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme „Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“ (MachWas):

Beim BMBF:

Dr.-Ing. Joachim P. Kloock
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Referat 511 - Neue Materialien; Batterie; KIT, HZG
53175 Bonn
Tel.: +49 (0)228 9957-3390
E-Mail: joachimp.kloock@bmbf.bund.de

Beim Projektträger:

Dr. Katja Stephan
Projektträger Jülich
Geschäftsbereich Neue Materialien und Chemie
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich
Tel.: +49 (0)2461 61-2264
E-Mail: k.stephan@fz-juelich.de

Editor:

Wissenschaftliches Begleitvorhaben der BMBF-Fördermaßnahme
„Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“ (MachWas)

Verantwortlich im Sinne des Presserechts:

Dr. Thomas Track
DECHEMA e.V.
Tel.: +49 (0)69 7564-427
E-Mail: thomas.track@dechema.de

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 03XP0087

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 Mai 2018

Titelbild: © Covestro Deutschland AG, Wupperverband, Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH, Chepko Danil-stock.adobe.com