

## EDITORIAL

In diesem zweiten Newsletter möchten wir Sie über aktuelle Neuigkeiten in der Fördermaßnahme „Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – MachWas“ informieren. In MachWas werden 13 Verbundprojekte hinsichtlich der Erforschung und Entwicklung von Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft gefördert. Weiterhin möchten wir von zurückliegenden Veranstaltungen berichten und Sie auf kommende Veranstaltungen, interessante Links und Hinweise zu den Themen in MachWas hinweisen.

In dieser Newsletter Ausgabe erfahren sie mehr über keramische Membranen für die Nanofiltration und Membrandestillation zur nachhaltigen Aufbereitung von salzhaltigen Wässern (Projekt **KerWas**), die Entwicklung einer Material-Auswahlbox zur Herstellung von Hochleistungsmembranen für die Wasseraufbereitung (Projekt **MABMEM**), Neuigkeiten zu Materialentwicklungen von Membranen im Bereich der Umkehrosmose-Rohrmodulen für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer (Projekt **Rohrmembran**), papierbasierten Elektroden für die mikrobielle elektrochemische Abwasserreinigung (Projekt **ElektroPapier**), hochvernetzter Biopolymere zur Schwermetallabscheidung (Projekt **Ferrosan**)

sowie Antifoulingkonzepte für Mehrparameter-Analysemess- und Wasserentkeimungssysteme (Projekt **AntiPARAM**).

Nähere Informationen zur Fördermaßnahme MachWas, zu den einzelnen Verbundprojekten und zu aktuellen Neuigkeiten und Publikationen finden Sie jederzeit auf der Webseite [www.machwas-material.de](http://www.machwas-material.de).

### INHALT

IFAT 2018	2
Materialinnovationen 2018	2
Verbundprojekt KerWas	3
Verbundprojekt MABMEM	4
Verbundprojekt Rohrmembran	5
Verbundprojekt ElektroPapier	7
Verbundprojekt Ferrosan	8
Verbundprojekt AntiPARAM	10
Veranstaltungen	12
Verbundprojekte / Kontakt	12

## MachWas-Aktivitäten in 2018



### Die MachWas Konferenz

Die MachWas Konferenz fand vom 29.-30. Mai 2018 in Frankfurt a.M. statt. Dort stellten die Verbundprojekte ihre Fortschritte und Ergebnisse vor. Experten aus der Materialforschung für nachhaltige Wasserwirtschaft trafen sich bei dieser öffentlichen Veranstaltung zum Austausch und Diskurs über die neuen Erkenntnisse und Entwicklungen aus den geförderten Projekten. Die Veranstaltung war zudem Anlass für die öffentliche Vorstellung der MachWas Broschüre, welche einen

Überblick über die 13 Forschungsprojekte liefert und über deren Fortschritte seit Beginn der Förderung berichtet. Zusätzlich lud der MachWas-Marktplatz mit Postern und Exponaten dazu ein, sich weitergehend zu informieren.

Poster und Präsentationen der Veranstaltung sowie die MachWas Broschüre können unter folgenden Link abgerufen werden: [www.machwas-material.de/Publikationen.html](http://www.machwas-material.de/Publikationen.html)

## MachWas auf Veranstaltungen

### IFAT 2018

Vom 14.-18. Mai 2018 fand die IFAT, Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft, in München statt. Im Fokus standen Strategien und Lösungen, um Ressourcen in intelligenten Kreisläufen so einzusetzen, dass sie langfristig erhalten bleiben. Dabei lud die DECHEMA e.V. auf dem Gemeinschaftsstand des Bundeslandes Hessen in Halle A4 (Sekundärrohstoffe und Abfälle) dazu ein, sich über die Fördermaßnahme MachWas zu informieren und die MachWas-Broschüre bereits vorab zu erhalten. Die Besucher hatten vor Ort die Gelegenheit, sich mit den wissenschaftlichen Betreuern über die Fördermaßnahme auszutauschen.

Im Rahmen der IFAT fand der DGMT Workshop "What's up in Membrane Technology in Germany – Science and Innovation" statt. Bei diesem wurden u.a. aktuelle Ergebnisse aus den MachWas-Projekten Rohrmembran, POLINOM und MABMEM vorgestellt.



### Materialinnovationen 2018

Die BMBF Veranstaltung Materialinnovationen 2018 fand vom 04.-06. Juni 2018 in München statt. In der Vortrags-Session „Mehr Nutzen, weniger Ressourcen“ wurde zu den Themen: Membranen 3.0 (Projekt MABMEM), neue Adsorptionsmaterialien und Regenerationsverfahren zur Entfernung von Spurenstoffen (Projekt ZeroTrace) und Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf (Projekt OEMP) Neues berichtet. Interessierte Besucher konnten sich zudem vor Ort über die Fördermaßnahme und deren Projekte informieren sowie weiterführendes Informationsmaterial erhalten.



## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

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

#### Kurzbeschreibung:

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.

Die Filtration von Bergbauwässern ist in Bezug auf Trübstoffe und Scaling mit hohem Risiko für Abrasion und Modulverblockung verbunden, weshalb der Einsatz keramischer Membranen sinnvoll ist. Gleichzeitig handelt es sich um hohe Volumenströme, so dass große Membranflächen zum Einsatz kommen und preiswerte Membranen mit hoher volumenspezifischer Membranfläche benötigt werden.

Im Projekt wird die gesamte Wertschöpfungskette von der Membranentwicklung, über die Membranherstellung, die Verfahrensentwicklung, den Anlagenbau bis hin zur Anwendung abgebildet.

#### Ereignisse seit Projektstart:

Der erreichte Entwicklungsstand mit Beginn des Projektes am 1. Februar 2017 waren keramische Nanofiltrationsmembranen mit einer Membranfläche von 0,25 m<sup>2</sup> (19 Kanäle) und 1,3 m<sup>2</sup> pro Element (151 Kanäle). Auf der Basis von CFD-Rechnungen wurde gezeigt, dass bei Membranelementen mit noch mehr Kanälen das Permeat aus den inneren Kanälen nicht über die porösen Stege der wabenförmigen Trägerkeramik nach außen geleitet werden kann. Deshalb ist es Ziel des Projektes, einen Teil der Kanäle feed- und retentatseitig zu verschließen und durch Schlitze seitlich zu öffnen. Der Verlust an Membranfläche wird durch den höheren Permetfluss überkompensiert. In einem ersten Schritt wurde eine Geometrie mit 559 Kanälen und einem Außendurchmesser von 76 mm gewählt, die gerechnet auf alle Kanäle eine Membranfläche von 4,5 m<sup>2</sup> aufweist (Abb. 1). Es gelang, die Extrusion und Beschichtbarkeit in allen Teilschritten auf die Größe und das Gewicht der Substrate anzupassen. Die Außenseite der äußeren Kanäle neigte jedoch zur Defektbildung. Darüber hinaus erwiesen sich die Stegbreite und der vereinzelt längliche Kanalquerschnitt ungünstig auf die Schlitzbarkeit und die Innendruckstabilität aus. Abgeleitet aus CFD-Rechnungen wurden zusätzliche Geometrien mit ausschließlich runden Kanälen und erhöhter Stegbreite sowie teilweise mit Vollstegen und inneren Schlitzen extrudiert, deren Beschichtbarkeit und Membranqualität untersucht wird (Abb. 2). Auf der Basis dieser Ergebnisse wird Ende 2018 eine Entscheidung zur weiteren Vergrößerung der elementspezifischen Membranfläche auf ca. 10 m<sup>2</sup> getroffen.

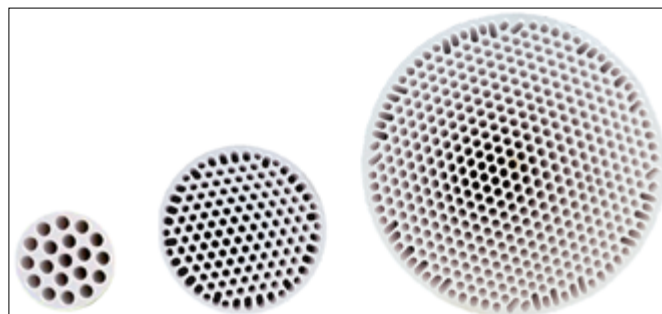


Abb. 1: Membranrohre mit 0,25 m<sup>2</sup> (19 Kanäle), 1,3 m<sup>2</sup> (151 Kanäle) und 4,5 m<sup>2</sup> (559 Kanäle) Membranfläche (© Fraunhofer IKTS)

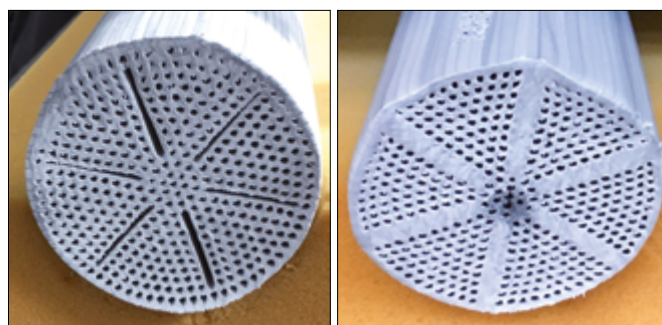


Abb. 2: Membranelemente mit runden Kanälen und erhöhter Stegbreite sowie extrudierten Schlitzen und Vollstegen (ungebrannter Zustand) (© Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH)

Für die Anwendung in der Membrandestillation wurde die Herstellung, Bündelung und Hydrophobierung keramischer Hohlfasern weiterentwickelt. Ziel sind Hohlfaserbündel mit einer Membranfläche von ca. 1 m<sup>2</sup>. Die Materialauswahl für die Keramik, das Hydrophobierungsmaterial und das Füge-material erfolgte an Hand von Auslagerungsversuchen in salzhaltigen Bergbauwässern.

Die Erprobung der beiden Membranverfahren zur Aufbereitung der salzhaltigen Bergbauwässer startete mit Projektbeginn mit Laborversuchen und kleinen Membranmustern (Einkanalrohre, 0,005 m<sup>2</sup>). Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Nanofiltrationsversuche wurden die Versuchsbedingungen harmonisiert und ein Ringversuch mit wässriger MgSO<sub>4</sub>-Lösung durchgeführt. Dabei lag der mittlere Rückhalt bei 1%iger Lösung bei 69 %, bei 10%iger Lösung bei 75 %. Der höchste Wert wurde mit einem Rückhalt von 95 % gemessen. Der mittlere Permeatfluss betrug bei der 1%igen Lösung: 1,6 l/(m<sup>2</sup>hbar), bei 10%iger Lösung: 1,1 l/(m<sup>2</sup>hbar). NF-Versuche mit realer Laugungslösung (pH 1,2, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 40 g/l, Fe: 7,8 g/l) zeigten eine Druckabhängigkeit der Permeanz (10-30 bar: 0,5-2,0 l/(m<sup>2</sup>hbar) bei einem SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Rückhalt von 60 %, und einem Fe-Rückhalt > 80 %.

## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

Die Versuche zur Membrandestillation (MD) wurden in Laborversuchen mit Einkanalrohrmembranen ( $0,01 \text{ m}^2$ ) durchgeführt. Dabei stellt sich ein konstanter Permeatfluss innerhalb von 30 Minuten ein und dieser ist für die Versuchsdauer (max. 7 h) konstant. Von den untersuchten Konfigurationen (Luftspalt, Direktkontakt und Vakuum) zeigte die Vakuummembrandestillation (VMD) die höchsten Permeatflüsse von  $> 10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$ . Die Permeatflüsse wurden bei  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  Feedtemperatur und 20 mbar Permeatdruck unabhängig von der Porengrößen und dem Salzgehalt (0 bis  $250 \text{ g NaCl}/\text{kg H}_2\text{O}$ ) erreicht. Nahe der Sättigungskonzentration der Lösung wurde Salzkristalli-

sation auf der Feed- und Retentat-Seite der Membran beobachtet. Die Auswirkungen der Kristallisation auf die Eigenschaften und die Leistung der Membran werden noch genauer untersucht.

In den nächsten Monaten werden mit dem Bau entsprechender Pilotanlagen die Voraussetzungen geschaffen, die neuen Membrangeometrien ( $10 \text{ m}^2$ -NF-Wabe und  $1 \text{ m}^2$ -Hohlfaserbündel) in der Nanofiltration und der Membrandestillation direkt zur Aufbereitung von Salzsolen im Bergbau zu testen (Abb. 3).

Das Projekt wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0096 gefördert.

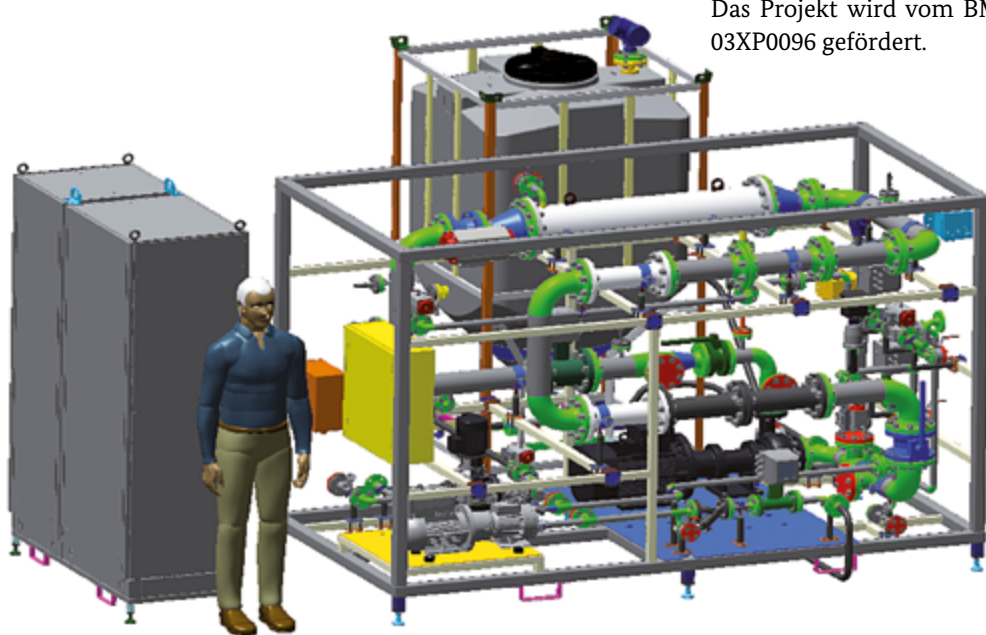


Abb. 3: 3D-Konstruktionszeichnung der NF-Pilotanlage (© Andreas Junghans)

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

### Kurzbeschreibung:

Die Entwicklung neuer, leistungsfähiger Membranen für eine nachhaltige Wasserwirtschaft zur Rohwasser- und Abwasseraufbereitung steht im Fokus dieses Forschungsprojektes. Projektziel ist die Entwicklung und Bereitstellung einer Material-Auswahlbox zur Herstellung von verbesserten Multibore®Ultrafiltrationsmembranen für eine effizientere Wasseraufbereitung. Dadurch soll ein signifikanter Beitrag zum Ressourcen-schonenden Umgang mit Wasser geleistet werden.

### Ereignisse seit Projektstart:

Die Synthese und Charakterisierung einer Vielzahl von Additiven aus der Material-Auswahlbox wurden erfolgreich abgeschlossen. Mit Hilfe von dynamischen Foulinguntersuchungen im Labor an Hohlfasermembranen wurde die Wirksamkeit hinsichtlich der Membran Performance bewertet und

sechs Additivkandidaten für die finale Feldtestung ausgewählt. Mit diesen Kandidaten wurden im Labor Upscaling-Versuche zur verbesserten Herstellung im Kilogramm Maßstab durchgeführt. Anschließend wurden größere Mengen der Kandidaten zur Herstellung von Demonstratoren mit Multibore®Ultrafiltrationsmembranen synthetisiert. Die Demonstratoren beinhalten sechs  $0,9 \text{ mm}$  Multibore®Hohlfasermembranen und weisen bei einer Länge von  $1.558 \text{ mm}$  eine Filtrationsfläche von  $0,2 \text{ m}^2$  auf (Abb. 4). Diese Module werden sowohl zur Aufreinigung von Oberflächenwasser als auch zur Aufbereitung von Abwasser getestet. Feldversuche zur Testung mit Oberflächenwasser laufen seit Juli 2018 im Filterwerk der WAG Wassergewinnungs- und Aufbereitungsgesellschaft Nordeifel GmbH (WAG Roetgen). Dort wird aus der Dreilägerbachtalsperre der Großteil der Stadt Aachen, die Städteregion Aachen als auch ein Teil des Kreises Heinsberg sowie die niederländischen Städte Vaals und Kerkrade mit Trinkwasser versorgt. Mit belastbaren Ergebnissen ist ab Herbst 2018 zu rechnen.

## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

Es ist dann geplant, in einer zweiten Phase ab Dezember, in Kooperation mit dem Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV) eine Testung der Demonstratoren mit Abwasser durch zu führen. Der genaue Standort wird noch bestimmt werden.

Das Projekt wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0043 gefördert.

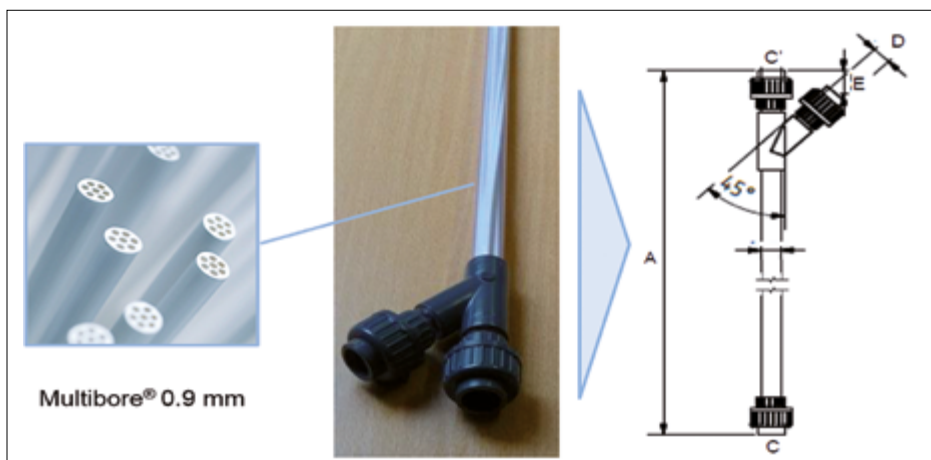


Abb. 4: Demonstratoren mit neuen Multibore® Ultrafiltrationsmembranen (© Inge Watertechnologies GmbH)

## Rohrmembran: Neue Beschichtungsmethoden zur Herstellung maßgeschneiderter, säurebeständiger Umkehrosmose-Rohrmembranmodule für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer

### Kurzbeschreibung:

Ziel dieses Forschungshabens ist die Herstellung und Erprobung säurebeständiger Umkehrosmose-Rohrmembranmodule für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer durch neue Beschichtungsverfahren mit maßgeschneiderten polymeren Grenzschichten. Diese werden sowohl generativ – d.h. Schicht für Schicht – als auch in einer reaktiven Grenzflächenpolymerisation aufgebracht. Durch den Einsatz von verschiedenen langen und verschieden geladenen Polyelektrolyten soll die Trenneigenschaft maßgeschneidert werden. Die Entwicklung der säurebeständigen Rohrmembranmodule erfolgt für partikelhaltige Prozesswässer aus der Oberflächenbehandlung. Die Entwicklung soll in einem einzigen Verfahrensschritt die Abtrennung eines nahezu ionenfreien Permeats zur Wasserkreislaufführung für die industrielle Produktion ermöglichen.

### Projektpartner Rohrmembran:

- VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH, Düsseldorf (Koordination)
- Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel GmbH & Co. KG, Hagen (Anwender/Produktion)
- atech innovations gmbH, Gladbeck (Membranhersteller)
- CUT Membrane Technology, Erkrath (Membranhersteller)
- RWTH Aachen, Aachener Verfahrenstechnik AVT.CVT (Modellierung)
- DWI Leibniz-Institut für Interaktive Materialien e. V., Aachen (Membranmodifikation)

### Ereignisse seit Projektstart:

Die Membranentwicklung soll für Prozesswasser nach der Behandlung verzunderter Stahldrähte in einer mit Frischwasser betriebenen Hochdruckspüle erfolgen. Hierbei wird Feinzunder eingetragen, denn das Spülwasser nimmt Partikel und Restsäure aus der vorangegangenen chemischen Beizstufe auf. Durch die neuartigen Membranen sollen die Verunreinigungen entfernt werden. Das Ziel dieser Entwicklung ist somit die Kreislaufführung des Spülwassers durch Abtrennung von Partikeln und Säure aus dem verunreinigten Spülwasser.

Zur Bestimmung der Säurebeständigkeit wurden im BFI (unbeschichtete) keramische und polymere Support-Membranen durch Einlegeversuche in mischsäurehaltigem Spülwasser untersucht (Abb. 5). Die Membranen wurden nach 3 bzw. 6 Mo-

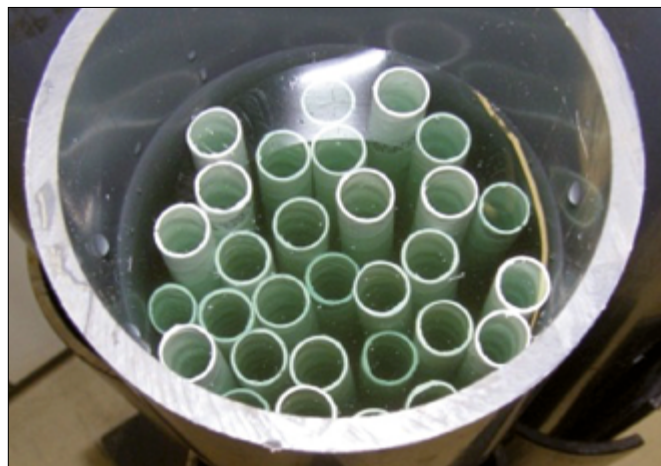


Abb. 5: Einlegeversuche von Rohrmembranen (© BFI)

## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

naten entnommen und von den Herstellern atech innovations und CUT bewertet (bzgl. Oberfläche, Berstdruck etc.). Es wurde über einen Zeitraum von 6 Monaten keine Degradation der Supportmembranen festgestellt.

Die UO-Beschichtung der keramischen Supportmembrane erfolgt im DWI durch „Layer-by-Layer“ (LbL) Technik mit sogenannten Polyelektrolyten. Polyelektrolyte sind Polymere, die geladene funktionale Gruppen aufweisen. Man unterscheidet zwischen positiv geladenen Polykationen und negativ geladenen Polyanionen. Bei der LbL Technik werden abwechselnd Polykationen und Polyanionen mit der oberflächenaktivierten Keramik-Supportmembran in Kontakt gebracht, so dass sie an der Oberfläche adsorbieren (Abb. 6). So werden die Poren der Supportmembran sukzessive verkleinert und schließlich komplett durch einen Polyelektrolyt-Multilayer geschlossen. Durch eine fehlerstellenfreie Beschichtung werden dichte Strukturen mit gleichzeitig hoher Ladungsdichte erzeugt, wodurch Ionen effektiv zurückgehalten werden können. Folglich hängen die Trenneigenschaften der beschichteten Membran maßgeblich von den Beschichtungsparametern und der Polyelektrolytkombination ab.

Zwei Beschichtungsmethoden mit der Polyelektrolytkombination PAH/PSS haben sich, aufgrund ihres hohen Rückhaltes für NaCl und des niedrigen „Molecular Weight Cut Off“ (MWCO), als vielversprechende Möglichkeiten erwiesen. Die erste rein über elektrostatische Wechselwirkungen beschichtete Variante (PAH/PSS) mit 8 Bilayern weist einen stark positiv geladenen Charakter auf. Durch eine nachträgliche Modifikation lässt sich die Beschichtung zusätzlich kovalent quervernetzen, was zu einer Erhöhung der negativen Ladung und gesteigerten Stabilität führt. Die abstoßende Wirkung der negativ geladenen Membran zu den ebenfalls negativ geladenen Säure-Ionen soll zu verbesserten Rückhalten bei der Säurefiltration führen. Die beschichteten Membranen können mit Rückhalten von 98 % für bivalente Ionen und über 90 % für monovalente Ionen bzw. MWCO's von unter 150 Dalton in die Kategorie der Umkehrosmose eingeordnet werden.

Die Leistung von Membranmodulen ist abhängig von den intrinsischen Eigenschaften der Membran und den Betriebsbedingungen. Um die Membranleistung zu erhöhen, kann entweder die Triebkraft erhöht werden, oder der Transportwiderstand muss verringert werden. Teil des Transportwiderstandes ist die Membran selbst sowie die sich ausbildenden Grenzschichten durch Konzentrationspolarisation.

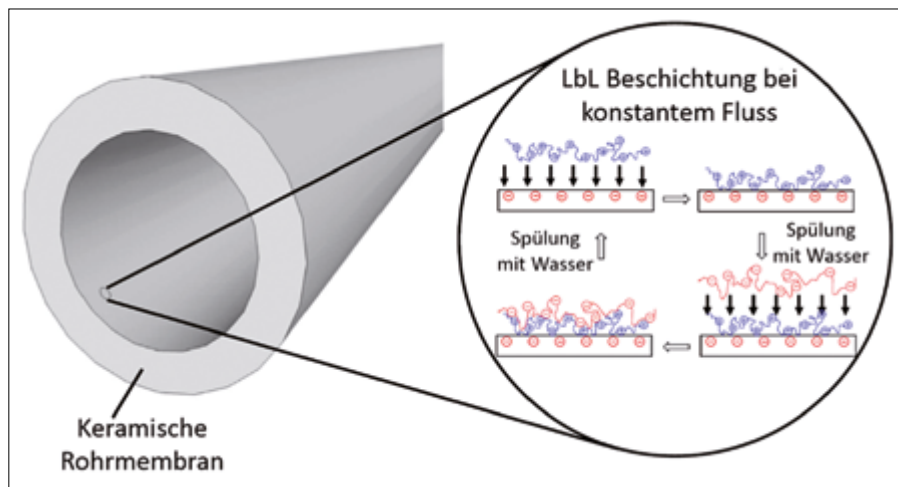


Abb. 6: LbL-Beschichtung einer keramischen Rohrmembran (© DWI)

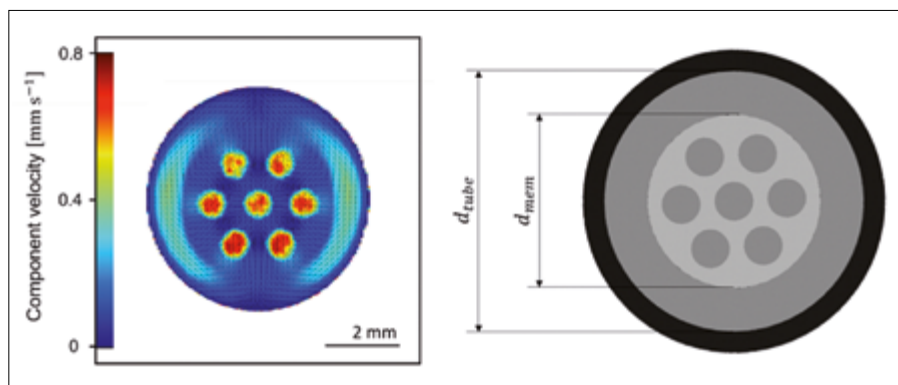


Abb. 7: CFD Simulation der radialen Geschwindigkeitskomponente bei Dead End Inside Out Filtration (© RWTH Aachen)

Im Projekt Rohrmembran werden von der Aachener Verfahrenstechnik – Lehrstuhl CVT verschiedene Nicht-Idealitäten von Membranmodulen untersucht, um den Einfluss verschiedener Parameter der Shell-seitigen Sekundärströmungsfelder zu bestimmen. Hierbei werden numerische Strömungssimulationen durchgeführt, um potenzielle Ursachen von Strömungsfeldphänomenen im Modulbau zu verdeutlichen (Abb. 7). Die Simulationen werden durch Strömungsmessungen mittels nicht-invasiver Magnetresonanztomographie-Bildgebung (MRI) für die neuartigen Membranen validiert.

Die am besten geeigneten Membranen sollen – als Industriemodul verbaut - im Rahmen des Projekts Rohrmembran unter betrieblichen Bedingungen an einer Produktionsanlage zur Oberflächenbehandlung bei den Deutschen Edelstahlwerken in Hagen getestet werden.

Das Projekt wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0100 gefördert.

## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

### ElektroPapier: Entwicklung papierbasierter Elektroden für die mikrobielle elektrochemische Abwasserreinigung

#### Kurzbeschreibung:

Um einen verantwortungsvollen Umgang mit Wasser und eine nachhaltige Wassernutzung zu garantieren, spielen innovative Behandlungskonzepte eine zentrale Rolle. Solch eine Alternative stellen mikrobielle elektrochemische Technologien wie mikrobielle Elektrolysezellen dar. Dieses Abwasserreinigungskonzept nutzt elektrochemisch aktive Mikroorganismen, welche organische Verunreinigungen im Abwasser in chemische Energieträger umwandeln. Die Leistungsfähigkeit dieser Technologie ist bestimmt durch die Leistungsfähigkeit seiner Einzelkomponenten. Daher wird im Projekt ElektroPapier eine Verbesserung von Kationenaustauschermembranen und die Entwicklung neuartiger dreidimensionaler Papierelektroden angestrebt. Im Projekt soll zudem der bis jetzt fehlende Praxisbeweis für eine großtechnische Umsetzung dieser Technologie in der kommunalen und industriellen Abwasserreinigung erfolgen.

#### Ereignisse seit Projektstart:

Das in diesem Projekt entwickelte (Elektro-)Papierherstellungsverfahren, welches die hochgradige Einbindung von Graphitpulver in das Fasergefüge ermöglicht, wurde in eine kontinuierliche Produktion überführt. Es konnten im Technikumsmaßstab stabile „ElektroPapiere“ produziert und in

Kurz- und Langzeitversuchen in mikrobiellen elektrochemischen Systemen erfolgreich eingesetzt werden. Die papier-spezifischen Eigenschaften, wie die Reißlänge und der spezifische elektrische Widerstand der Technikumpapiere sind vergleichbar mit den Werten der Laborpapiere. Der Produktionsprozess wird derzeit weiter optimiert.

Aus Langzeitversuchen mit den neu entwickelten Materialien wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- In Laborversuchen mit synthetischem Molkereiabwasser und Papieranoden konnten Stromdichten bis zu  $0.44 \text{ mA/cm}^2$  erreicht werden. (Zum Vergleich:  $0,8 - 1 \text{ mA/cm}^2$  sind üblich für reine Graphitelektroden und können auch mit ElektroPapier mit einem Graphitanteil von 80 % erreicht werden). Dies ist ein gutes Ergebnis. Eine Steigerung der Leistung wird in weiteren Versuchen durch Konditionierung bzw. Selektion von hoch elektrochemisch aktiven mikrobiellen Gemeinschaften, die auf das Molkereiabwasser spezialisiert sind, erreicht werden.
- Die Papieranoden zeigten im Prototypen-Betrieb nach 4 Monaten keine mechanischen Probleme wie Materialschwächen oder Quellerscheinungen. Zudem konnte mit der Papieranode über 90 % des Ammoniums aus der Anodenkammer entfernt werden.

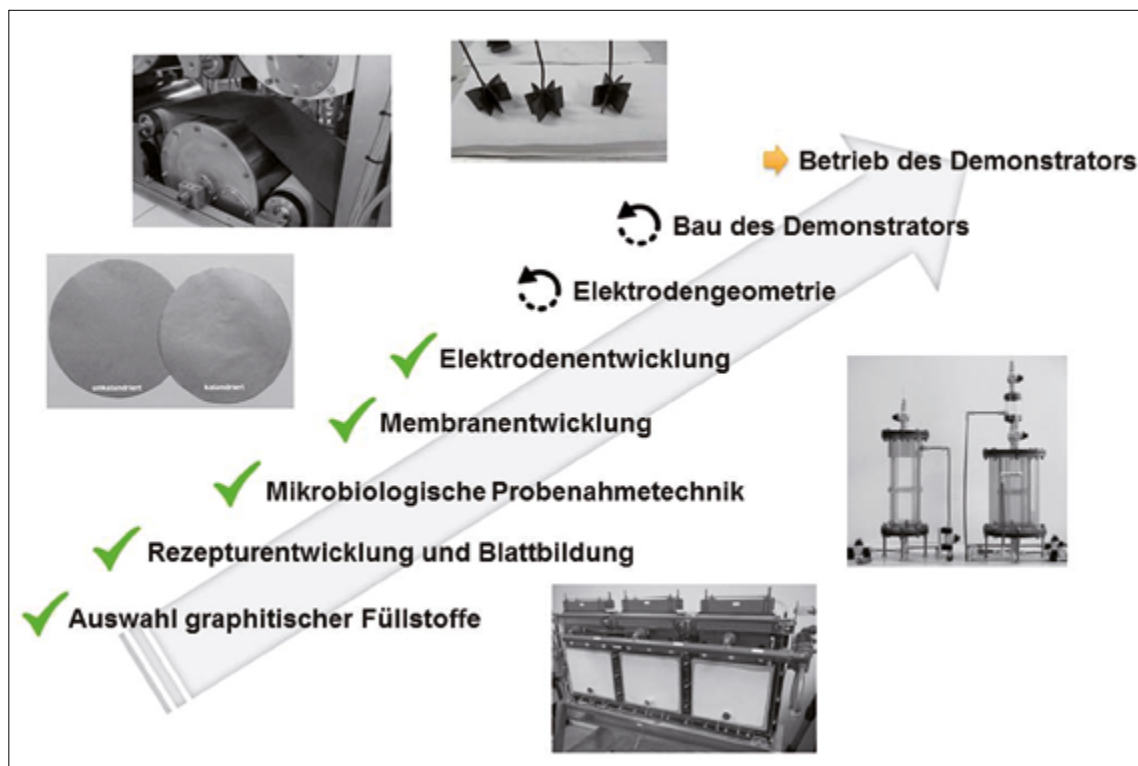


Abb. 8: Stand der Entwicklung der „ElektroPapiere“ (© EnviroChemie GmbH)

## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

- Die Kationenaustauschermembran zeigte nach einem Jahr Laufzeit im Prototyp keine Leistungseinbrüche, keine Degradation und wurde auch durch einen starken Biofilmbewuchs nicht beeinträchtigt.
- Eine Beprobung des mikrobiellen Bewuchses auf der Graphitplattenanode des Prototypen zeigte räumlich-zeitliche Heterogenitäten in der mikrobiellen Gemeinschaft. Im nächsten Schritt wird eine gefaltete Papieranode beprob, um auch dort Struktur-Funktions-Beziehungen ableiten zu können.

Die Abwasserreinigung mit Hilfe von kontinuierlich gefertigten „Elektropapieren“ wurde erfolgreich im Labormaßstab und im Technikumsmaßstab mit verschiedenen Abwässern nachgewiesen. Zur Bewertung der Eignung verschiedener dreidimensionaler Anodengeometrien wurden sechs Reaktoren im Labormaßstab (7 Liter) gebaut. Im nächsten Schritt werden die Papieranoden in dreidimensionalen Konfigurationen in diesen Laborreaktorsystemen getestet. Dabei wird neben den erzielbaren Stromdichten auch die Stabilität der „Elektropapiere“ sowie die Strömungsbedingungen bewertet. Der großtechnische Demonstrator wird derzeit durch die in den Langzeitversuchen erlangten Erkenntnissen ausgelegt und gebaut. Im Jahr 2019 wird der Demonstrator zunächst mit industriellem, später mit kommunalem Abwasser betrieben.

Das Projekt wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0041 gefördert.



Abb. 9: Fertigung eines Prototyps der dreidimensionalen Papieranode  
(© EnviroChemie GmbH)

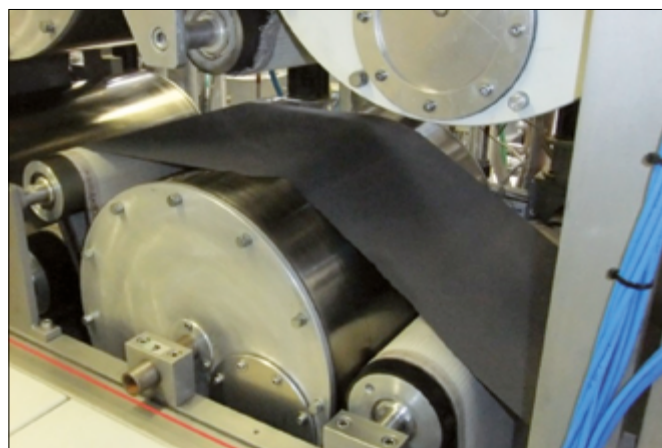


Abb. 9: Fertigung eines Prototyps der dreidimensionalen Papieranode  
(© Papiertechnische Stiftung)

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

### Kurzbeschreibung:

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 Oberflächenwasser (die sogenannte „Verockerung der Spree“) und zu Problemen bei der Trinkwassergewinnung durch den hohen Eisen- und Sulfatanteil. Deren Entfernung ist deshalb eine permanente Aufgabe sowohl der aktiven Bergwerke als auch stillgelegter Produktionsstandorte. Ziel ist die Entwicklung eines neuartigen, biologisch abbaubaren und ökologisch unbedenklichen Flockungsmittelkomplexes mit dem Schwerpunkt der Eisenflockung aus Ab- oder Oberflächenwässern in Bergbauregionen.

### Ereignisse seit Projektstart:

Chitosan konnte bereits als Flockungsmittel erfolgreich zur Abtrennung von Eisen- und Sulfationen in der Spree eingesetzt werden. Derzeit ist Chitosan das einzige kationische Flockungsmittel, das als nicht wassergefährdend eingestuft wird. Die Entwicklung eines kationischen Glucan-Chitin-Komplexes sollte zu einer Erweiterung der nicht wassergefährdenden Flockungsmittel beitragen. Dazu werden die gewonnenen Hefezellwände, welche aus einem Glucan-Chitin-Komplex bestehen, mit NaOH behandelt. Der Prozess ist ähnlich der Herstellung von Chitosan aus Chitin, welches aus dem Exoskelett von Krebstieren gewonnen wird. Da in der Hefezellwand das Chitin als Glucan-Chitin-Komplex vorliegt, ist die Deacetylierung mit NaOH eine komplexe Reaktion, welche auch Auswirkungen auf das Glucan oder andere Komponenten in der Zellwand haben kann.



## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

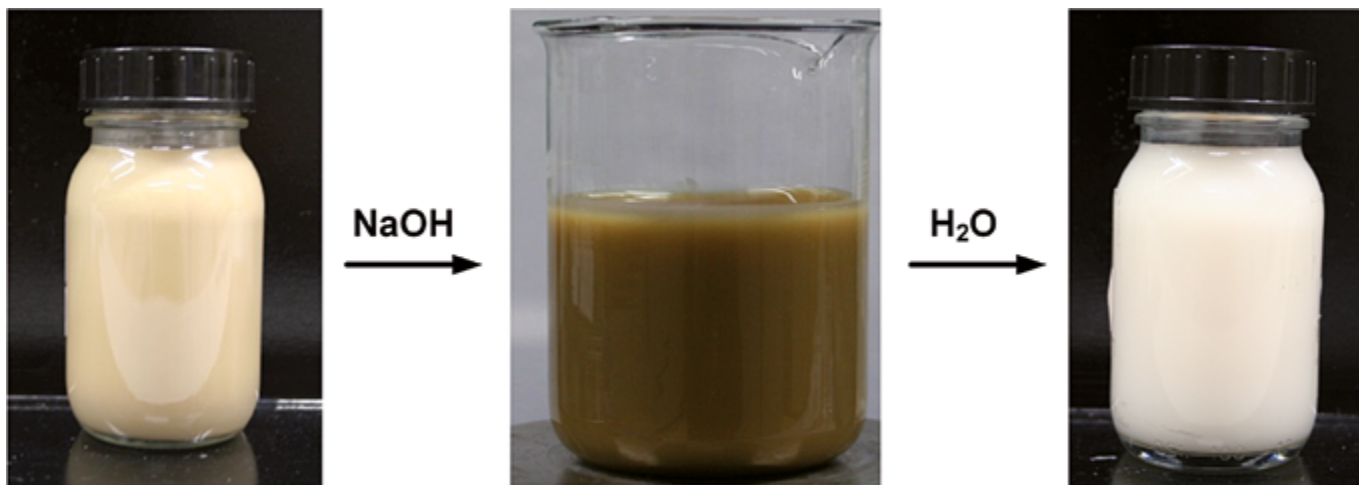


Abb. 11: Hefezellschale (Bild links) wird mit einer bestimmten NaOH-Konzentration versetzt und für einen Zeitraum x gerührt (Bild mittig). Anschließend wird die basische Hefezell-Dispersion zentrifugiert und bis pH 8 mit Wasser gewaschen (Bild rechts) (© Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.)

Die Hefezelle wurde innerhalb des Projektes mit verschiedenen Konzentrationen an NaOH versetzt und auf die Deacetylierung des Chitins mittels Strömungspotentials vs. pH analysiert. Die Deacetylierung der Hefezellschale sowie die anschließende Reinigung bis zu einem neutralen pH-Wert der Dispersion wurden umfangreich untersucht. Die Hefezelle selbst ist eine hellbraune, flüssige Dispersion (Abb. 11). Nach der Zugabe von NaOH kommt es mit einem sofortigen Farbumschlag zu einer dunkelbraunen Dispersion. Diese wird nach einer definierten Zeitspanne zentrifugiert, wobei am Ende ein weißes Gel zurückbleibt. Der dunkelbraune Überstand der Lösung wird verworfen. Hierbei handelt es sich vermutlich um gelöstes Protein aus der Hefezelle.

Anschließend wird die Hefezelle mittels Strömungspotential, Mikroskopie und IR-Spektroskopie analysiert. Aus den Strömungspotential-pH-Kurven kann die Ladung der Hefezelle bestimmt werden und ist somit eine sehr wichtige Analyse-methode. In Abb. 12a sind die Strömungspotentialkurven der reinen Biopolymere Chitosan, Glucan und der Hefezelle dargestellt. Die Hefezelle und Glucan sind über den pH-Bereich von 3,5 bis 10 negativ geladen. Chitosan ist vergleichsweise positiv geladen bis zu ca. pH 7,5. Durch die Behandlung der Hefezellschale mit NaOH soll diese ebenfalls positiv geladen sein, weil das Chitin zu Chitosan umgesetzt wird. Die Hefezelle weist eine positive Ladung bis pH 4,5 bereits nach der Behandlung mit einer 5%igen NaOH-Lösung auf (Abb. 12b). Der iso-

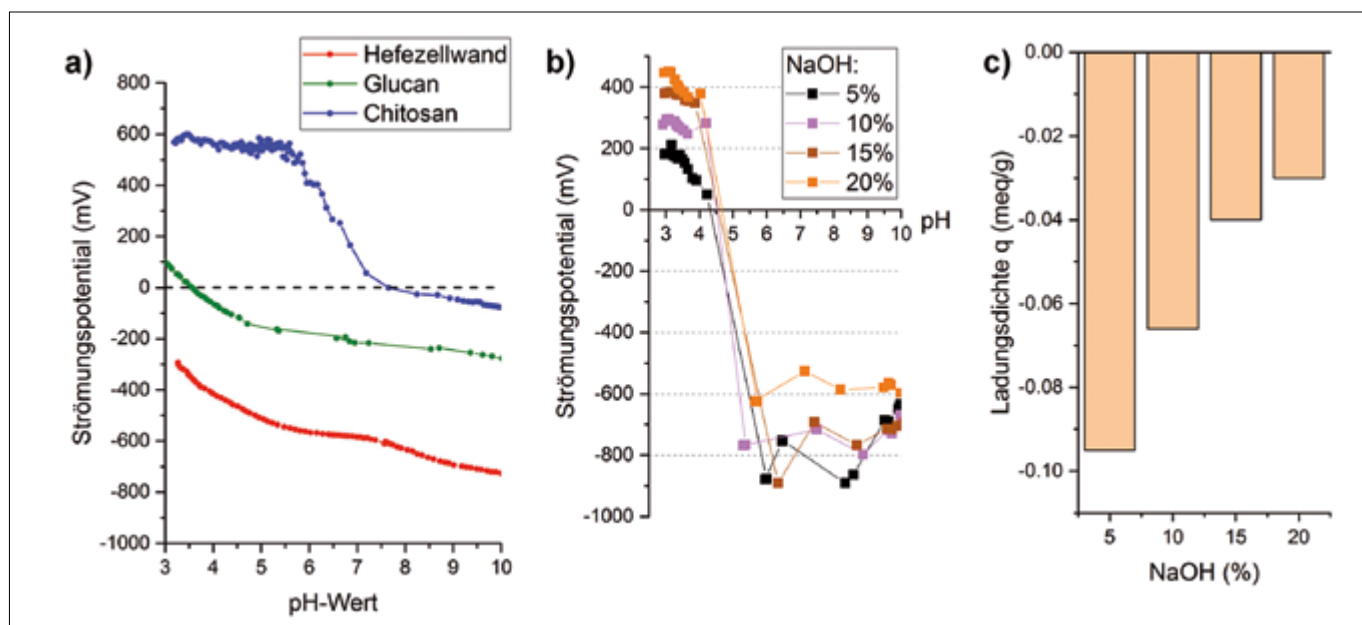


Abb. 12: a) Strömungspotential der Biopolymere Hefezellwand, Glucan und Chitosan in Abhängigkeit vom pH-Wert. Die Hefezellwand wurde ohne weitere Behandlung gemessen. b) Strömungspotential der Hefezell dispersion nach der Behandlung mit 5 % NaOH (schwarz), 10 % NaOH (rosa), 15 % NaOH (braun) und 20 % NaOH (orange) in Abhängigkeit vom pH-Wert. c) Ermittelte Ladungsdichte der Hefezell dispersionen nach der Behandlung mit 5 % NaOH, 10 % NaOH, 15 % NaOH und 20 % NaOH (© Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.)

## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

elektrische Punkt (Neutralpunkt) der mit NaOH behandelten Hefezellschale befindet sich für alle vier Proben zwischen pH 4 und 5. Die Ladungsdichte der Hefezellschale wurde in Abhängigkeit der zugegebenen Konzentration an NaOH untersucht (Abb. 12c) und zeigt einen deutlichen Trend: Je höher die zugegebene Konzentration an NaOH ist, desto geringer ist die negative Ladung bei pH 8.

Die Deacetylierung der Hefezellschale sowie die anschließende Reinigung mittels Zentrifuge wurden innerhalb des Projek-

tes verbessert. Der Chitin-Glucan-Komplex zeigt wie erwartet eine positive Ladung nach der Behandlung mit NaOH bei pH < 4,5. Anschließend wurden Adsorptions- und Flockungsversuche mit idealem und realem Wasser durchgeführt. Die Ergebnisse sind sehr vielversprechend.

Das Projekt wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0048 gefördert.

## AntiPARAM: Antifoulingkonzepte für Mehrparameter-Analysemes- und Wasserentkeimungssysteme

### Kurzbeschreibung:

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, pCO<sub>2</sub> 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 Foulings/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.

### Ereignisse seit Projektstart:

Der Anspruch an die zu entwickelnden Beschichtungen ist einerseits eine effektive Antifoulingwirkung, andererseits eine möglichst geringe Schichtdicke zum Erhalt der jeweiligen Sensorfunktionen. Nach dem in Abb. 13 dargestellten Schema werden hierbei Tetraetherlipide (TEL) eingesetzt, welche durch Self-assembly kovalent fixierte Monolayer mit Schichtdicken im Bereich 4-6 nm ausbilden. Die tatsächliche Antifoulingwirkung wird durch eine Vielzahl neu entwickelter Funktionspolymere gewährleistet.

Im bisherigen Projektverlauf konnte durch das IFB Halle die kontinuierliche Produktion von TEL-haltiger Biomasse etabliert werden. Nachfolgend wurden sowohl Extraktions- als auch Beschichtungsprozeduren entwickelt bzw. weiter optimiert (iba Heiligenstadt). Im Resultat können verschiedene Oberflächen (Glas, Quarzglas und Edelstahl) gleichermaßen beschichtet werden, sodass eine optimale Anbindung der durch die FSU Jena entwickelten polyhydrophilen und polyzwitterionischen Funktionspolymere gewährleistet ist.

In ersten in vitro-Untersuchungen konnte hier bereits eine Reduktion der initialen Adhäsion von Mikroorganismen um

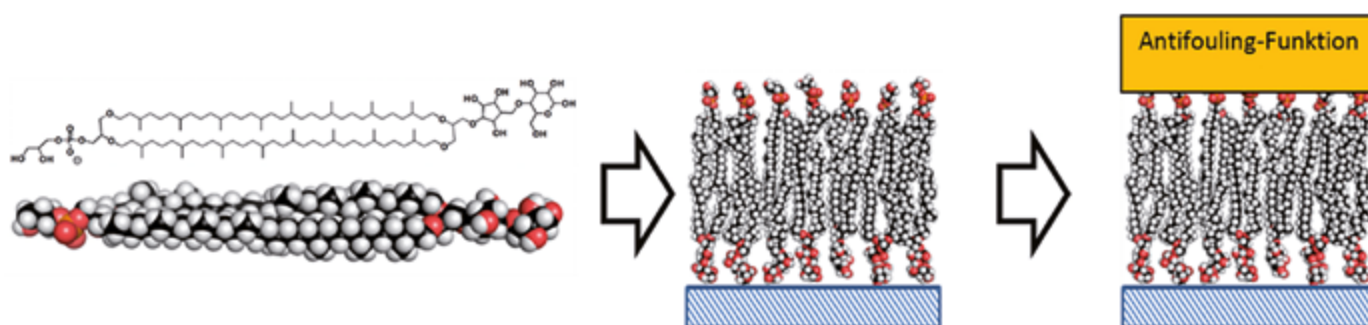


Abb. 13: Schematische Darstellung zum Aufbau der Antifouling-Funktion tragenden TEL-Schichten (© iba Heiligenstadt)

## Neues aus den MachWas-Verbundprojekten

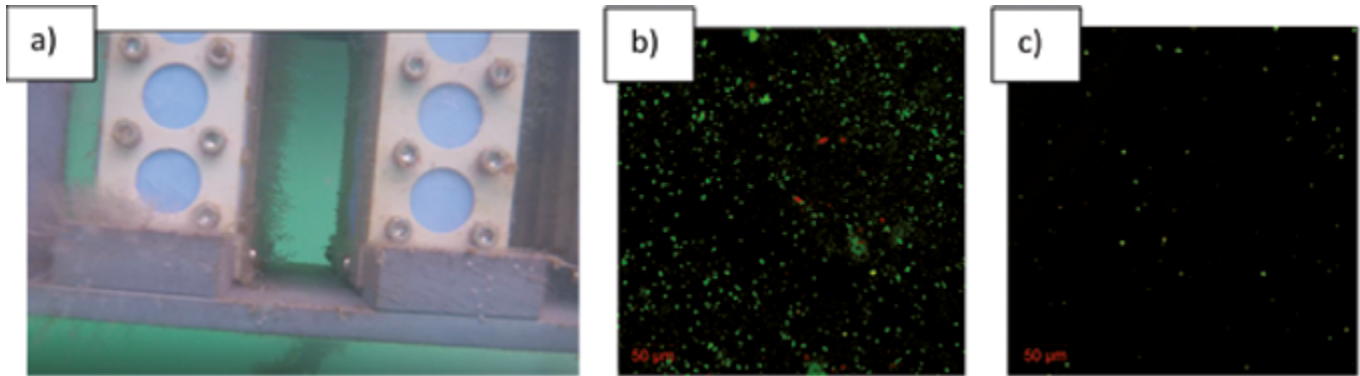


Abb. 14: a) Probenhalter (Probendurchmesser 15 mm) im Feld nach 4-wöchiger Verweilzeit und Fluoreszenz-mikroskopische Aufnahmen einer Glas-Referenz (a) sowie eines Kombinationsschichtsystems (b) nach 6-wöchigem Feldtest, deutlich sichtbar die Reduktion der adhärenierten (angefärbten) Mikroorganismen (© iba Heiligenstadt und 4H Jena Engineering GmbH)

60 – 70 % ermittelt werden. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgt einerseits die weitere Optimierung der Funktionspolymere, zum anderen wurden die vielversprechendsten Kombinationsschichtsysteme für einen Feldtest vor Helgoland unter marinen Bedingungen während der Algenblüte und somit im Zeitraum der größten biologischen Beanspruchung der Systeme unter Realbedingungen ausgewählt. Erste Ergebnisse zeigen hier, dass die durch Mikroorganismen bedeckte Oberfläche nach 6-wöchiger Testung um 80 bis teilweise 90 % gegenüber den unbehandelten Substraten gesenkt werden konnte (vgl. Abb. 14).

Alle Schichten werden bei den beteiligten Industriepartnern (4H-Jena engineering und UV-Technik) zudem auf ihre Praxis-

tauglichkeit, insbesondere die Stabilität unter Realbedingungen, aber hinsichtlich der Aufrechterhaltung der Funktion der zu beschichtenden Objekte (Sensorfunktion bzw. UV-Transparenz), umfassend untersucht.

Im weiteren Projektverlauf werden die bisher entwickelten Kombinationsschichtsysteme weiter optimiert, sodass im Frühjahr 2019 ein weiterer Feldtest initiiert werden kann.

Das Projekt wird vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 03XP0044 gefördert.

## Weitere relevante Veranstaltungen

**27. – 30. November 2018:** Industrial Water 2018

Frankfurt am Main

Weitere Information unter: [www.industrial-water.org](http://www.industrial-water.org)

**20. – 21. Februar 2019:** RE-WATER

Braunschweig

Weitere Information unter: [www.re-water-braunschweig.com](http://www.re-water-braunschweig.com)

**16. – 20. Juni 2019:** 12<sup>th</sup> IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse

Berlin

Weitere Informationen unter:  
[www.dechema.de/en/iwareuse2019](http://www.dechema.de/en/iwareuse2019)

## Vernetzungs- und Transferprojekt der BMBF-Fördermaßnahme MachWas:

### Kontakt:



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

**Dr. Thomas Track**

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

E-Mail: [thomas.track@dechema.de](mailto:thomas.track@dechema.de)

**Dipl.-Biol. Sabrina Giebner**

Tel.: +49 (0)69 7564-619

E-Mail: [sabrina.giebner@dechema.de](mailto:sabrina.giebner@dechema.de)

**Dipl.-Ing. Katja Wendler**

Tel.: +49 (0)69 7564-425

E-Mail: [katja.wendler@dechema.de](mailto:katja.wendler@dechema.de)



Projektträger Jülich  
Geschäftsbereich Neue Materialien und Chemie  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
52425 Jülich

**Dr. Katja Stephan**

Tel.: +49 (0)2461 61-2264

E-Mail: [k.stephan@fz-juelich.de](mailto:k.stephan@fz-juelich.de)

## MachWas – Verbundprojekte

### 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

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

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

**POLINOM:** Polyvalente Trennungen durch flexible Integration aktiver Oberflächen in Membranen

**Rohrmembran:** Neue Beschichtungsmethoden zur Herstellung maßgeschneiderter, säurebeständiger Umkehrosmose-Rohrmembranmodule für die Aufbereitung partikelhaltiger Prozesswässer

### Materialien für oxidative & reduktive Verfahren

**ElektroPapier:** Entwicklung papierbasierter Elektroden für die mikrobielle, elektrochemische Abwasserreinigung

**RADAR:** Radikalische Abwasserreinigung

### Adsorptionsmaterialien

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

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

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

### Materialien für weitere Anwendungen in der Wassertechnik

**AntiPARAM:** Antifoulingkonzepte für Mehrparameter-Analyse- und Wasserentkeimungssysteme

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

**OEMP:** Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung