

# Entwicklung eines Steuerungssystems für eine Pilotanlage zum DMAc-Abbau

Verbundvorhaben **Med-zeroSolvent** · Neue Wege im medizintechnischen Wassermanagement – Etablierung innovativer Methoden für die abwasserfreie Produktion durch energieeffiziente Behandlung von stark belasteten Prozesswässern aus der Membranherstellung (Fkz: 02WV1566A) · **Arbeitspaket Steuerungssystem**

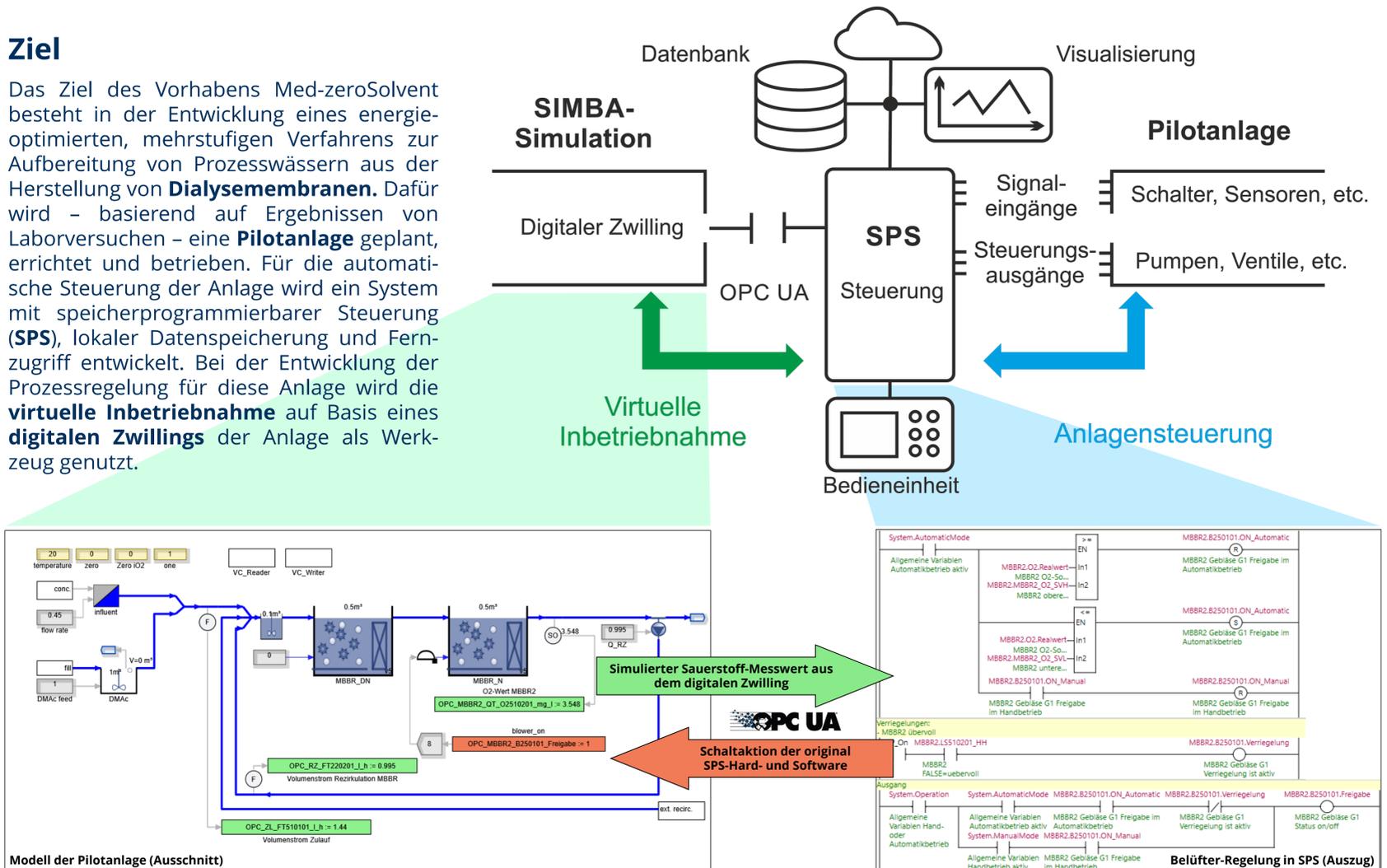
Jörg Waschull<sup>1</sup>, Wolfgang Herschier<sup>1</sup>, Markus Ahnert<sup>2</sup>, Peter Krebs<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH Dresden, Hauptbereich Angewandte Werkstofftechnik

<sup>2</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft

## Ziel

Das Ziel des Vorhabens Med-zeroSolvent besteht in der Entwicklung eines energieoptimierten, mehrstufigen Verfahrens zur Aufbereitung von Prozesswässern aus der Herstellung von **Dialysemembranen**. Dafür wird – basierend auf Ergebnissen von Laborversuchen – eine **Pilotanlage** geplant, errichtet und betrieben. Für die automatische Steuerung der Anlage wird ein System mit speicherprogrammierbarer Steuerung (**SPS**), lokaler Datenspeicherung und Fernzugriff entwickelt. Bei der Entwicklung der Prozessregelung für diese Anlage wird die **virtuelle Inbetriebnahme** auf Basis eines **digitalen Zwilling**s der Anlage als Werkzeug genutzt.



## Entwicklung und Implementierung des Steuerungssystems

Basierend auf einem modularen **Maschinen-Controller** (Fa. Omron, NX1) wurde ein Steuerungssystem entwickelt. Prozess- und Energiewerte werden über Analogeingänge oder digital über Modbus-TCP erfasst. Eine **SQL-Datenbank** ist für die Datenspeicherung an die Steuerung gekoppelt und ermöglicht die schnelle **Visualisierung** historischer Daten. Die Vortortbedienung erfolgt über ein Bedienpanel mit mehreren Zugriffsebenen. Über eine VPN-Verbindung kann ein **Remote-Zugriff** auf die Daten und die Steuerung erfolgen. Für die Datenbank und das Bedienpanel sind Webserver mit Zugriffsschutz verfügbar.

## Virtuelle Inbetriebnahme mit digitalem Zwilling

Es wurde ein erstes **Modell der Pilotanlage** mit einem separaten **Modell der Anlagensteuerung** entwickelt. Die Kommunikation der beiden Modelle sowie aller weiteren Kopplungen zwischen Steuerung und **digitalem Zwilling** bzw. Steuerung und Pilotanlage erfolgt über **OPC UA**. Die Erkenntnisse aus der Modellerstellung sind in die Programmierung der Steuerung eingeflossen. So sind z.B. einzelne Funktionsblöcke der Steuerungsprogrammierung direkt mit dem digitalen Zwilling austauschbar. Es bestehen damit vielfältige Test- und Entwicklungserleichterungen. Durch die Kopplung von Steuerung und Anlagenmodell können die Regelkreise sowie Warn- und Alarmfunktionalitäten bereits **vor der Inbetriebnahme** der Pilotanlage getestet und optimiert werden.

Die Entwicklung des digitalen Zwilling erfolgt mit Simba#5 (ifak, Magdeburg). Dieser ist auf einer virtuellen Maschine im Rechenzentrum der Technischen Universität Dresden installiert und über VPN mit der SPS verbunden.

## Ausblick

Nach der Inbetriebnahme der Pilotanlage erfolgt eine Betriebsoptimierung unter Nutzung des Simulationssystems. Außerdem wird der digitale Zwilling zum Anlernen eines Neuronalen Netzes für die Entwicklung von Optimierungslösungen mittels genetischen Algorithmen eingesetzt.

Kontakt:  
Dr. rer. nat. J. Waschull  
Email: joerg.waschull@ilkdresden.de  
Tel.: +49 351 4081 5433



Technische Universität Dresden · Institut für Hydrobiologie

# Einsatz von effektbasierten und chemischen Methoden zur Bewertung Lösungsmittel- und Bisphenol-haltiger Abwässer aus der medizintechnischen Industrie

Verbundvorhaben **Med-zeroSolvent** · Neue Wege im medizintechnischen Wassermanagement – Etablierung innovativer Methoden für die abwasserfreie Produktion durch energieeffiziente Behandlung von stark belasteten Prozesswässern aus der Membranherstellung (Fkz: 02WV1566A) **Arbeitspaket Technologieauswahl**

Sara Schubert<sup>1,2</sup>, Dirk Jungmann<sup>1</sup>, Thomas Schalk<sup>3</sup>, Christian Koch<sup>3</sup>, Heike Brückner<sup>3</sup>, Anja Rollberg<sup>4</sup>, Marie Schnelle<sup>4</sup>, Dirk Freitag-Stechl<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Dresden, Institut für Hydrobiologie · <sup>2</sup>Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät am Carl Gustav Carus Uniklinikum, Institut für Klinische Pharmakologie · <sup>3</sup>Technische Universität Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft · <sup>4</sup>B. Braun Avitum Saxonia GmbH Radeberg · <sup>5</sup>CUP Laboratorien Dr. Freitag GmbH Radeberg

## Ziel

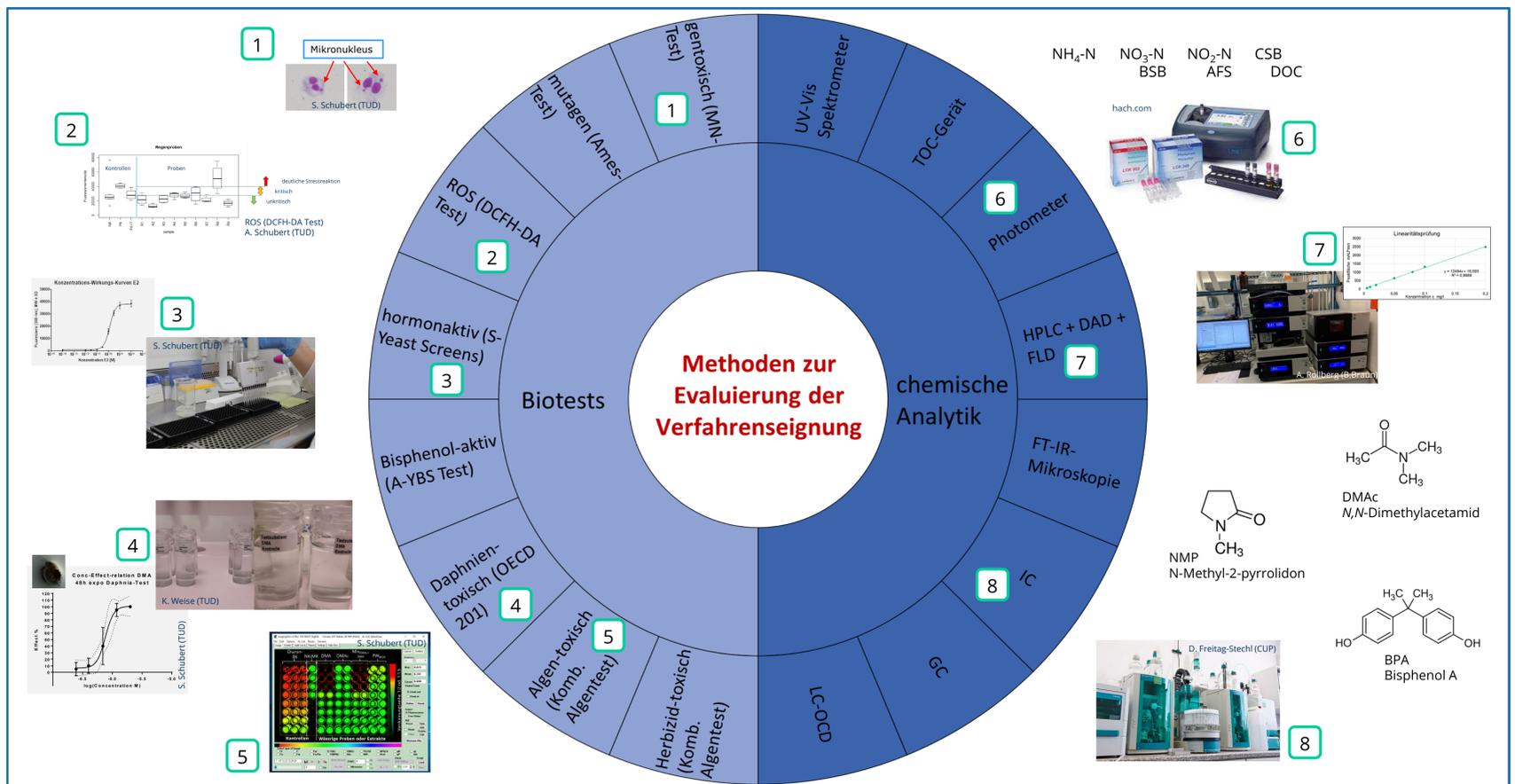
Primäres Ziel des Verbundvorhabens Med-zeroSolvent ist die Entwicklung eines energieoptimierten, mehrstufigen Verfahrens zur **Aufbereitung lösungsmittel- und bisphenolhaltiger Prozesswässer** aus der Herstellung von Dialysemembranen, mit der Möglichkeit, aufbereitete Prozesswässer im Kreislauf zurück in den Herstellungsprozess zu führen.

Weitere wässrige Matrices wie Regenabspülungen oder Proben von umliegenden Oberflächengewässern von 3 Werken in Sachsen werden ebenfalls untersucht.

## Einsatz einer Batterie an effektbasierten und chemischen Methoden

Während der Herstellungsprozesse der Dialysatoren können verschiedene Prozesswässer mit Lösungsmitteln wie N,N-Dimethylacetamid (DMAc) oder N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP), aber auch Bisphenole in unterschiedlichen Konzentrationen anfallen.

Im Rahmen dieses Projektes werden **(I) effektbasierte** und **(II) chemische Methoden** zur Bewertung der unbehandelten und behandelten Prozesswässer und anderer Wässer (wie Regenabspülungen von Gebäuden) entwickelt.



Der Fokus liegt auf der Anwendung:

- (I) einer **in vivo und in vitro Biotestbatterie**, die auf die Erfassung von bspw. hormonaktiven, mutagenen und genotoxischen Effekten zielt und
- (II) einer Batterie an verschiedenen Verfahren zur **Proben-vorbereitung** (wie Filtration und Festphasen-Extraktion) und anschließenden **chemischen Analytikmethoden** zur Quantifizierung der Einzelsubstanzen (target) und abwasserchemischen Parameter (wie CSB, DOC, O<sub>2</sub>).

## Fazit

- **Kombination aus effektbasierten und chemischen Methoden** für Untersuchung eines Aufbereitungsverfahrens von DMAc-haltigen Prozesswässern im Labormaßstab geeignet
- derzeitige Untersuchungen zur Methodeneignung für Laborversuche zu **anderen Zielsubstanzen (NMP, BPA)**
- für Pilotphase Evaluierung zu Untersuchungen unter **variablen Produktionsbedingungen** wie Spitzenbelastungen an DMAc und realen Mischungen, hoher/niedriger Durchfluss oder Temperaturschwankungen notwendig

### Bewertungsmaßstäbe:

- I) Behördliche Vorgaben für Abwasser z.B. für den Restlösungsmittelanteile, Nitrat etc.
- II) Europäisches Arzneibuch (Wasser, DMAc etc.)
- III) Vergleichende Analysen (für Bewertung einer Verbesserung/Verschlechterung des Abbauvermögens)
- IV) Ergebnisse aus nationalen Ringversuchen

**Danksagung:** Für die technische, analytische oder organisatorische Unterstützung danken wir A. Schubert, C. Seifert, J. Isler, K. Weise (alle TUD IHB) und Max Bachofner, Philipp Wockatz, Till Teichert (alle B. Braun). Für die Unterstützung bei der Ressourcenbeschaffung bedanken wir uns bei T. Berendonk (TUD IHB), S. Stolte und H. Börnick (beide TUD IWC). Für die Etablierung und Validierung des kombinierten Algentests bedanken wir uns bei C. Kienle, E. Vermeirssen, A. Schifferli, N. Bramaz (Ökotoxzentrum Schweiz).

**Kontakt:** Dipl.-Biol. Sara Schubert · TUD Institut für Hydrobiologie  
[sara.schubert@tu-dresden.de](mailto:sara.schubert@tu-dresden.de) · Tel.: +49 351 463 33067



# Abbau von Dimethylacetamid (DMAc) mit biologischen Verfahren

Verbundvorhaben **Med-zeroSolvent** · Neue Wege im medizintechnischen Wassermanagement – Etablierung innovativer Methoden für die abwasserfreie Produktion durch energieeffiziente Behandlung von stark belasteten Prozesswässern aus der Membranherstellung (Fkz: 02WV1566A) · **Arbeitspaket Technologieauswahl**

Thomas Schalk<sup>1</sup>, Sara Schubert<sup>2</sup>, Anja Rollberg<sup>3</sup>, Dirk Freitag-Stechl<sup>4</sup>, Christian Koch<sup>1</sup>, Peter Krebs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft

<sup>2</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Hydrobiologie / Medizinische Fakultät am Carl Gustav Carus Uniklinikum, Institut für Klinische Pharmakologie

<sup>3</sup> B. Braun Avitum Saxonia GmbH

<sup>4</sup> CUP Laboratorien Dr. Freitag GmbH

## Einführung

Das Ziel des Vorhabens Med-zeroSolvent besteht in der Entwicklung eines energieoptimierten, mehrstufigen Verfahrens zur Aufbereitung von Prozesswässern aus der Herstellung von Dialysemembranen. Wesentliche Verfahrensbestandteile sind technische und naturnahe Biofilmverfahren für den biologischen Abbau des stickstoffhaltigen organischen Lösungsmittels Dimethylacetamid (DMAc), das die Hauptkomponente des Prozessabwassers bildet. In Laborversuchen wurde zunächst die grundsätzliche Abbaubarkeit von DMAc mit aeroben (zweistufige Vertikalfilter und MBBR-Verfahren, Abbildungen 1A und 2A) und anaeroben Verfahren untersucht.

## Ergebnisse

### Zweistufiger Vertikalfilter

Neben dem Einfluss unterschiedlicher Korngrößengemische auf den Abbau wurde der Einfluss der TOC-Zulaufkonzentration auf die TOC-Ablaufkonzentration untersucht sowie die Vergleichbarkeit synthetischer DMAc-Gemische und realer Prozesswässer. Der TOC-Wirkungsgrad erreichte i. M. 98 % (Abbildung 1B) bei vollständiger Nitrifikation des zugeführten Stickstoffs. Belastungsabhängig wurden bis zu 60 % des zugeführten Stickstoffs denitrifiziert. Die Belastung der 1. Stufe lag zwischen 160 und 320 g CSB/(m<sup>2</sup> d) bzw. bei 14 bis 28 g N/(m<sup>2</sup> d). Als geeignet hat sich, in Anlehnung an das DWA-A 262, ein Aufbau mit einer Korngröße von 2/8 mm (1. Stufe) und 0/2 mm (2. Stufe) erwiesen.

### MBBR

Prinzipiell können mit MBBR vergleichbare Abbauraten erreicht werden (i. M. = 93 %, Abbildung 2B), wie mit zweistufigen Vertikalfiltern. Allerdings führte der Anstieg des pH-Wertes im Gegensatz zu den Vertikalfiltern zu einer deutlichen Abbauhemmung ab pH-Werten von > 9 (Abb. 2C). Für eine Stabilisierung des Anlagenbetriebs ist eine pH-Wert-Regelung erforderlich. Die Flächenbelastung der Aufwuchskörper lag zwischen 2,5 und 16 kg CSB/(m<sup>2</sup> d).

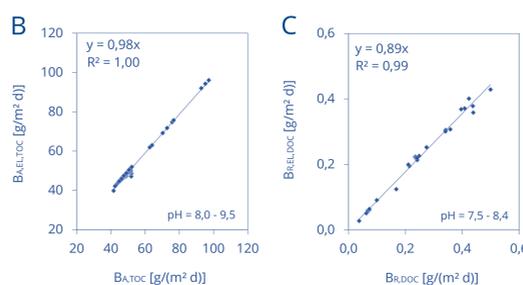


Abbildung 1: (A) Zweistraßige Laborversuchsanlage zum Abbau von DMAc in zweistufigen Vertikalfiltern, (B) TOC-Wirkungsgrad beim Abbau von DMAc in Vertikalfiltern, (C) DOC-Wirkungsgrad beim Abbau von DMAc in Anaerobreaktoren

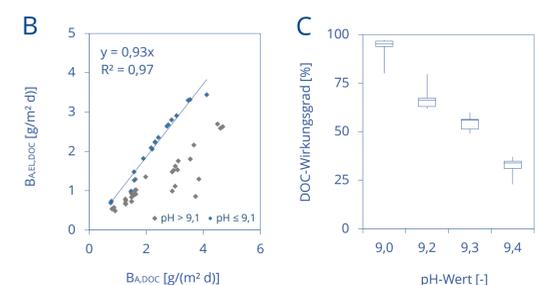


Abbildung 2: (A) Laborversuchsanlage zum Abbau von DMAc in Moving-Bed-Biofilm-Reaktoren, (B) DOC-Wirkungsgrad beim Abbau von DMAc in MBBR, (C) pH-Wert-Abhängigkeit des DOC-Abbaus in MBBR

### Anaerobe Versuche

DMAc wurde bei einer hydraulischen Verweilzeit von 25 d bis zu einer Raumbelastung von 1 kg CSB/(m<sup>3</sup> d) bzw. 0,5 kg DOC/(m<sup>3</sup> d) abgebaut (Abbildung 1C). Als Impfschlamm wurde kommunaler Faulschlamm eingesetzt. Im Einfahrbetrieb lag die Raumbelastung bei 0,1 - 0,2 kg CSB/(m<sup>3</sup> d). Höhere Werte können zur Anreicherung von DMAc ohne nennenswerten Abbau führen.

Zur Begrenzung des Biomasseaustrags wurde der Versuch mit Schlammrückführung durchgeführt. Die NH<sub>4</sub>-N-Konzentration stieg im Versuchsverlauf auf bis zu 2,3 g/L. Eine Ammoniakhemmung wurde im untersuchten Belastungsbereich allerdings nicht festgestellt.

### Fazit

DMAc ist anaerob und aerob abbaubar. Als primäres Abbauprodukt entsteht DMA. Im Gegensatz zu DMAc ist DMA im Einfahrbetrieb länger nachweisbar als DMAc. Vertikalfilter haben sich von den untersuchten aeroben Verfahren als am stabilsten erwiesen. Während die mit den aeroben Verfahren gewonnenen Ergebnisse in die Pilotphase einfließen, dient die Untersuchung anaerober Verfahren als Vergleichsgrundlage für die Verfahrensbewertung und zur Aufstellung alternativer Verfahrensketten.

Kontakt:  
Dr.-Ing. T. Schalk  
Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft  
Email: [thomas.schalk@tu-dresden.de](mailto:thomas.schalk@tu-dresden.de)  
Tel.: +49 351 46333684

