



# 12. AACHENER TAGUNG WASSERTECHNOLOGIE

Verfahren der Wasseraufbereitung  
und Abwasserbehandlung

24. - 25. Oktober 2017 | Aachen | Eurogress



In Abstimmung mit:



# 12. AACHENER TAGUNG WASSERTECHNOLOGIE

BRÜSSELSAAL | Diskussionsleitung: Prof. M. Wessling, AVT.CVT RWTH Aachen University, DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien, DE

Gemeinsame Eröffnung

- 10:00** **Begrüßung und Eröffnung der Tagung**  
M. Wessling<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>AVT.CVT RWTH Aachen University, DE | <sup>2</sup>DWI – Leibniz Institut für Interaktive Materialien, DE
- 10:15** **Inhalt und Umsetzung der Spurenstoffstrategie des Bundes**  
J. Wagner<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, DE
- 10:45** **Resource recovery from wastewater**  
M. C. M. van Loosdrecht<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>TU Delft, NL
- 11:15** **Layer-by-Layer Design von Nanofiltrationsmembranen**  
M. Wessling<sup>1,2</sup>, D. Menne<sup>1</sup>, J. Kamp<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>AVT.CVT RWTH Aachen University, DE | <sup>2</sup>DWI – Leibniz Institut für Interaktive Materialien, DE

11:45 Uhr Mittagspause und Ausstellungsbesuch

## BRÜSSELSAAL

### Wasserwiederverwendung

Diskussionsleitung: Prof. T. Wintgens, FH Nordwestschweiz, CH

- 13:15** **Vorwärtsosmose zur Wasserwiedergewinnung aus industriellem Abwasser mit dem Ziel Zero Liquid Discharge**  
R. Wünsch<sup>1</sup>, C. Kazner<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>FH Nordwestschweiz, CH
- 13:35** **Overview on Research and Applications of Gravity-Driven Membrane filtration (GDM)**  
W. Pronk<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Eawag, CH
- 13:55** **Ultrafiltration von Abwasser aus Stabilisierungsteichen mit hoher Feststoffkonzentration und Foulingneigung**  
V. Kohlgrüber<sup>1</sup>, A. Abels<sup>1</sup>, J. Pinnekamp<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ISA RWTH Aachen University, DE
- 14:15** **Einführung von adaptierten Wasserwiedergewinnungskonzepten in Nordost Brasilien: Einsatz einer MBR Pilotanlage für die Fruchtsaftindustrie**  
C. Bohner<sup>1</sup>, C. Marti<sup>2,3</sup>, S. Yüce<sup>2</sup>, M. Wessling<sup>2,3</sup>  
<sup>1</sup>EnviroChemie GmbH, DE | <sup>2</sup>AVT.CVT RWTH Aachen University, DE | <sup>3</sup>DWI – Leibniz Institut für Interaktive Materialien, DE
- 14:35** **Nutzung von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Reinigung von Mischwasserentlastungen und Kläranlagenabläufen - RBF<sup>Plus</sup>**  
A. Brunsch<sup>1</sup>, F.-M. Mertens<sup>1</sup>, K. Knorz<sup>1</sup>, E. Christoffels<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Ertverband, DE

## K 2

### Nährstoffrückgewinnung

Diskussionsleitung: Prof. J. Krampe, IWR TU Wien, AT

- 13:15** **Technische Ansätze zur Phosphorrückgewinnung**  
D. Montag<sup>1</sup>, D. Bastian<sup>1</sup>, J. Pinnekamp<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ISA RWTH Aachen University, DE
- 13:35** **Membrandestillation zur Wertstoffrückgewinnung in der kommunalen Abwasserbehandlung**  
B. Mayr<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>EnviCare Engineering GmbH, AT
- 13:55** **Überblick und Erfahrungen mit der membranbasierten Ammoniak-Strippung - Rückgewinnung von Stickstoff aus Abwässern der Schlammbehandlung**  
M. Böhler<sup>1</sup>, J. Fleiner<sup>1</sup>, H. Siegrist<sup>1</sup>, A. Seyfried<sup>2</sup>, C. Egli<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Eawag, CH | <sup>2</sup>Atemis GmbH, DE | <sup>3</sup>ARA Altenrhein, CH
- 14:15** **Oberflächenmodifizierte Membranen zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammasche**  
K. Remmen<sup>1</sup>, B. Müller<sup>1</sup>, D. Menne<sup>2</sup>, T. Wintgens<sup>1</sup>, M. Wessling<sup>2,3</sup>  
<sup>1</sup>FH Nordwestschweiz, CH | <sup>2</sup>AVT.CVT RWTH Aachen University, DE | <sup>3</sup>DWI – Leibniz Institut für Interaktive Materialien, DE
- 14:35** **Recycling und Aufbereitung von Salzen mit Hilfe von Fluss-Kapazitiver Deionisierung**  
C. J. Linnartz<sup>1,2</sup>, A. Rommerskirchen<sup>1,2</sup>, M. Wessling<sup>1,2</sup>, Y. Gendel<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>AVT.CVT RWTH Aachen University, DE | <sup>2</sup>DWI – Leibniz Institut für Interaktive Materialien, DE | <sup>3</sup>Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion, ISR

14:55 Uhr Pause und Ausstellungsbesuch

### Energieoptimierung und Betriebserfahrung

Diskussionsleitung: Dr. C. Dotremont, VITO, BE

- 15:30** **Neue Kenndaten einer Membrananlage als Bilanz des progressiven Betriebs und technischer Entwicklung**  
K. Drensla<sup>1</sup>, A. Janot<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Ertverband, DE
- 15:50** **Zukunftsperspektiven für Membranbehebungsanlagen in der kommunalen Abwassereinigung**  
C. Brepols<sup>1</sup>, K. Drensla<sup>1</sup>, A. Janot<sup>1</sup>, L. Beyerle<sup>1</sup>, H. Schäfer<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Ertverband, DE
- 16:10** **MBR-Anlagen und nachgeschaltete UF – großtechnische Erfahrungen**  
M. Brockmann<sup>1</sup>, U. Mende<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Waterleau Deutschland, DE
- 16:30** **Assoago wwtP - a large MBR example with low energy consumption**  
L. Pedrazzi<sup>1</sup>, M. di Pofi<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>SUEZ Trattamento Acque S.p.A, IT | <sup>2</sup>GE Water & Process Technologies, DE
- 16:50** **Erste Betriebserfahrungen eines neuartigen Membranmoduls für MBR-Anwendungen**  
K. Vossenkaul<sup>1</sup>, D. Volmering<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Membion GmbH, DE
- 17:10** **Stickstoffelimination 4.0: Herausforderungen und Möglichkeiten**  
M. Denecke<sup>1</sup>, M. Azari<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft Universität Duisburg-Essen, DE

### Trinkwasseraufbereitung und Entsalzung

Diskussionsleitung: Dr. W. Pronk, Eawag, CH

- 15:30** **Verfahrenstechnische Optimierung einer Zweischichtfiltration - Untersuchungen zu den Ursachen erhöhter Filterwiderstände**  
V. Preuß<sup>1</sup>, L. Zahn<sup>1</sup>, T. Koch<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>WS BTU Cottbus, DE | <sup>2</sup>Lausitz Energie Bergbau AG, DE
- 15:50** **Klarwasserbehandlung mittels Ultrafiltration - Ergebnisse einer Pilotstudie**  
P. Lipp<sup>1</sup>, T. Volquardsen<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>TZW DVGW-Technologiezentrum Wasser, DE
- 16:10** **Nachhaltiges Konzept zur Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Deionisierung und Arsenentfernung am Beispiel Vietnam (WaKap<sup>1</sup>)**  
E. Canas-Kurz<sup>1</sup>, U. Hellriegel<sup>1</sup>, J. Hoinkis<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>FH Karlsruhe, DE
- 16:30** **Die Ultrafiltration als integraler Bestandteil der Trinkwasseraufbereitung – Planung, Umbau und Betrieb des Wasserwerkes Trier-Irsch**  
C. Girndt<sup>1</sup>, M. Kollete<sup>1</sup>, R. Winkler<sup>2</sup>, P. Büchta<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Stadtwerke Trier GmbH, DE | <sup>2</sup>Inge/BASF, DE
- 16:50** **Plasma-Funktionalisierung und Modifizierung von Netting mit Antifouling-Beschichtungen für die Anwendung in Reversosmose-Modulen zur Wasseraufbereitung**  
M. Jablonska<sup>1</sup>, N. Teuscher<sup>1</sup>, S. Richter<sup>1</sup>, S. Schulze<sup>1</sup>, A. Heilmann<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut von Werkstoffen und Systemen IMWS, DE
- 17:10** **Rückspülbare Hohlfasern zur Nanofiltration**  
H. Roth<sup>1,2</sup>, T. Lülfi<sup>1,2</sup>, M. Wessling<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>AVT.CVT RWTH Aachen University, DE | <sup>2</sup>DWI – Leibniz Institut für Interaktive Materialien, DE

Ausklang des 1. Tages mit Stehkonvent

DIENSTAG 24. 10. 2017

# Membrandestillation zur Wertstoffrückgewinnung in der kommunalen Abwasserbehandlung

Erstautor  
Zweitautor  
Drittautor

Bernhard Mayr, EnviCare  
Christoph Brunner, AEE Intec  
Robert Gampmayer, Rotreat

## Konferenzbeitrag

Die Membrandestillation (MD) ist ein thermischer Prozess, bei dem nur dampfförmige Moleküle durch eine poröse, hydrophobe Membran diffundieren. Der flüssige Feed steht dabei in direktem Kontakt mit einer Seite der Membran, deren hydrophobe Eigenschaften aber ein Eindringen der Flüssigkeit in die Poren der Membran durch die vorherrschende Oberflächenspannung verhindern. Die treibende Kraft der MD ist eine Dampfdruckdifferenz zwischen der warmen Feedseite (im konkreten Fall das ammoniumhaltige Trübwasser) und der kalten Permeatseite der Membran.

Die thermische Energie wird bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen von 60 – 80°C benötigt und kann durch Abwärme eines Blockheizkraftwerks oder Solarthermie bereitgestellt werden.

Die MD wird heute in erster Linie zur Gewinnung von Trinkwasser aus Meer- und Brackwasser und für die Produktion von Reinstwasser aus Trinkwasser eingesetzt. Der Einsatz dieses vergleichsweise „jungen“ Membranverfahrens für die Aufbereitung von stark belasteten wässrigen Lösungen wird im Rahmen dieser Tagung nicht nur in dieser Arbeit, sondern auch in einem weiteren Vortrag (S. Meitz, 2017) behandelt.

Die Erfahrungen aus der Versuchsphase mit einer MD-Anlage zur Rückgewinnung von Stickstoff aus dem Trübwasser der kommunalen Abwasserreinigung werden hier vorgestellt. Die Produktion des Düngemittels Ammonsulfat und damit einhergehend der monetäre-, sowie der energetische Nutzen der Technologie wird anhand dieser Versuchsergebnisse präsentiert.

Die Senkung des hohen Energieverbrauchs für die kommunale Abwasserreinigung stellt ein weiteres übergeordnetes Projektziel dar. Durch die Abtrennung und Rückgewinnung von Stickstoff wird der Sauerstoffbedarf und damit auch der Energiebedarf für biologische Oxidation reduziert.

Im Projekt En-RecoTreat (J. Buchmaier, 2016), das durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gefördert wurde, konnten umfangreiche praktische Erfahrungen mit Planung, Bau und Versuchsdurchführung einer MD-Pilotanlage gesammelt werden. Geeignete Membranmaterialien zur Abwasserbehandlung wurden gefunden und eine ausreichende chemische und mechanische Resistenz der Materialien konnte nachgewiesen werden. Der gewonnene Stickstoff fällt als Düngemittel in lager- und transportfähiger Form an.

Es wurden Wickel- und Plattenmodulkonfigurationen untersucht und die (energie-) effizienteste für den Anwendungsfall Ammoniumabtrennung ermittelt (Plattenmodulkonfiguration). Der Lösungsansatz, durch Verschiebung des Dissoziationsgleichgewicht Ammonium in Ammoniak zu überführen, wurde untersucht und erfolgreich nachgewiesen.

## Einleitung

Die Ammoniumfracht des Trübwassers trägt mit 10 – 25 % zur Stickstofffracht am Zulauf der Kläranlage bei, wobei die Hydraulik nur 1-2 % des Kläranlagenzulaufs ausmacht. Im Schlammwasser sind zwischen 500 – 2.000 mg NH<sub>4</sub>N/l enthalten. Damit werden der aeroben Reinigungsstufe erhebliche Nährstofffrachten zugeführt, die in den heute üblichen Belebungsanlagen mit hohem Energieeinsatz

oxidiert werden. Das besonders in Hinsicht auf die erforderliche mechanische Energie effiziente MD-Verfahren wird bei vergleichsweise niedrigem Temperaturniveau betrieben und erzielt eine Abtrennung und Rückgewinnung von Ammonium aus dem Abwasserstrom. Dadurch kann Belüftungsenergie eingespart und ein wertvolles Produkt (Ammoniumwasser oder -sulfat) generiert werden.

## Zielsetzung und Methoden

Im Zuge der Vorversuche im Labor wurden geeignete Membranmaterialien anhand des Liquid Entry Pressure (LEP) Tests und anhand von Kontaktwinkelmessungen identifiziert und theoretische und labortechnische Voruntersuchungen zur Stofftrennungseigenschaft durchgeführt. Ebenso wurden die möglichen MD-Konfigurationen (Direct Contact –MD (DCMD), Stripping- Direct Contact –MD (S-DCMD), Air Gap –MD (AGMD), Permeate Gap- MD (PGMD), Vakuum –MD (VMD), Vakuum Air Gap –MD (V-AGMD)) getestet. Darauf aufbauend wurden passende Membranmodulkonfigurationen ausgearbeitet und eine Pilotanlage mit einer Polytetrafluorethylen (PTFE) Membran in einer S-DCMD Konfiguration für einen Durchsatz von etwa 6,0 m<sup>3</sup>/d konzipiert.

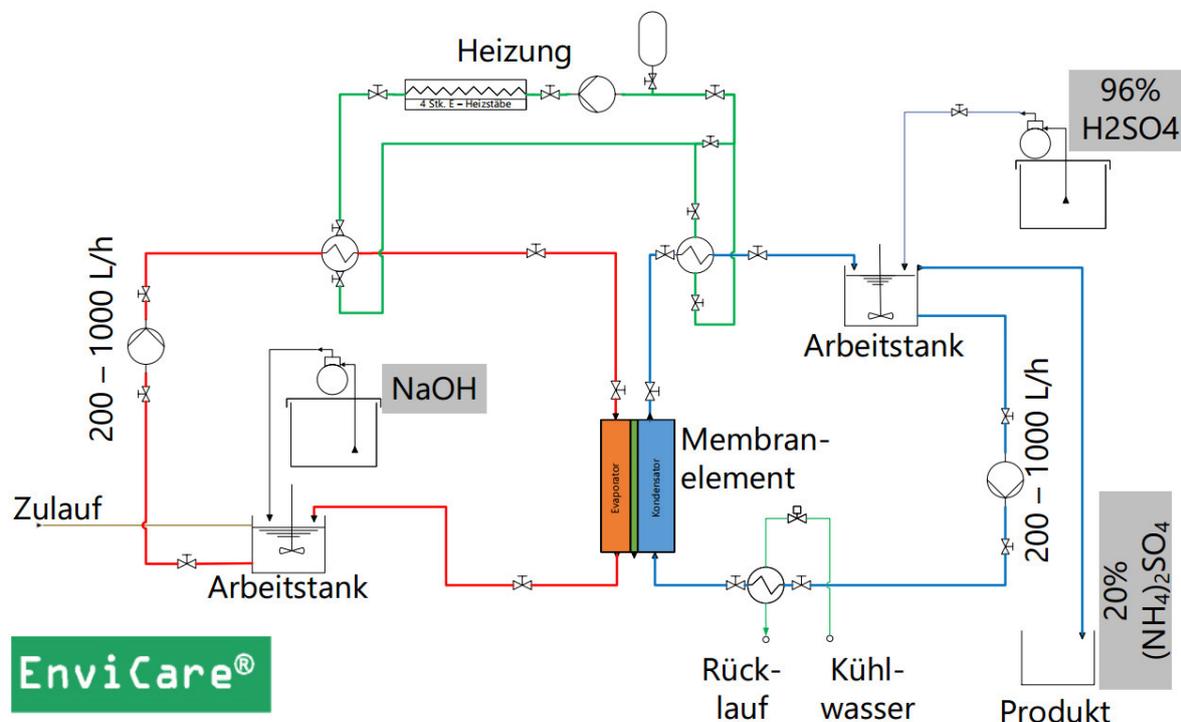
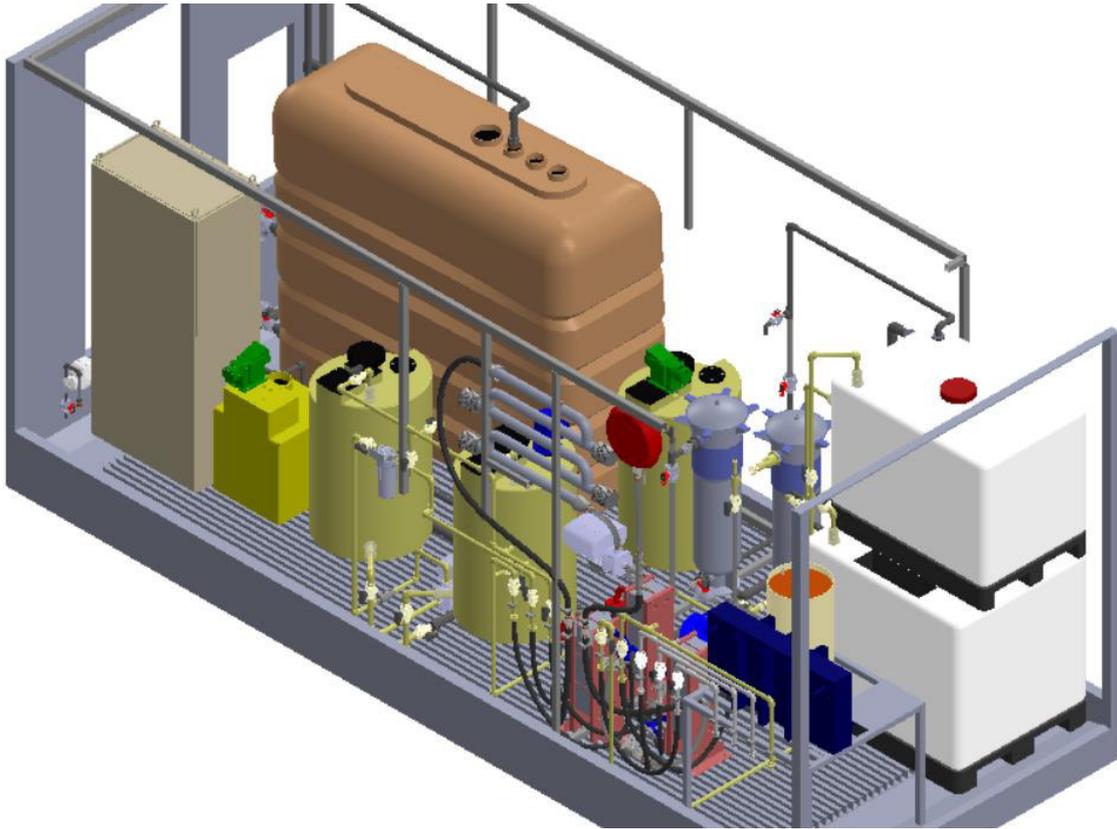


Abbildung 1: Flussdiagramm der Pilotanlage

Im Pilotmaßstab wurden zunächst Versuchsreihen mit synthetischen Abwasser und später mit Trübwasser der kommunalen Kläranlage Gleisdorf durchgeführt.

Dabei lag der Fokus auf der Steigerung der transmembranen Durchflussrate für die Komponente Ammoniak bei gleichzeitiger Minimierung des Wasserdurchgangs. Weiters wurden das Foulingverhalten, die Reduktion des Reinigungsbedarfes, die Reduktion der transmembranen Wärmeverluste und die Optimierung des Langzeitverhaltens betrachtet.

Die erste Versuchsreihe wurde mit Spiralwickelmodulen und die abschließenden Tests mit Plattenmodulen durchgeführt.



**Abbildung 2: 3D Ansicht der Pilotanlage (Quelle der 3D-Darstellung: Rotreat Abwasserreinigung GmbH)**

Die Ergebnisse der Versuche wurden verwendet, um eine Maßstabsvergrößerung zu berechnen. Auf Basis dieser Modellrechnung wurde letztlich eine stoffliche, energetische und wirtschaftliche Bewertung des neuen Verfahrens erstellt.

## Kurz Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Versuche wurden mit dem Trübwasser des Abwasserverbands Gleisdorfer Becken/Österreich (30.000 EW) durchgeführt. Vergleichsweise wurden auch die Ammoniumwerte im Trübwasser anderer Bezirkskläranlagen in der Steiermark erhoben. Die  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration schwanken dabei zwischen 300 – 1.300 mg/l, die pH-Werte zwischen 7,1 – 8,0.

In einer Vorversuchsreihe an einem Wickelement mit synthetischem Trübwasser wurde der Einfluss verschieden hoher pH Werte untersucht. Die Praxisergebnisse bestätigten die theoretische Annahme, dass mit höheren pH-Werten der Ammoniumübergang steigt, während die Wasserabtrennung weitgehend invariant bleibt. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde der pH-Wert bei den Pilotversuchen auf etwa 10,5 unter Zugabe von Natronlauge angehoben.

Ebenso wurden in Vorversuchen der Einfluss der Überströmung der Membrane und der Feedtemperaturen bzw. der anliegenden Temperaturdifferenzen evaluiert.

Im Fall des Plattenmoduls erreicht die in den Pilotversuchen erzielte  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Flussrate 30 g/(m<sup>2</sup>.h) und bei entsprechender Serienschaltung beträgt die  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gesamtentnahme > 80%.

Die gesetzten Zielvorgaben im Permeat (hohe Ammoniumkonzentration > 1.000 mg/l, niedrige CSB-Konzentration < 50 mg/l, geringer Wasserdurchgang) konnten im Fall des Plattenmoduls erreicht werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die MD-Technologie gut für die Abtrennung von Ammonium aus flüssigen Stoffsystemen geeignet ist. Die Scale-Up Rechnung zeigt, dass im Fall der ARA Gleisdorf bei einem

Trübwasseranfall von 20 m<sup>3</sup>/d mit einer Konzentration von 1.000 mg/l NH<sub>4</sub>-N und bei einer NH<sub>4</sub>-N-Abscheiderate von 90 % 18 kg/d NH<sub>4</sub>-N gewonnen werden können. Dabei liegt der Energiebedarf je entnommenen kg NH<sub>4</sub>-N bei Verwendung eines Plattenmoduls mit Wärmerückgewinnung bei umgerechnet 18 kWh<sub>th</sub>/kg<sub>NH4-N\_red</sub> @ 80°C und 0,19 kWh<sub>el</sub>/kg<sub>NH4-N\_red</sub>.

Für die pH-Wertanhebung des Trübwassers von 8,0 auf 10,5 werden etwa 5,7 kg NaOH<sub>Pellets</sub>/m<sup>3</sup> Trübwasser benötigt.

Während des Prozesses wird auf der Permeatseite Schwefelsäure zugesetzt, um einerseits das treibende Gefälle über die Membran aufrecht zu erhalten und andererseits ein in der Düngemittelindustrie verwertbares Produkt (Ammoniumsulfat (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) zu erzeugen. In einer großtechnischen Anlage können so auf Basis der vorher genannten Ergebnisse 67 kg (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/d generiert werden (Einsatz von 49 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/d). Eine Vermarktung des Produkts würde zu einem Erlös von rund 19.000,- € pro Jahr führen. Gleichzeitig kann durch verminderte Rückführung von Ammonium in die Belegung der elektrische Energieverbrauch um etwa 9,2 MWh pro Jahr gesenkt werden.

## Erkenntnisse

Plattenmodule eignen sich aufgrund der höheren Ammoniumselektivität, sowie des deutlich geringeren thermischen Energiebedarfs deutlich besser für die Ammoniumabtrennung aus Trübwasser als Wickelmodule. Die erreichbare Abtrennrage von Ammonium richtet sich in erster Linie nach zwei Faktoren: der Betriebstemperatur und der Anzahl an Modulen in Serie. Je höher die Anzahl an Modulen in Serie, desto höher ist die Ammoniumabtrennungsrate.

<b>1. Investitionskostensumme</b>		<b><u>100.000,00 €</u></b>	
<b>2. Kostensumme</b>		<b><u>35.953,05 €</u></b>	
		<b>fixe Kosten</b>	<b>variable Kosten</b>
		22.723,05 €	13.229,99 €
2.1 Rückzahlrate (RMZ) Anlagentechnik + EMSR Technik			
10 Jahre	3,0% Zinsen	11.723,05 €	
2.3 Wartung, Reparatur	5,0% Anlage	5.000,00 €	
2.4 Membranersatz		3.000,00 €	
2.5 Personal	0,05 Mann	2.500,00 €	
2.6 Versicherung	0,5% Invest	500,00 €	
2.7 Chemie NaOH	5,70 kg/m <sup>3</sup>	0,20 €/kg	8.320,60 €
2.8 Chemie H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	49,00 kg/d	0,20 €/kg	3.577,00 €
2.9 Strombedarf	0,12 €/kWh	1.248 kWh	149,80 €
2.10 Wärmebedarf	0,01 €/kWh	118.260 kWh	1.182,60 €
<b>3. Erlöse/Einsparungen</b>			<b><u>20.667,76 €</u></b>
3.1 Produkterlös	67,00 kg/d	0,80 €/kg	19.564,00 €
3.2 Stromersparnis	0,12 €/kWh	9.198 kWh	1.103,76 €
<b>4. Verlust</b>		<b><u>-15.285,29 €</u></b>	

Tabelle 1: überschlägige Kostenkalkulation

In der obigen Tabelle ist eine vereinfachte Gesamtkalkulation dargestellt, die zeigt, dass das vorgestellte MD-Verfahren zur Rückgewinnung von Ammoniumstickstoff unter den gegebenen Randbedingungen bei relativ kleinen Kläranlagen derzeit nicht wirtschaftlich ist.

## Danksagung

Das Forschungsprojekt EnReco-Treat (Projekt Nr. 843772) der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG wurde unter der Leitung der Fa. Rotreat Abwasserreinigung, Seiersberg, A durch die Projektpartner AEE Intec, Gleisdorf, A, Abwasserverband Gleisdorfer Becken, A, TU Graz, A, Solarspring, Freiburg, D und EnviCare, Graz, A abgewickelt.

## KEYWORDS

Membrandestillation, Wertstoffrückgewinnung, Ammonium, Düngemittel, Trübwasser

## LITERATURVERZEICHNIS

- J. Buchmaier, C. C. (2016). Membrane Distillation - A Technology for Resource Recovery in Communal Waste Water Treatment. *Advanced Membrane Technology VII*. Cork, Ireland: Engineering Conferences International.
- S. Meitz, C. P. (25. Oktober 2017). Kontinuierliche Badpflege und Schließung des Wasserkreislaufs in einem Galvanikbetrieb mittels Membrandestillation. *12. AACHENER TAGUNG WASSERTECHNOLOGIE*.