

**forum** 89

Mitteilungsblatt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

**JAHRESBERICHT DES  
LEHRSTUHL FÜR  
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT  
2018**

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Am Coulombwall 3  
85748 Garching

Tel. +49.89.289.13701  
Fax +49.89.289.13718

<http://www.sww.bgu.tum.de/>  
[sww@tum.de](mailto:sww@tum.de)

## Inhalt

<b>VORWORT</b> .....	<b>1</b>
<b>VERSUCHSANSTALT DES LEHRSTUHL</b> .....	<b>3</b>
N <sub>2</sub> O VERMEIDUNG BEI DER BEHANDLUNG HOCH STICKSTOFFREICHER ABWÄSSER .....	4
<b>CHEMISCH-PHYSIKALISCHES, ANALYTISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES LABOR</b> .....	<b>5</b>
<b>ARBEITSGRUPPE KANALNETZ- UND REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG</b> .....	<b>7</b>
STRATEGIE ZUR NUTZUNG EINER AMMONIUMBETONTEN-N-ERNÄHRUNG ZUR VERBESSERUNG DER P-VERSORGUNG JUNGER PFLANZEN AUS SCHWERLÖSLICHEN P-DÜNGERN SOWIE DEM P-BODENVORRAT ZUR MINIMIERUNG DES EINTRAGS VON N UND P AUS LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN IN GEWÄSSER.....	8
PRAXISERFAHRUNG ZUM UMGANG MIT DEZENTRALEN BEHANDLUNGSANLAGEN FÜR VERKEHRSFLÄCHENABFLÜSSE .....	9
NUTZWASSERWIEDERVERWENDUNG FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE UND URBANE BEWÄSSERUNG IN UNTERFRANKEN.....	10
PRAXISERFAHRUNG ZUM UMGANG MIT DEZENTRALEN BEHANDLUNGSANLAGEN FÜR VERKEHRSFLÄCHENABFLÜSSE .....	11
<b>ARBEITSGRUPPE ENERGIEEFFIZIENTE ABWASSERBEHANDLUNG</b> .....	<b>12</b>
OPTIMIERUNG DER MIKROBIOLOGISCHEN METHANISIERUNG IN THERMOPHILEN ANAEROBEN RIESELBETTREAKTORN.....	13
STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ BEI DER ABWASSERREINIGUNG DURCH INNOVATIVE ULTRASCHALLDESINTEGRATION ...	14
ERHÖHTE METHANPRODUKTIVITÄT IN BIOGASANLAGEN DURCH CO <sub>2</sub> -ANREICHERUNG .....	15
ERZEUGUNG VON LACHGAS AUS ABWASSER .....	16
<b>ARBEITSGRUPPE WEITERGEHENDE WASSERBEHANDLUNG</b> .....	<b>17</b>
UNTERSUCHUNG DES MIKROBIELLEN ABBAUS VON SPURENSTOFFEN BEI DER GRUND WASSERANREICHERUNG .....	18
ENTWICKLUNG VON STRATEGIEN ZUR ERFASSUNG UND ZUM MANAGEMENT NEUARTIGER SCHADSTOFFE BEI DER INDIREKTEN WASSERWIEDERVERWENDUNG ZUR STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG .....	19
PLANUNGSOPTIONEN UND TECHNOLOGIEN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG ZUR STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG IN URBANEN WASSERKREISLÄUFEN .....	20
STATUS QUO EINER UNGEPLANTEN WIEDERVERWENDUNG VON BEHANDELTEM KOMMUNALABWASSER IN DEUTSCHLAND ( <i>DE FACTO REUSE</i> ).....	21
UV-LED BASIERTE WASSERDESINFEKTION: SYNERGIE- UND WASSERMATRIXEFFEKTE .....	22
URBAN WATER-ENERGY-FOOD NEXUS.....	23
<b>ARBEITSGRUPPE MEMBRANFILTRATION</b> .....	<b>24</b>
ENTWICKLUNG EINES UV-BESTRAHLUNGSSYSTEMS ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ VON UMKEHR-OSMOSE-MEMBRANVERFAHREN ZUR WASSERAUFBEREITUNG.....	25
ENERGIEEFFIZIENTE VERFAHRENSKOMBINATIONEN BEIM WASSERRECYCLING MIT DEM ZIEL DER TRINKWASSERVERSORGUNG .....	26
KOMMUNALE ABWASSERBEHANDLUNG MIT UMKEHROSMOSE-MEMBRANVERFAHREN, BIOFILTRATION UND UV-AOP ZUR WASSERWIEDERVERWENDUNG .....	27
OPTIMIERUNG REGULATIVER UND OPERATIVER RAHMENBEDINGUNG ZUM DYNAMISCHEN BETRIEB VON KLÄRANLAGEN ZUR SPURENSTOFFENTFERNUNG.....	28
<b>ARBEITSGRUPPE MIKROBIELLE SYSTEME</b> .....	<b>29</b>
<b>ARBEITSGRUPPE SPURENSTOFFE IN DER UMWELT</b> .....	<b>30</b>
MASSENSPEKTROMETRISCHE UNTERSUCHUNG ENZYMATISCHER REAKTIONEN - CHARAKTERISIERUNG, MINIATURISIERUNG UND ANWENDUNG FÜR UMWELTPROBEN.....	31

# Inhaltsverzeichnis

FOR-IDENT – NEUE STRATEGIEN UND WORKFLOWS IM BEREICH DES „HIDDEN-TARGET SCREENINGS“ .....	32
NEUE ANALYTISCHE STRATEGIEN ZUR BESTIMMUNG ANTHROPOGENER SPURENSTOFFE IN PFLANZEN : PFLANZLICHE BIOMONITORE FÜR VERUNREINIGUNGEN IN DER UMWELT .....	33
ANALYTIK UND UMWELTVERHALTEN VON MIKROPLASTIK.....	34
SUB $\mu$ TRACK – INNOVATIVE ANALYSEMETHODEN FÜR SUBMIKROPLASTIK.....	34
MiPAQ – FORSCHUNGSPROJEKT ZU MIKROPLASTIK IN GEWÄSSERN UND LEBENSMITTELN.....	35
VALIDIERUNG DER ANALYSEMETHODEN FÜR MIKRO & SUBMIKROPLASTIK IN UMWELTMATRICES .....	36
<b>WEITERE (FORSCHUNGS)AKTIVITÄTEN .....</b>	<b>37</b>
NEXUS OF WATER, FOOD AND ENERGY.....	37
YOUNG WATER REUSE PROFESSIONALS (YWRP) .....	37
<b>EXTERNE DOKTORANDEN .....</b>	<b>38</b>
<b>GASTWISSENSCHAFTLER .....</b>	<b>42</b>
<b>INTERNATIONALE KOOPERATIONSPARTNER .....</b>	<b>44</b>
<b>NATIONALE/INTERNATIONALE GREMIENARBEIT .....</b>	<b>45</b>
WATER REUSE SPECIALIST GROUP (IWA) .....	45
DWA-ARBEITSGRUPPEN .....	45
WASSERCHEMISCHE GESELLSCHAFT DER GdCh .....	45
ZEITSCHRIFT INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH – GAST-EDITORIN .....	45
ZEITSCHRIFT JOURNAL OF WATER REUSE AND DESALINATION – EDITOR .....	46
ZEITSCHRIFT WATER SOLUTIONS – EDITOR .....	46
<b>NACHWUCHSFÖRDERUNG / WORKSHOPS / SONSTIGE AKTIVITÄTEN .....</b>	<b>47</b>
2. INTERNATIONALER BATCHTEST-WORKSHOP .....	47
ZWEITER TUM SOMMERKURS.....	48
46. ABWASSERTECHNISCHES SEMINAR (ATS) .....	49
SCIENCLISTEN .....	50
BETRIEBSAUSFLUG IM SOMMER 2018.....	50
<b>VERANSTALTUNGEN IN 2019 .....</b>	<b>51</b>
30. WASSERTECHNISCHES SEMINAR .....	51
47. ABWASSERTECHNISCHES SEMINAR.....	52
<b>PUBLIKATIONEN .....</b>	<b>53</b>
<b>DISSERTATIONEN UND AUSZEICHNUNGEN .....</b>	<b>60</b>
<b>LEHRE.....</b>	<b>62</b>
<b>FÖRDERGESELLSCHAFT DES LEHRSTUHL FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT E.V.....</b>	<b>64</b>
<b>MITARBEITERINNEN.....</b>	<b>65</b>
<b>KONTAKT .....</b>	<b>69</b>



**JÖRG E. DREWES**  
(PROF. DR.-ING.)

089/28913713  
JDREWES@  
TUM.DE

## Vorwort

---

*Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls,*

Ich freue mich, Ihnen mit dieser Ausgabe unseren Jahresbericht 2018 überreichen zu können. Das vergangene Jahr brachte für uns einige personelle Veränderungen und damit verbundene Anpassungen, war aber auch durch spannende Forschungsaktivitäten und erfreuliche Drittmittelwerbungen gekennzeichnet. Die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls sind weiterhin sehr aktiv die gewonnenen Erkenntnisse auch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu publizieren. Ganz besonders freuen wir uns für Frau Dr. Therese Burkhardt, Herrn Dr.-Ing. Max Weißbach, Frau Dr. Lara Stadlmair, Herrn Dr. Vasilis Dandikas und Herrn Dr.-Ing. David Miklos für den erfolgreichen Abschluss ihrer Promotionen im vergangenen Jahr. Herr Dr.-Ing. Konrad Koch konnte zum Ende letzten Jahres seine Habilitation abschließen, was uns ganz besonders gefreut hat. Eine besondere Ehre wurde Herrn Dominik Häring zu teil, der für seine Masterarbeit den H.P. Scholz Preis 2018 erhielt. Wir gratulieren noch einmal ganz herzlich.

Im vergangenen Jahr wurden wir durch einige neue DoktorandInnen verstärkt, die sich Ihnen in diesem Jahresbericht mit ihren anderen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl vorstellen. Auch in diesem Jahr genossen wir wieder den direkten Austausch mit GastwissenschaftlerInnen aus Australien, China, Tschechien und den USA, von denen einige uns mehrere Monate besuchten. Aufbauend auf den vielfältigen Diskussionen freuen wir uns, diese Kontakte durch laufende und zukünftige Forschungsaktivitäten und Gegenbesuche weiter auszubauen.

Im Juli 2018 fand das 46. Abwassertechnische Seminar (ATS) mit dem Thema „Innovative Strategien zum Umgang mit Klärschlamm“ statt, das federführend von Dr.-Ing Konrad Koch organisiert wurde. Das 47. ATS zum Schwerpunkt „Weitergehende Abwasserbehandlung – Anforderungen, Finanzierung und Umsetzung“ ist für den 3. Juli 2019 in Ismaning geplant und wird von Herrn Dr. Hübner organisiert. Nach einigen Jahren der Abstinenz greifen wir in diesem Jahr die lange Tradition der Wassertechnischen Seminare (WTS) wieder auf. Das 30. WTS wird am 13. Februar 2019 in München stattfinden und sich dem aktuellen Thema „Strategien für den Umgang mit Grundwasserkontamination durch perfluorierte Verbindungen (PFCs)“ widmen. Das 30. WTS wurde von Herrn Dr. Knoop federführend organisiert. Die Programme für diese Veranstaltungen finden Sie auf unserem Webportal, auf dem Sie sich auch online anmelden können ([www.sww.bgu.tum.de/ats](http://www.sww.bgu.tum.de/ats)). Über Ihr Interesse an diesen Veranstaltungen würden wir uns sehr freuen.

Der Lehrstuhl leistete auch im vergangenen Jahr wesentliche Beiträge in der Ausbildung der Studierenden in den Bachelorstudiengängen Umweltingenieurwesen und Bauingenieurwesen sowie in den Masterstudiengängen Environmental Engineering, Civil Engineering, Environmental Planning and Engineering sowie Sustainable Resource Management. Neben einer Vielzahl von Vorlesungen, Übungen und Praktika betreuten die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls mehr als 79 Masterarbeiten, Studien- und Bachelorarbeiten. Im letzten Jahr haben wir die Bachelorstudiengänge

Umweltingenieurwesen und Bauingenieurwesen sehr substantiell revidiert, die im WS19/20 im neuen Format starten werden (mehr dazu auf [www.umwelt.bgu.tum.de](http://www.umwelt.bgu.tum.de)).

National engagierten sich unsere MitarbeiterInnen bei etlichen Arbeitskreisen der DWA, der Wasserchemischen Gesellschaft der GdCh sowie international in den NORMAN Arbeitskreisen auf europäischer Ebene und bei der International Water Association (IWA). Ich wurde darüber hinaus im vergangenen Jahr in die Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit berufen.

Das Jahr 2018 brachte einige personelle Veränderung mit sich. Die Leitung der Arbeitsgruppe „Mikrobiologische Systeme“ und des mikrobiologischen Labors wurde von Herrn Dr. Christian Wurzbacher zum 1.3.2018 übernommen. Wir freuen uns, dass wir Herrn Dr. Oliver Knoop gewinnen konnten, die Leitung des Spurenstofflabors zum 1. April 2018 zu übernehmen. Wie früher schon einmal erwähnt, beschränkt uns das neue Wissenschaftszeitgesetz erfahrene Wissenschaftler im akademischen Mittelbau über eine bestimmte Zeit weiter zubeschäftigen. Diese fehlende Perspektive war bedauerlicherweise der Grund, warum uns Frau Dr. Carolin Heim Ende Dezember 2018 verlassen hat, um einer Tätigkeit beim Helmholtz Zentrum München nachzugehen. Wir wünschen Frau Heim alles Gute in ihrer neuen Position. Die Leitung des chemischen Labors werden wir zum 11.02.2019 neu besetzen. Mehr Informationen zur Neuaufstellung dieser Arbeitsbereiche erfahren Sie diesem Bericht.

Im Namen meiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter möchte ich mich ganz herzlich für Ihre Unterstützung und Ihr Interesse an unseren Studierenden und unserer Arbeit bedanken. Wir danken insbesondere auch für die Unterstützung unseres Fördervereins, der bei der Finanzierung von Reisen zur Teilnahme an Konferenzen sowie durch Beihilfen für Forschungsarbeiten einen ganz wichtigen Beitrag in der Ausbildung unserer Doktoranden und Studierenden leistet.

Wir würden uns sehr freuen, wenn wir auch dieses Jahr durch Ihre Spende diese Unterstützungen für unsere Doktoranden und Studierenden bereitstellen können.

Wir wünschen Ihnen ein erfolgreiches Jahr und viel Freude beim Lesen.

Ihr,





**BRIGITTE  
HELMREICH**  
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913719  
B.HELMREICH  
@TUM.DE



**CLAUS  
LINDENBLATT**  
(DIPL.-ING.)

089/28913704  
C.LINDENBLATT  
@TUM.DE

## Versuchsanstalt des Lehrstuhls

Die Versuchsanstalt des Lehrstuhls führt Prozessvalidierungen für Trinkwasser- und Abwasseraufbereitungen im Labor- und Pilotmaßstab durch und übernimmt Material-, Anlagen- und Verfahrensuntersuchungen sowie Auftragsarbeiten für Industrie, mittelständische Betriebe und Behörden in Forschung und Entwicklung. Sie verfügt über ein Technikum (400 m<sup>2</sup>) und Versuchsfeld mit direktem Anschluss an die kommunale Kläranlage Garching. Dieser Anschluss ermöglicht es neben der Untersuchung von Trinkwasser kommunales Abwasser in verschiedenen Qualitäten für unterschiedliche Fragestellungen einzusetzen. Die Versuchsanstalt wird von Frau Prof. Dr. Helmreich geleitet.

Für Versuche stehen diverse Labor- und halbtechnische Versuchsanlagen mit Behältergrößen von 30 bis 800 L zur Verfügung. So können z.B. Verfahrensprozesse oder Trinkwasser- und Abwasserbehandlungsanlagen bis in den Anwendungsmaßstab entwickelt und validiert werden. Für die weitergehende Abwasserbehandlung stehen Anlagen zur Oxidation (Ozon, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) sowie zur Membranfiltration (Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose) zur Verfügung (Abb. 1).

Ebenso hat die Versuchsanstalt verschiedenste Möglichkeiten, Behandlungsanlagen für Dach- und Verkehrsflächenabflüsse zu entwickeln, weiter zu optimieren oder zu überprüfen. Hier stehen im Labormaßstab sowohl klassische Schüttelversuche wie auch Säulen in unterschiedlichster Dimension zur Verfügung, um Sorptionskapazitäten für Schwermetalle und auch organische Stoffe zu ermitteln. Im halbtechnischen Maßstab können an einem Testfeld bestehend aus einem Kupferdach und notwendigen Probenehmern, Regenschreibern und Durchflussmessern dezentrale Behandlungsanlagen für Kupferdachabflüsse bezüglich ihrer Leistung und Standzeit untersucht werden. Zusätzlich ermöglicht ein halbtechnischer Versuchsaufbau in der Versuchsanstalt die Überprüfung von Standzeiten für Filtersubstrate zur Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen. Im Zuge dessen werden auch klassische Siebanalysen, Schüttdichten, etc. der eingesetzten Materialien nach genormten Verfahren analysiert.



Abb. 1: Nanofiltrationspilotanlage  
(80 L/min)

Kationenaustauschkapazitäten,



**CLAUS  
LINDENBLATT**  
(DIPL.-ING.)

089/28913704  
C.LINDENBLATT  
@TUM.DE

## **N<sub>2</sub>O Vermeidung bei der Behandlung hoch stickstoffreicher Abwässer**

### **Zweistufige oder einstufige Verfahren**

Bezogen auf den Stickstoffabbau ergeben sich bei den N<sub>2</sub>O Emission größere Unterschiede bei der zweistufigen Behandlung mit Nitritation als erster Stufe gegenüber der einstufigen Deammonifikation. In mehreren Untersuchungen zur Behandlung von Zentraten aus der Vergärung, mit NH<sub>4</sub>-N Konzentrationen von ~1,4 g/L, wurde seit dem Jahr 2015 N<sub>2</sub>O im Reaktor und in der Abluft gemessen. Zum Vergleich sind bei den hier vorgestellten Messungen im Jahr 2018 die Nitritation im Kontakt-Prozess mit kontinuierlicher Beschickung und Nachklärung, sowie die einstufige Deammonifikation im SBR gegenübergestellt.

### **Verschiedene Milieubedingungen**

Während bei der Nitritation mehr als 700 mg/L NO<sub>2</sub>-N im Reaktor vorliegen und die weitergehende Stickstoffentfernung einen zweiten Reaktor erfordert, beträgt bei der einstufigen Deammonifikation mit einer N<sub>ges</sub>-Reduktion von 460 g/(m<sup>3</sup>·d) die NH<sub>4</sub>-N Ablaufkonzentration etwa 60 mg/L und NO<sub>2</sub>-N liegt bei weniger als 2 mg/L. Es zeigte sich, dass bei der Nitritation mit kontinuierlicher Belüftung das pH-Niveau sinkt und zu dessen Stabilisierung die Belüftung in Intervallen erfolgt. Allerdings ist bei den Intervallzeiten auf die Stellantriebe der Luftversorgung zu achten, deren Schließzeiten in der Praxis oft mehr als 10 min dauern können.

### **Mehr Lachgas bei hohen Nitritkonzentrationen**

N<sub>2</sub>O steigt bei der Nitritation während der anoxischen Phasen im Wasser um mehr als 4,2 µmol/(L·min) permanent an und wird dann als N<sub>2</sub>O mit der Belüftung ausgestrippt. In der Gasphase liegen bei der Nitritation mit kontinuierlicher Luftzufuhr 600 ppm N<sub>2</sub>O vor, die nach längeren anoxischen Phasen kurzzeitig bis auf über 3.200 ppm ansteigen können. Bei der Deammonifikation mit sehr geringer NO<sub>2</sub>-N Konzentration liegt N<sub>2</sub>O im Wasser unter 30 µmol/L und die Mittelwerte im Gas bei 50 ppm N<sub>2</sub>O. Bezogen auf gleiche NH<sub>4</sub>-N Abbauleistungen zeigen die Ergebnisse, dass bei der Behandlung hoch stickstoffreicher Abwässer mit der einstufigen Deammonifikation die N<sub>2</sub>O Emissionen um mehr als 90 % geringer sein können.



**CAROLIN HEIM**  
(DR. RER. NAT.)

089/28913702  
C.HEIM@TUM.DE



**OLIVER KNOOP**  
(DR. RER. NAT.)

089/28913702  
O.KNOOP  
@TUM.DE

## Chemisch-physikalisches, analytisches und mikrobiologisches Labor

Das Labor ist eine zentrale Einrichtung der Versuchsanstalt und des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft. Es wird in die Bereiche chemisch-physikalisches Labor, Spurenstoffanalytik und mikrobiologisches Labor eingeteilt, die jeweils von Dr. Carolin Heim (bis 12/18), Dr. Oliver Knoop und Dr. Christian Wurzbacher geleitet werden.

Das chemisch-physikalische Labor ist mit modernsten analytischen Geräten ausgestattet, die eine Analyse aller relevanter Standardparameter sowohl für Trink- als auch für Abwasser erlauben. Neben der Charakterisierung von Wasserproben über Summenparameter wie CSB und BSB (Abb. 2) können organische Verbindungen mittels 3-D Fluoreszenz und UV-Spektroskopie genauer untersucht und über den TOC auch quantitativ erfasst werden. Für die Bestimmung von Anionen stehen photometrische Testmethoden zur Verfügung, die Analytik von Metallen erfolgt mittels Atomabsorptionsspektroskopie.

Die Charakterisierung und Identifizierung von organischen Molekülen aus wässrigen Proben in der Spurenstoffanalytik (Target Screening) kann mit Hilfe von chromatographischen Trenntechniken gekoppelt mit hoch-sensitiven massenspektrometrischen Detektionsverfahren (LC-MS/MS) durchgeführt werden. Leichtflüchtige organische Substanzen und Mikroplastik-Partikel können mit Hilfe von Headspace-GC-FID bzw. eines Thermodesorptions-Pyrolyse-GC-MS erfasst werden.

Das mikrobiologische Labor verfügt über konventionelle Kultivierungstechniken zur Bestimmung der für die hygienische Wasserqualität relevanten fäkalen Indikatorkeime (*E. coli* und Enterokokken) und pathogenen Bakterien (z.B. *Pseudomonas aeruginosa* und *Legionella spp.*).



Abb. 2: Bestimmung von Einzel- und Summenparametern über Küvetten-Schnelltests mit Hilfe des Photometers von HACH.



Abb. 3: QTRAP-MS-System von ABSciex für die hochsensitive Detektion von Spurenstoffen



**CHRISTIAN  
WURZBACHER**  
(DR. RER. NAT.)

089/28913797  
C.WURZBACHER  
@TUM.DE

Weiterhin ist eine Fluoreszenzmikroskopie zum quantitativen Nachweis von aktiven und toten Mikroorganismen möglich. Bakterielle Zellzahlen, Antibiotikaresistenzgene und bestimmte Bakteriengruppen wie z.B. Enterokokken werden mit der quantitativen real-time Polymerasekettenreaktion (qPCR) erfasst. Zur Charakterisierung von mikrobiellen Gemeinschaften und Mikrobiomen aus aquatischen Systemen kommen Hochdurchsatzsequenzierungstechnologien auf der Basis von RNA oder DNA zum Einsatz. Weiterhin verfügt der Lehrstuhl über eine Stammsammlung an Mikroorganismen (Bakterien & Pilze) aus technischen Systemen, die für weiterführende Experimente verwendet werden können.



*Abb.4: Links: PCR und qPCR-System zum Amplifizieren und Quantifizieren von ausgewählten Genen. Rechts: Mikrobielle Kulturen für Experimente*



**BRIGITTE  
HELMREICH**  
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913719  
B.HELMREICH  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Kanalnetz- und Regenwasserbewirtschaftung

Die Arbeitsgruppe Kanalnetz- und Regenwasserbewirtschaftung beschäftigt sich mit Strategien zur Zustandsbewertung und Sanierung von Kanalsystemen, insbesondere aber mit einem nachhaltigen Regenwassermanagement. Durch die Herausforderungen, die der Klimawandel aber auch der demographische Wandel mit sich bringen, müssen neue Konzepte entwickelt werden, um auf diese Veränderungen nachhaltig reagieren zu können. Ein Schwerpunkt ist dabei die dezentrale Bewirtschaftung von Abflüssen befestigter Flächen, um Starkregen-Peaks und damit Mischwasserüberläufen entgegen zu wirken, aber auch Schadstoffe aus den Abflüssen befestigter Flächen vor Ort zu erfassen und zu entsorgen.



*Abb. 5: Behandlung von  
Zink-Dachabflüssen über  
Versickerungsmulden*

Dezentralen Behandlungsanlagen für Metaldach- und Verkehrsflächenabflüsse werden hierfür entwickelt und evaluiert. In diesem Rahmen werden auch Prüfungen von Behandlungsanlagen von Metaldachabflüssen nach den „Prüfkriterien zur vorläufigen Beurteilung von Versickerungsanlagen zum Rückhalt von Metallionen aus Niederschlagsabflüssen von Metaldächern“ des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) vom 30.6.2008 (AZ:66-4402-26060/2008) für Firmen durchgeführt.

Derzeit wird im Rahmen eines vom Bayerischen Landesamt für Umwelt finanzierten Forschungsvorhaben in Kooperation mit der Landeshauptstadt München ein praxisbezogenes Projekt zur Untersuchung des Betriebsverhaltens von ausgewählten dezentralen Behandlungsanlagen durchgeführt. Diese Untersuchungen sind u.a. sehr wertvoll für das neue Merkblatt der DWA-M 179, das sich mit solchen dezentralen Behandlungsanlagen beschäftigt. Ebenso wurde ein Projekt gestartet, dass sich mit der Komplexierung von Bioziden aus Gebäudefassaden mit Schwermetallen von Regenrinnen beschäftigt.



**MANUEL BOPPEL**  
(B.Sc.)

089/28913701  
MANUEL.BOPPEL  
@TUM.DE



**FLORIAN  
EBERTSEDER**  
(M.Sc.)

BIS 10/18  
FLORIAN.  
EBERTSEDER  
@TUM.DE

*KOOPERATION:*  
LEHRSTUHL FÜR  
PFLANZENERNÄH-  
RUNG, TUM;  
HOCHSCHULE  
WEIHENSTEPHAN-  
TRIEDORF,  
HSWT

## Strategie zur Nutzung einer ammoniumbetonten-N-Ernährung zur Verbesserung der P-Versorgung junger Pflanzen aus schwerlöslichen P-Düngern sowie dem P-Bodenvorrat zur Minimierung des Eintrags von N und P aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer

In der Landwirtschaft sind die Nährstoffe P und N zur Pflanzenernährung essentiell. Wobei Stickstoff in Form von Ammonium und nach der Nitrifikation als Nitrat pflanzenverfügbar vorliegt und somit auch das Risiko von Verlusten erhöht ist, was zu einer Verschlechterung der Grundwasserqualität beiträgt. Die P-Gehalte in den Böden sind hingegen zum größten Teil immobil. Dies führt unter anderem auch dazu, dass vor allem durch partikelgebundenen Transport (Erosion) P von den Flächen verlagert wird und es somit zur Eutrophierung von Gewässern kommt. In den letzten Jahren wurden sogenannte Nitrifikationshemmstoffe entwickelt, welche die Ammoniumphase eines Düngers über 4 bis 6 Wochen verlustmindernd stabilisieren können.

Es gibt erste Erkenntnisse, dass eine räumliche Nähe von Ammonium, Nitrifikationshemmstoff und schwerer löslichem Phosphat im Dünger oder im Boden einen weiteren Nutzen generieren könnte, nämlich eine bessere Verwertung schwerer löslicher P-Verbindungen. Das detaillierte Wissen über die Wirkmechanismen auch im Zusammenhang mit sogenannten Biostimulantien fehlt jedoch noch weitgehend. Ein ganz wesentlicher Aspekt ist hierbei die Nutzung der pH Abhängigkeit des P-Angebotes in der Bodenlösung (optimal pH 5 bis 6,5).



*Abb. 6: Gefäßversuch im Gewächshaus mit unterschiedlichen Böden sowie den Kulturen Mais (*Zea mays*) und Raps (*Brassica napus*)*

Grundsätzlich könnten auf diesem Wege drei insgesamt ökonomisch und ökologisch relevante Ziele erreicht werden:

1. Die Nutzung von bisher schlechter pflanzenverfügbarem P an sich;
2. Die Minderung der P-Reserven in den Böden und damit verbunden der Belastung von Gewässern durch Verluste aus der Fläche und
3. Die Nutzung alternativer P-Quellen zur Erzielung der Teilschließung des P-Kreislaufes.



**STEFFEN  
ROMMEL**  
(M.Sc.)

089/28913733  
S.ROMMEL  
@TUM.DE

## Praxiserfahrung zum Umgang mit dezentralen Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse

Im Zuge des vorausschauenden Wassermanagements werden Niederschlagsabflüsse von Verkehrsflächen regelmäßig vor Ort versickert. Aufgrund von verkehrsbedingten Emissionen, atmosphärischen Verunreinigungen und temporären punktuellen Einträgen (Unfall/Baustelle/Veranstaltung) können diese zum Teil stark mit Schadstoffen z.B. Schwermetallen und organischen Stoffen verunreinigt sein.



*Abb. 7: Dezentrale Behandlungsanlage von  
Strassenentwässerungsabläufen*

Im urbanen Raum muss die Rolle des bewachsenen Oberbodens aufgrund der oftmals beschränkten Flächen mit technischen Lösungen erwirkt werden. Hierdurch ist ein effizienter Schutz vor Kontamination des Boden-/Grundwassersystems nötig. Außer zahlreichen Laboruntersuchungen gibt es jedoch bisher wenige wissenschaftlich dokumentierte Erfahrungen zum Verhalten von dezentralen Behandlungsanlagen im Praxisbetrieb.

Ziel des Forschungsvorhaben ist es daher, unabhängige praxisorientierte Untersuchungen an dezentralen Behandlungsanlagen mit Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBT) durchzuführen. Hierzu werden in der Landeshauptstadt München drei Behandlungsanlagen (zwei Schacht- und ein Rinnensystem) mit verschiedenen Wirkprinzipien an einer stark befahrenen Straße unter gleichen Einflussbedingungen errichtet und für den Zeitraum von eineinhalb Jahren betrieben, um saisonale Einflüsse für den Betrieb zu erfassen. Neben (Schad-)Stoffanfall, -rückhalt und -remobilisierung unter Streusalzeinfluss und Dauer(ein)stau werden betrieblichen Aspekte erfasst und untersucht. Dabei wird ein Monitoring von bisher unzureichend untersuchten Stoffen wie Antiklopfmittel (MTBE/ETBE), Cyaniden aus Streusalzen und Feinpartikeln (AFS63) integriert.

*FÖRDERUNG:*  
BAYERISCHES  
LANDESAMT FÜR  
UMWELT;  
LANDESHAUPT-  
STADT MÜNCHEN



**CHRISTOPH  
SCHWALLER**  
(M.Sc.)

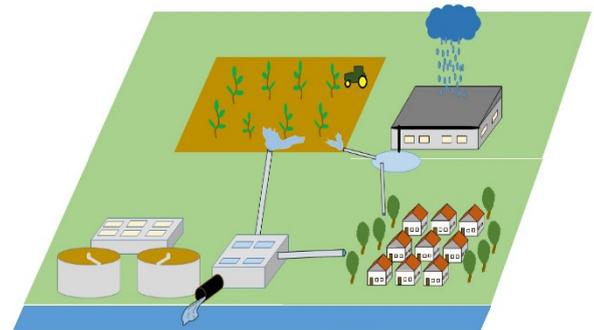
089/28913733  
C.SCHWALLER  
@TUM.DE

## Nutzwasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Bewässerung in Unterfranken

Die zunehmende Urbanisierung und der Klimawandel haben weltweit erhebliche Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung. Insbesondere die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit in Regionen, welche noch nicht durch mangelnde Wasservorräte gekennzeichnet sind, könnten durch Ansätze wie Nutzwassergewinnung und -wiederverwendung überwunden werden.

Die Region Unterfranken in Deutschland mit einem Jahresniederschlag von ca. 450 mm zeichnet sich durch begrenzte Wasserressourcen und einen konkurrierenden Wasserbedarf aus, der in der jüngeren Vergangenheit von der Landwirtschaft, der Industrie, der öffentlichen Trinkwasserversorgung und der Erhaltung des ökologischen Mindestabflusses geprägt ist. Der Klimawandel wird diese Situation weiter verschärfen.

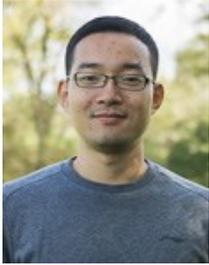
Ziel dieser Studie ist es daher, die Machbarkeit einer langfristigen Nutzwassergewinnung für die landwirtschaftliche und urbane Bewässerung in dieser Region zu bewerten, um das Portfolio konventioneller Wasserressourcen zu erweitern.



*Abb. 8: Konzept der Nutzwassersammlung und -anwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung*

Die Studie beginnt mit einer umfassenden Bewertung der verfügbaren Abwasser- und Regenwasserabflussmengen, die möglicherweise zentral oder dezentral zurückgewonnen und behandelt werden könnten, um für verschiedene Wiederverwendungszwecke geeignete Wasserqualitäten bereitzustellen. Während des Starts dieser Studie wurde eine Stakeholder-Gruppe mit Vertretern der Verbraucher, landwirtschaftlichen Vereinen, Kläranlagenbetreibern, Trinkwasserversorgern, Aufsichtsbehörden und Umweltverbänden gegründet. Basierend auf den Anforderungen, die innerhalb der Stakeholder-Gruppe erarbeitet wurden, wurden vier Fallstudiengebiete identifiziert. Für diese Untersuchungsgebiete werden der lokale Bedarf, aber auch Nutzwasserquellen festgelegt. Angesichts der Saisonalität der Nachfrage sind flexible und modulare Behandlungsmöglichkeiten erwünscht. Sekundär aufbereitetes Abwasser, zusätzlich behandelt über Pulveraktivkohle, Ultrafiltration, sowie UV Desinfektion könnte als Nutzwasseroption in Frage kommen.

FÖRDERUNG:  
REGIERUNG VON  
UNTERFRANKEN



**PANFENG ZHU**  
(M.Sc.)

089/28913712  
PANFENG.ZHU  
@TUM.DE

## Praxiserfahrung zum Umgang mit dezentralen Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse

Biozide werden zur Hemmung unerwünschter Organismen wie Algen und Pilze an Gebäudefassaden eingesetzt. Terbutryn, Diuron und OIT, usw. werden häufig als organische Biozide verwendet. Sie werden typischerweise zu hydrophoben Putzmitteln und Farben als integraler Bestandteil hinzugefügt und sollen während Benetzungsvorgängen durch Diffusion an die Fassadenoberfläche wandern. Biozide, die über Fassadenabflüsse in die Umwelt gelangen, können unter Umständen die Konzentrationen der Wasserqualitätsnormen übersteigen und ökotoxikologische Bedenken hervorrufen. Noch besorgniserregender ist die Tatsache, dass sie niemals alleinige Schadstoffe in der Wassermatrix sind. Schwermetall-Ionen wie Zink- und Kupfer-Ionen, die aus der Abschwemmung von Metaldächern, Dachrinnen und Regenrinnen stammen, könnten unter Umständen Komplezierungen mit den Bioziden eingehen und den Rückhalt sowohl der Biozide als auch der Metalle in einer weiteren Behandlung beeinflussen.



*Abb. 9: Biozide inhibieren  
unerwünschten Bewuchs auf  
Gebäudefassaden*

Das Hauptziel des Projektes ist, mit Hilfe modernster Technologien die Bildung und Eigenschaften von Komplexen aus Bioziden und Metallen zu analysieren, anschließend den Pfad und den Einfluss dieser Komplexe auf die Umwelt zu untersuchen.

Drei spezifische Unterziele geplant:

- 1) Untersuchung der Konzentrationen von Bioziden und Metallen im Regenwasserablauf von Gebäuden.
- 2) Untersuchung des Komplezierungsmechanismus von Bioziden und Metallen einschließlich der Komplezierungs kinetik sowie Faktoren, die Einfluss auf den Komplezierungsprozess und auf physikalisch-chemische und toxikologische Änderungen von Komplexen haben.
- 3) Untersuchung des Pfades von Komplexen in der Umwelt

FÖRDERUNG:  
CHINA  
SCHOLARSHIP  
COUNCIL (CSC)



**KONRAD KOCH**  
(DR.-ING.)

089/28913706  
K.KOCH  
@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
BAYERISCHES  
STAATS-MI-  
NISTERIUM  
FÜR WIRTSCHAFT,  
ENERGIE &  
TECHNOLOGIE;  
BUNDESMI-  
NISTERIUM  
FÜR WIRTSCHAFT  
UND ENERGIE;  
DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-  
GEMEINSCHAFT;  
CHINA  
SCHOLARSHIP  
COUNCIL

*KOOPERATION:*  
UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG;  
BAYERISCHES  
LANDESANSTALT  
FÜR  
LANDWIRT-  
SCHAFT;  
THE UNIVERSITY  
OF QUEENSLAND,  
AUSTRALIEN;  
EAWAG, SCHWEIZ;  
AARHUS  
UNIVERSITY,  
DÄNEMARK

## Arbeitsgruppe Energieeffiziente Abwasserbehandlung

Kläranlagen sind aktuell noch die größten kommunalen Stromverbraucher, obwohl im Abwasser eigentlich mehr als genügend Energie enthalten ist, als für die Reinigung erforderlich. Während die Aufbereitung des Abwassers unter Berücksichtigung der vorgegebenen Grenzwerte weiterhin die oberste Priorität hat, gibt es einige Ansätze, wie einerseits der Energiebedarf für die Aufbereitung gesenkt und andererseits mehr Energie aus dem Abwasser zurückgewonnen werden kann.

Eine Effizienzsteigerung beim Umsatz schwerabbaubarer Substrate ist z.B. durch eine Vorbehandlung mittels Ultraschall möglich. Bisherige Studien haben gezeigt, dass neben dem erhöhten Gasertrag auch andere Effekte berücksichtigt werden sollten. Für eine ganzheitliche Betrachtung sollte u.a. auch eine möglicherweise verbesserte Entwässerbarkeit, eine verminderte Restmenge zur Entsorgung und Effekte auf die Schlammrheologie sowie die Neigung zur Schaumbildung betrachtet werden.

Interessanterweise kann man den anaeroben Abbau auch durch eine Anreicherung mit CO<sub>2</sub> stimulieren. Bisher konnte der Effekt in mehreren Studien nachgewiesen werden, ein Nachweis der zugrundeliegenden Prozesse steht aber leider noch aus. Zentrat aus der Entwässerung des Faulschlammes kann im Seitenstrom alternativ zur robusten, aber energieintensiven Nitrifikation/Denitrifikation auch über Deammonifikation behandelt werden. Dabei wird deutlich weniger Energie für die Belüftung benötigt und durch einen autotrophen Prozess sogar komplett auf den Einsatz einer Kohlenstoffquelle verzichtet. Allerdings erfordert der vergleichsweise geringe Energiegewinn für die beteiligten Mikroorganismen auch eine zuverlässige Prozessüberwachung und -steuerung. Es besteht sogar die Möglichkeit, die im Ammonium gebundene Energie zumindest teilweise aus dem Abwasser zurückzugewinnen. Dabei bedient man sich ebenfalls einer Nitrifikation (Umwandlung von Ammonium in Nitrit) als erste Stufe, schaltet dann aber eine Denitrifikation nach, in der unter Zugabe einer C-Quelle gezielt Lachgas erzeugt wird. Aktuell gibt es jedoch noch einige Herausforderungen anzugehen.

Schließlich können Kläranlagen mit Hilfe der mikrobiologischen Methanisierung auch einen Beitrag zur Energiewende leisten, indem Überschussstrom aus erneuerbaren Quellen mittels Elektrolyseur zunächst in Wasserstoff und dann gemeinsam mit CO<sub>2</sub> in Methan umgesetzt und gespeichert werden kann. Biofilmbasierte Technologien unter thermophilen Bedingungen haben sich auch im dynamischen Betrieb als besonders geeignet herausgestellt.



**DIETMAR  
STRÜBING**  
(DIPL.-ING.)

089/28913711  
D.STRUEBING  
@TUM.DE

## Optimierung der mikrobiologischen Methanisierung in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren

Im Rahmen der Energiewende gewinnt die Entwicklung neuer Energieumwandlungs- und Speichertechnologien weiter an Bedeutung. Im deutschen Gasnetz könnten bis zu 250 Mrd. kWh bzw. 25 % des jährlichen Gasverbrauches langfristig gespeichert werden.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Projekt *OptiMeth* die Weiterentwicklung der mikrobiologischen Erzeugung von Methan direkt aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid („mikrobiologische Methanisierung“), wobei das speicherfähige Biomethan für eine am Bedarf orientierte Versorgung mit Energie oder auch z.B. als LNG oder CNG für den Mobilitätssektor eingesetzt werden kann. Der dafür benötigte Wasserstoff wird in Phasen mit Stromüberschuss elektrolytisch erzeugt, Kohlenstoffdioxid kann möglichst direkt am Ort der Entstehung genutzt werden (z.B. Klär- bzw. Biogasanlagen, BHKW, Industrie) und wird nicht als Treibhausgas emittiert. Der Kohlenstoff wird im Kreislauf geführt und nur als Träger erneuerbarer Energien (z.B. aus Windstrom, Photovoltaik) verwendet. Entsprechend kann der Verbrauch fossiler Energieträger reduziert werden, was zu einer Dekarbonisierung beiträgt.

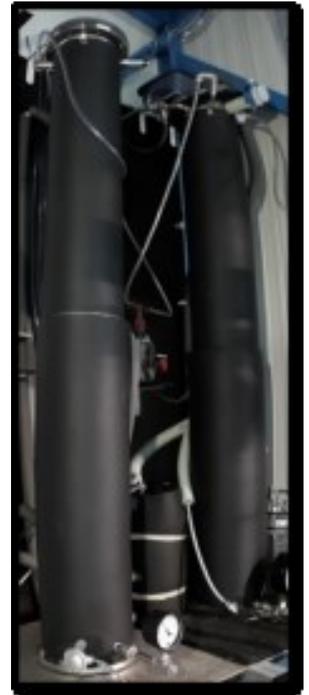


Abb. 10: Rieselbettreaktor im halbtechnischen Maßstab

**FÖRDERUNG:**  
BAYERISCHES  
STAATSMI-  
NISTERIUM  
FÜR  
WIRTSCHAFT,  
ENERGIE UND  
TECHNOLOGIE

**KOOPERATION:**  
BAYERISCHE  
LANDESANSTALT  
FÜR  
LANDWIRT-  
SCHAFT

Im Vorgängerprojekt *MikMeth* wurde die mikrobiologische Methanisierung bereits in thermophilen Rieselbettreaktoren im Technikumsmaßstab untersucht und etabliert. Rieselbettreaktoren stellen eine günstige Alternative zur energieaufwendigen Gaseinpressung dar, welche bisher in ähnlichen Ansätzen zur mikrobiologischen Methanisierung eingesetzt wurde. Ziel des Projekts *OptiMeth* ist es, die mikrobiologische Methanisierung in unterschiedlichen Prozesszuständen zu untersuchen, um sie bedarfsgerecht, flexibel, robust und möglichst effizient gestalten und steuern und Rieselbettreaktoren dadurch in möglichst vielen zukünftigen Energieumwandlungs- und Speicherszenarien dynamisch einsetzen zu können. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft als Projektpartner wird insbesondere die mikrobiellen Biozönosen hinsichtlich der Entwicklung dominierender Spezies der hydrogenotrophen methanogenen Archaeen im Langzeit- und Adhoc-Betrieb sowie deren Nährstoffbedarf (Mikro- und Makronährstoffe) untersuchen.



**THOMAS LIPPERT**  
(M.Sc.)

089/28913716  
THOMAS.LIPPERT  
@TUM.DE

## Steigerung der Energieeffizienz bei der Abwasserreinigung durch innovative Ultraschallintegration

Kläranlagen sind die größten kommunalen Energieverbraucher. Obwohl im Abwasser in Form von Biogaspotential theoretisch ausreichend Energie für den gesamten Reinigungsprozess vorhanden wäre, wird häufig nur ein Bruchteil der chemisch gebundenen Energie der Abwasserinhaltsstoffe zurückgewonnen. Die Rückgewinnung dieser Energie erfolgt in der Regel über die anaerobe Behandlung des bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlammes, wobei typische Abbaugrade ohne eine Schlammvorbehandlung nur bei etwa 50 - 60% liegen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist daher die Verbesserung des anaeroben Abbaus durch den Einsatz von Ultraschall zur Klärschlammintegration. Durch ultraschall-induzierte Kavitation können Klärschlammflocken zerkleinert und Mikroorganismenzellen aufgeschlossen werden, was zu einem verbesserten mikrobiologischen Abbau und in der Folge zu einer gesteigerten Faulgasausbeute bei reduzierten Restschlamm-mengen führt.

Betriebserfahrungen jedoch zeigen, dass derzeit am Markt befindliche Ultraschall-einheiten vergleichsweise störanfällig sind.

Im Projekt UltraMethan wird daher die Nutzung eines innovativen Flachbettreaktors mit geringerer Störanfälligkeit untersucht. Um eine möglichst effiziente Auslegung des neuen Reaktortyps im Hinblick auf Methanertragssteigerungen zu gewährleisten, werden Laborversuche zur Optimierung von Reaktordesign und Betriebsweise durchgeführt (vgl. Abb. 11). Die computergestützte Simulation der Fluidodynamik (CFD) und der Schallausbreitung innerhalb der Reaktoren unterstützt die Suche nach einem möglichst effizienten Design. Für eine ganzheitliche Beurteilung des neuartigen Reaktortyps werden zusätzlich die Einflüsse der Behandlung auf die Schlammentwässerbarkeit, die Veränderung der Viskosität und die Schaumbildung im Faulturm untersucht. Basierend auf den durchgeführten Laborversuchen erfolgt auch die großtechnische Umsetzung auf ausgewählten Kläranlagen inklusive einer wissenschaftlichen Begleitung.



*Abb. 11: Kontinuierlich betriebene Biogasreaktoren*

**FÖRDERUNG:**  
BUNDES-  
MINISTERIUM  
FÜR WIRTSCHAFT  
UND ENERGIE

**KOOPERATION:**  
BANDELIN  
ELECTRONIC;  
GFM BERATENDE  
INGENIEURE



**MERIAM  
MUNTAU**  
(M.Sc.)

089/28913716  
MERIAM.MUNTAU  
@TUM.DE

## Erhöhte Methanproduktivität in Biogasanlagen durch CO<sub>2</sub>-Anreicherung

Kläranlagen tragen zu rund 20 % zum Energiebedarf deutscher Kommunen bei und emittieren jährlich circa 3 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Daher ist es zwingend notwendig, einen verbesserten Ausgleich zwischen Energieverbrauch und -produktion bei gleichzeitiger Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von Kläranlagen zu schaffen. Derzeit wird die in den Abwasserinhaltsstoffen gebundene chemische Energie zumindest teilweise in Form von energiereichem Methangas durch die anaerobe Vergärung von Klärschlamm zurückgewonnen während CO<sub>2</sub> als ein Nebenprodukt entsteht.

Neueste Studien zeigen eine Steigerung der Methanausbeute bei der anaeroben Vergärung durch Anreicherung des Klärschlammes mit CO<sub>2</sub> (vgl. Abbildung). Bisher wurden allerdings nur Annahmen über mögliche biologische Umwandlungspfade von CO<sub>2</sub>, die zu einer erhöhten Methanbildung führen, getroffen. Die verschiedenen Hypothesen umfassen mögliche Effekte wie erhöhten Substratumsatz, Redoxreaktionen, Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts sowie eine reduzierte Ammoniuminhibition.

Ziel dieses Projektes ist es, die der CO<sub>2</sub>-Umwandlung zugrunde liegenden Prozesse mit Hilfe von Isotopenmarkierung des eingebrachten CO<sub>2</sub> zur Verfolgung der biologischen Umwandlungspfade, und vergleichender mikro- und molekularbiologischer Untersuchungen der sich unter CO<sub>2</sub>-

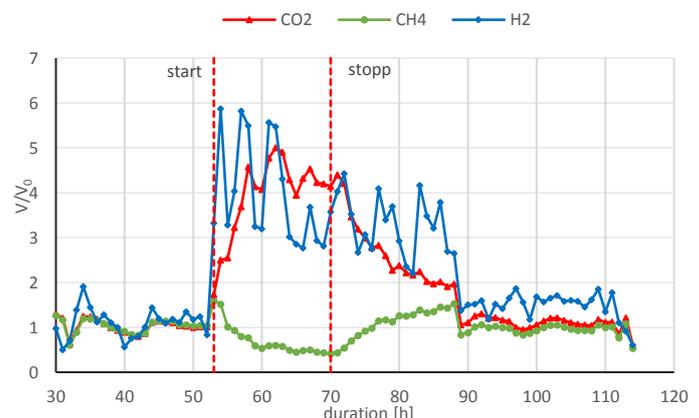


Abb. 12: Entwicklung der Gaszusammensetzung nach CO<sub>2</sub>-Anreicherung

Anreicherung etablierenden Biozönose, zu identifizieren. Hierfür wird in zwei parallel geschalteten Reaktoren im Labormaßstab eine kontinuierliche anaerobe Vergärung von Klärschlamm durchgeführt, wobei in einem Reaktor eine CO<sub>2</sub>-Anreicherung erfolgt, während der andere als Kontrollreaktor dient. Erste diskontinuierliche CO<sub>2</sub>-Anreicherungen konnten bereits eine vermehrte H<sub>2</sub> Produktion als mögliche Folge eines gesteigerten Substratumsatzes aufzeigen (vgl. Abb. 12). Für ein umfassendes Verständnis der durch CO<sub>2</sub>-Anreicherung ausgelösten Prozesse, insbesondere der Langzeiteffekte, wird im nächsten Schritt eine kontinuierliche CO<sub>2</sub>-Einbringung erfolgen. Die Ergebnisse sollen zu einer Optimierung des Vergärungsprozesses mittels Nutzung des „Abfallproduktes“ CO<sub>2</sub> beisteuern und somit helfen die Energiewende weiter voran zu treiben.

FÖRDERUNG:  
DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-  
GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:  
UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG;  
BAYERISCHE  
LANDESANSTALT  
FÜR  
LANDWIRTSCHAFT



**MAX WEIßBACH**  
(DR.-ING.)

BIS 6/18  
MAX.WEISSBACH  
@TUM.DE



**XUETONG YANG**  
(M.Sc.)

089/28913708  
X.YANG@TUM.DE

## Erzeugung von Lachgas aus Abwasser

Der sogenannte *Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation (CANDO)* Prozess ist ein vielversprechendes Verfahren zur simultanen Stickstoffelimination und Energierückgewinnung auf kommunalen Kläranlagen; insbesondere aus hoch ammoniumbelasteten Prozesswässern. Das Verfahren ermöglicht außerdem eine Verringerung der Belüftungsenergie wie auch von organischen Substraten durch die gezielte Verkürzung der in konventionellen Verfahren angewendeten autotrophen wie heterotrophen mikrobiologischen Stoffwechselketten. Ferner kann durch die gezielte Produktion und Verbrennung von Lachgas ( $N_2O$ ) zu molekularem Stickstoff ( $N_2$ ) neben der Energierückgewinnung auch eine Emissionsminderung des klimaschädlichen Lachgases erreicht und potentiell die  $CO_2$ -Bilanz von Kläranlagen verbessert werden.

Nach einer Einlaufphase über etwa drei Monate, wurde der Betrieb für weitere sechs Monate stabil geführt. Während dieses Betriebs wurden Ablaufwerte im Mittel von  $1,8 \text{ mg}_{NO_2-N}/L$  gemessen. Die Stickstoffeliminationsraten lagen im unteren Bereich der beschriebenen Denitrifikations- und Denitritationsraten, allerdings bei deutlich geringerem Bedarf an Belüftungsenergie und organischen Reduktionsäquivalenten. Die Umsatzraten von  $NO_2^-$  zu  $N_2O$  in der zweiten Stufe des CANDO-Prozesses lagen bei  $58 \pm 8\%$  und  $68 \pm 8\%$  unter Anwendung einer dedizierten Strippphase zum Ende der Batchsequenz bzw. einer kontinuierlichen Gasstrippung während anoxischer Prozessphasen. Die Gesamtumsatzraten über beide Studien lagen bei  $53\%$  bzw.  $63\%$  im kontinuierlichen Betrieb (vgl. Abb. 13).

Xuetong Yang wird im Rahmen ihrer 4-jährigen Doktorarbeit den CANDO-Prozess weiter optimieren.

FÖRDERUNG:  
INTERNATIONAL  
GRADUATE  
SCHOOL OF  
SCIENCE AND  
ENGINEERING;  
CHINA  
SCHOLARSHIP  
COUNCIL

KOOPERATION:  
STANFORD  
UNIVERSITY,  
USA;  
EAWAG,  
SCHWEIZ

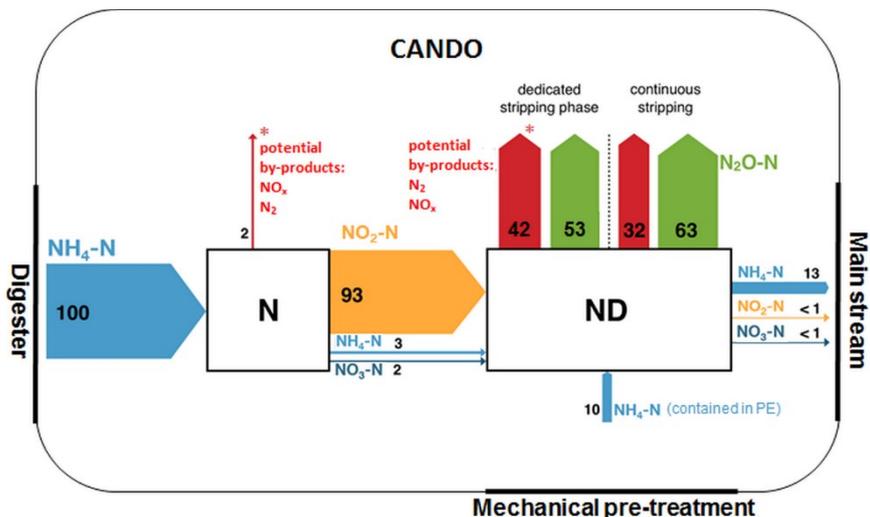


Abb. 13: Vereinfachte Stickstoffbilanz des CANDO-Prozesses (Weißbach et al., 2018)



**UWE HÜBNER**  
(DR.-ING.)

089/28913706  
U.HUEBNER  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Weitergehende Wasserbehandlung

Einige Kontaminationen werden in konventionellen Kläranlagen nur unzureichend entfernt und können über diese in die Gewässer eingetragen werden. Dazu zählen insbesondere

- Organische Spurenstoffe in Konzentration von ng/L bis wenigen µg/L (z.B. Pharmaka, Haushalts- und Industriechemikalien)
- Krankheitserreger (Bakterien, Viren, Protozoen)
- Antibiotika-resistente Bakterien und Resistenzgene und
- Nährstoffe in niedrigen Konzentrationen (P, N).

Der Eintrag dieser Verunreinigungen in die Gewässer stellt ein potentielles Risiko für die aquatische Umwelt und die menschliche Gesundheit dar. Diese Forschungsgruppe beschäftigt sich mit der Entwicklung, Untersuchung und Optimierung von Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Entfernung dieser Kontaminationen aus Kläranlagenabläufen.



Abb. 14: Laborozonanlage

Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung oxidativer (Ozonierung, weitergehende Oxidationsverfahren wie UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/Chlor, UV/Persulfat) und natürlicher und biologischer Verfahren (z.B. Grundwasseranreicherung, Biofiltration). Forschungsthemen umfassen unter anderem die Bestimmung von Entfernungsleistungen, Reaktionskinetiken und -mechanismen und die Bildung von Produkten bei der Oxidation sowie die Identifizierung relevanter Einflussgrößen auf den mikrobiellen Abbau in biologischen Systemen.

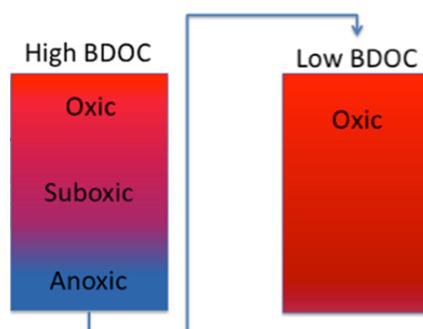


Abb. 15: Konzept der sequentiellen Grundwasseranreicherung (SMART)

Auf Basis der Erkenntnisse werden Verfahren zur weitergehenden Wasserbehandlung optimiert und neue Konzepte entwickelt. Dies beinhaltet auch die Entwicklung und Bewertung neuer Verfahrenskombinationen (Oxidation, Biotransformation, Sorption) und deren Umsetzung im Rahmen einer Wasserwiederverwendung.

KOOPERATION:  
HELMHOLTZ-  
ZENTRUM  
MÜNCHEN;  
UNIVERSITÄT  
TÜBINGEN;  
UFZ



**KARIN  
HELLAUER**  
(M.Ed.)

UNTIL 6/18  
089/28913707  
KARIN.HELLAUER  
@TUM.DE

## Untersuchung des mikrobiellen Abbaus von Spurenstoffen bei der Grundwasseranreicherung

Zur weitergehenden Abwasserbehandlung und zur Trinkwassergewinnung werden seit Jahren Uferfiltration und künstliche Grundwasseranreicherung eingesetzt. Während der Infiltration des Wassers spielen neben der Filtration und der Sorption vor allem mikrobiologische Abbauprozesse eine bedeutende Rolle bei der Entfernung organischer Spurenstoffe. Im SMART Konzept (engl: Sequential Managed Aquifer Recharge Technology) werden zwei Infiltrationsstufen mit einer Zwischenbelüftung kombiniert. Auf diese Weise stellen sich bei der zweiten Infiltration oxische, Kohlenstoff limitierte Bedingungen ein, die den co-metabolischen Abbau von Spurenstoffen begünstigen. SMART wurde bereits erfolgreich in den USA und in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben getestet und validiert.

Trotz vieler bisheriger Erkenntnisse sind die Mechanismen, die zur Entfernung der Spurenstoffe beitragen, bisher nur wenig verstanden. Am Lehrstuhl werden Säulenversuche durchgeführt, um das SMART Konzept zu validieren und zu optimieren, sowie den Einfluss des natürlichen organischen Materials (NOM) auf den co-metabolischen Abbau von Spurenstoffen zu untersuchen. Mit Unterstützung des Helmholtz Zentrums konnte dabei eine eingehende Charakterisierung des NOM über FT-ICR-MS Messungen durchgeführt werden. In einer aktuellen Studie mit der Eawag und der Bundesanstalt für Gewässerkunde werden zudem neue molekularbiologische Methoden eingesetzt, um Verbindungen zwischen aktiven Enzymen und dem Spurenstoffabbau zu untersuchen.



Abb. 16: Säulenversuche im Labormaßstab an der TUM

Ergebnisse aus Versuchen, in denen Huminsäure als Primärsubstrat dosiert wurde, zeigten keine eindeutige Abhängigkeit des Abbaus von Spurenstoffen von der dosierten Konzentration an schwer abbaubarem NOM im Wasser. Allerdings deuten die Ergebnisse der FT-ICR-MS Messungen zur Charakterisierung des NOM an, dass es einen Zusammenhang zwischen NOM und TOCs Entfernung gibt. Die redox-sensitive Entfernung einzelner Spurenstoffe in Bodensäulen, die das SMART Konzept simulieren, korrelierte mit verschiedenen Bestandteilen des NOM.

*KOOPERATION:*  
HELMHOLTZ-  
ZENTRUM;  
EAWAG;  
BFG



**JOHANN  
MÜLLER**  
(DIPL.-ING.)

089/28913720

JO.MUELLER  
@TUM.DE

## Entwicklung von Strategien zur Erfassung und zum Management neuartiger Schadstoffe bei der indirekten Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung

Das Forschungsprojekt FRAME wurde im Juni 2018 abgeschlossen. Das seit 2015 laufende Projekt hatte zum Ziel gemeinsam mit anderen Europäischen Forschungseinrichtungen Strategien zur Erfassung von und zum Umgang mit neuartigen Schadstoffen zu entwickeln, die für die indirekte Wiederverwendung von hochgereinigtem Abwasser als Trinkwasserressource relevant sind.

Im Rahmen des Projekts entwickelte und erprobte die TUM neue, innovative Verfahrenskombinationen mit dem Ziel, Schadstoffe effektiv aus dem Wasserkreislauf zu entfernen. Die Arbeitsgruppe „Weitergehende Wasserbehandlung“ führte hierzu Pilotstudien zur Evaluierung zuverlässiger und kosteneffizienter Strategien durch. Die weitergehende biologische Behandlung erwies sich hierbei als ein vielversprechender Ansatz zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen.

Durch gezielte Einstellung oxidischer und substratlimitierter Bedingungen sollte eine Elimination schwer abbaubarer Stoffe ermöglicht werden. Der experimentelle Aufbau mit vier voneinander unabhängigen Filtersystemen ermöglichte die parallele Untersuchung verschiedener Behandlungsstrategien. Zusätzlich wurden Möglichkeiten zur Kombination biologischer Filtrationssysteme mit Adsorptions- und Oxidationsverfahren getestet. Neben der Entfernung von biologisch nicht abbaubaren Stoffen wurden auch potentielle Synergien zwischen verschiedenen angewandten Technologien untersucht.

Ergebnisse konnten zeigen, dass durch gezielte Einstellung oxidischer und substratlimitierter Bedingungen ein gegenüber konventionellen biologischen Filtersystemen höherer Abbau verschiedener Spurenstoffen erfolgte. In Prozesskombinationen aus Biofiltrations-, Adsorptions- und Oxidationsverfahren konnte eine deutlich verbesserte Ausnutzung der Adsorptionskapazität und eine leicht verbesserte Effizienz der Ozonierung bei der Spurenstoffentfernung festgestellt werden.



Abb. 17: Aufbau der Filter für die sequentielle Biofiltration

### FÖRDERUNG:

JPI WATER,  
BMBF

### KOOPERATION:

BFG,  
DEUTSCHLAND;  
IRSA, ITALIEN;  
ISS, ITALIEN;  
NIVA, NORWEGEN;  
BRGM,  
FRANKREICH;  
GÉO-HYD,  
FRANKREICH



**SEMA  
KARAKURT**  
(M.Sc.)

089/28913717  
SEMA.KARAKURT  
@TUM.DE



**VERONIKA  
ZHITENEVA**  
(M.Sc.)

089/28913717  
V.ZHITENEVA  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**  
UBA, BFG, BGS UM-  
WELT,  
COPLAN AG, BWB,  
DHI WASY, TUB, UO,  
TZW

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

Das vom BMBF geförderte Verbundvorhaben TrinkWave entwickelt neue Multibarrieren-Aufbereitungsprozesse zur Wasserwiederverwendung auf Basis einer sequentiellen Grundwasseranreicherung (*Sequential Managed Aquifer Recharge Technology, SMART*) sowie neue multidisziplinäre Bewertungsansätze für innovative Verfahrenskombinationen der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung.

Schwerpunkte der Arbeiten an der TUM umfassen die Entwicklung und Optimierung eines innovativen Aufbereitungskonzepts zur Inaktivierung von Pathogenen (insbesondere Viren) und Antibiotikaresistenzen sowie zur Entfernung von gesundheitsrelevanten Chemikalien und Transformationsprodukten im halbertechnischen Maßstab, die Entwicklung neuer Leistungsparameter für biologische Aufbereitungsverfahren, sowie die quantitative mikrobielle und chemische Risikoanalyse bei der Wasserwiederverwendung. Aufbauend auf dem Konzept sequentieller Redoxbedingungen stehen die hydraulische Optimierung und Charakterisierung, die Integration weiterer Barrieren (Sorption, Oxidation) für die Etablierung eines Multi-Barrierensystems, die betriebliche Optimierung, sowie die Etablierung einer adäquaten Prozessüberwachung im Fokus der halbertechnischen Untersuchungen an der TUM. Die Ergebnisse sollen während einer Realisierung des SMART<sub>plus</sub> Verfahrens (Abb. 18) im Demonstrationsmaßstab in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben validiert werden.



Abb. 18: Der halbertechnischen Versuchsanlage SMART<sub>plus</sub> an der TUM (Foto: Andreas Heddergott).

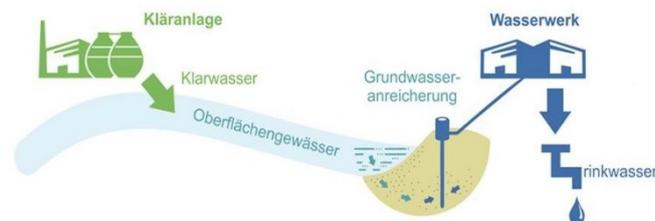


**SEMA  
KARAKURT**  
(M.Sc.)

089/28913717  
SEMA.KARAKURT  
@TUM.DE

## Status quo einer ungeplanten Wiederverwendung von behandeltem Kommunalabwasser in Deutschland (*de facto* Reuse)

Behandeltes kommunales Abwasser wird in Deutschland in der Regel in Oberflächengewässer eingeleitet, wodurch es Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufes wird (Abb. 19). Wenn eine Entnahme unterhalb dieser Einleitungen bei substantiellen Abwasseranteilen im aufnehmenden Gewässer erfolgt kann diese Verwendung als ungeplante Wasserwiederverwendung betrachtet werden. Als Funktion von veränderten Abflussregimes in Oberflächengewässern während Niedrigwasserperioden oder bei Starkregenereignissen kann sich der Anteil an gereinigtem Abwasser in Flüssen und Seen lokal sehr dynamisch darstellen. National wie international fehlen bisher multidisziplinäre Konzepte, die eine umfassende Beurteilung der Wasserqualität und des Risikos bei einer solchen Dynamik der Abwasserbeeinflussung gerade bei einer Nutzung dieser Gewässer für die Trinkwassergewinnung zulassen. Trotz Verdünnung und natürlicher Abbauprozesse im Oberflächengewässer sowie bei der Bodenpassage (d.h. Uferfiltration oder künstliche Grundwasseranreicherung) besteht die Möglichkeit, dass Krankheitserreger und persistente chemische Verunreinigungen bis in das Rohwasser einer Trinkwassergewinnung gelangen können. Hieraus können potentielle Risiken für die menschliche Gesundheit entstehen, die entsprechender Gegenmaßnahmen bedürfen.



© Berliner Wasserbetriebe / Technische Universität München

Abb. 19: Unbeabsichtigte Wasserwiederverwendung bei Abwassereinleitungen in ein Oberflächengewässer.

Im Rahmen einer Studie für das Umweltbundesamt wurde der relative Abwasseranteil für alle Fließgewässer in Deutschland und deren Auswirkungen auf die Rohwasserqualität bei Direktentnahme sowie für die Uferfiltration und künstliche Grundwasseranreicherung dargestellt. Das Auftreten der Klarwasseranteile im Rohwasser wurde als relevant eingestuft, wenn die Konzentrationen gesundheitsrelevanter Chemikalien über den vom UBA festgelegten Orientierungswerte (GOW) lagen. Für Standorte, an denen basierend auf den berechneten Klarwasseranteilen in dieser Studie und bekannten oder vermuteten Uferfiltratanteilen das Risiko einer GOW Überschreitung erhöht ist und die Wassergewinnung allein auf naturnahen Verfahren beruht, wurden Maßnahmen zum Erhalt einer nachhaltigen Trinkwasserversorgung empfohlen.

FÖRDERUNG:  
UMWELT-  
BUNDESAMT

KOOPERATION:  
DHI WASY



**DAVID MIKLOS**  
(DR.-ING.)

BIS 9/18  
089/28913717

D.MIKLOS  
@TUM.DE

## UV-LED basierte Wasserdesinfektion: Synergie- und Wassermatrixeffekte

Im Rahmen des BMBF TrinkWave Verbundprojektes werden für ein innovatives Multi-Barrieren-Behandlungskonzept Licht emittierende Dioden (LEDs) für die Wasserdesinfektion mit UV-Strahlung untersucht. UV-LED ist eine sich rasch entwickelnde Technologie für die Wasser- und Abwasserdesinfektion und hat sich bei der Inaktivierung verschiedener bakterieller, viraler und protozoischer Pathogene als wirksam erwiesen. Darüber hinaus haben UV-C-LEDs ein hohes Potenzial, da sie kleiner, leichter und weniger empfindlich als herkömmliche Quecksilberdampflampen sind.

Grundlegende Laboruntersuchungen werden unter Verwendung eines UV-C-LED-Systems mit drei Wellenlängen (HYTECON, Deutschland) mit einem PTFE-Reflektorrohr durchgeführt, die mit Peakwellenlängen von 265, 275 und 285 nm zur Inaktivierung von MS2-Coliphagen emittieren. Die UV-Bestrahlungsstärke wird unter Verwendung der KI/KIO<sub>3</sub>-Aktinometrie und eines UV-C-Breitbandradiometers (sglux, Berlin) bestimmt. Neben einzelnen Peakwellenlängen-Effekten wird die Kombination von verschiedenen LEDs untersucht, um die Nutzung synergistischer Effekte zu testen. Darüber hinaus werden Wassermatrixeffekte untersucht.

Intensive Bestrahlungsstärkemessungen zeigen Diskrepanzen zwischen Radiometer- und Aktinometer-Ergebnissen aufgrund von diffusen Reflexionen des PTFE-Rohres. Erste Ergebnisse von Desinfektionsexperimenten deuten an, dass die Desinfektion der LED 265 bei 60 mJ/cm<sup>2</sup> mit einer Inaktivierung von 5 log am effektivsten ist, gefolgt von der LED 275 (4,2 log) und der LED 285 (2,8 log). Kombinationen verschiedener Peak-Wellenlängen-LEDs führten nicht zu synergistischen Effekten.

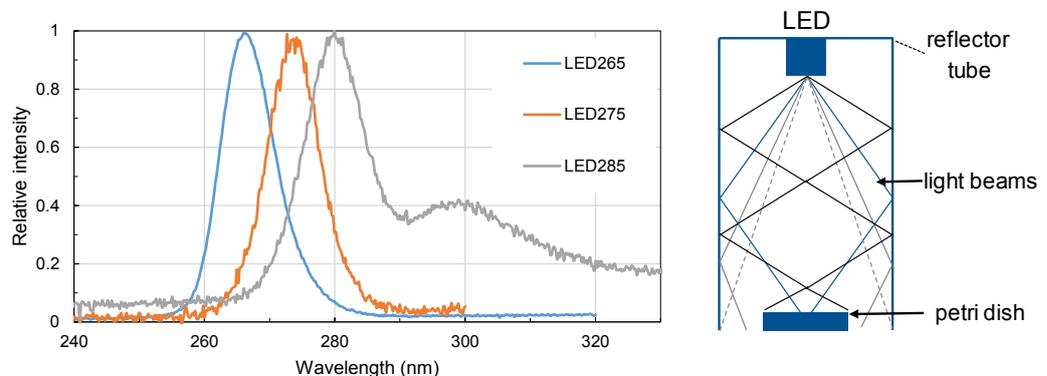


Abb. 20: Relative Emissionsspektren der angewandten LEDs (links) und schematische Darstellung des Strahlungsfelds im Collimator (PTFE-Rohr)(rechts)

FÖRDERUNG:  
BUNDEMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

KOOPERATION:  
UMWELT-  
BUNDESAMT;  
HYTECON;  
TZW



**DAPHNE  
KEILMANN-  
GONDHALEKAR**  
(DR. PHD)

089/28913709  
D.GONDHALEKAR  
@TUM.DE

## Urban Water-Energy-Food Nexus

Seit April 2017 wird das Forschungsprojekt „Urban Water-Energy-Food Nexus“ am Lehrstuhl durchgeführt, gefördert durch das Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Mit wachsender Wirtschaft und Verstädterung steigt die Nachfrage nach Ressourcen weltweit, bspw. Wasser, Energie und Nahrung, vor allem in Städten. Es resultieren starke Umweltbelastung und Klimawandel. Ein integrierter städteplanerischer Ansatz, der Synergien von Klimaschutz- und Klimaanpassungs-Ansätzen ausschöpfen kann, muss dringend bis 2030 entwickelt und umgesetzt sein, um katastrophische klimatische Veränderungen zu verhindern.

Der Water-Energy-Food (WEF) Nexus Ansatz bietet eine Möglichkeit, wie Städte sich nachhaltiger entwickeln können. Der Ansatz besagt, dass viel Energie gebraucht wird um Wasser in Städten bereitzustellen, und dass viel Wasser gebraucht wird um Energie und Nahrung zu erzeugen (Abb. 41). Die integrierte Planung dieser drei Sektoren kann die Verbesserung von Wasser-, Energie- und Nahrungssicherheit unterstützen sowie die Umsetzung der Sustainable Development Goals (SDGs). Abwasseraufbereitung und -wiederverwertung ist ein Schlüsselpotential in der Operationalisierung des WEF Nexus Ansatzes.



Abb. 21: Water-Energy-Food  
Nexus Schema

Das Ziel des Urban WEF Nexus Projekts ist, die Interaktion der Sektoren Wasser, Energie und Nahrung zu analysieren und alternative Szenarien für die zukünftige urbane Entwicklung daraus abzuleiten, die der Entwicklung von Pilotprojekten in der Nachbarschaftsebene dienen sollen. Das Projekt nimmt als Fallstudie die Stadt Leh in Ladakh, einer semi-ariden Region 3,500 m.ü.M. im indischen Himalaya.



Abb. 22: Nexus Workshop in Delhi.

FÖRDERUNG:  
BAYERISCHES  
STAATSMI-  
NISTERIUM  
FÜR UMWELT UND  
VERBRAUCHER-  
SCHUTZ



**BERTRAM  
SKIBINSKI**  
(DR.-ING.)

089/28913714  
B.SKIBINSKI  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Membranfiltration

Membranverfahren spielen bei der Schließung innerbetrieblicher Wasserkreisläufe, der Wiederverwendung von kommunalen Abwässern wie auch bei der Meerwasserentsalzung eine zentrale Rolle. Im Vordergrund der Forschung liegen jedoch nicht nur die Entfernungsleistung von Membranverfahren hinsichtlich ungewollter Wasserinhaltsstoffe sondern auch deren energetische Effizienz sowie der Aspekt der Rückgewinnung nutzvoller Ressourcen. Immerhin beträgt die theoretisch nutzbare Energie von Abwasser ca.  $2.52 \text{ kWh m}^{-3}$ .

Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass ein herkömmliches Belebtschlammverfahren in Kombination mit einer weiterführenden Reinigungsstufe (Mikrofiltration, Umkehrosmose und abschließender UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Behandlung) einen netto Energiebedarf von  $1,10 \text{ kWh m}^{-3}$  aufweist. Alternative Verfahrenskonzepte unter Nutzbarmachung von Membranverfahren, wie zum Beispiel Kombinationen mit anaeroben Membranbioreaktoren, weisen höhere Grade der Energierückgewinnung und folglich niedrigere netto Energiebedarfe von bis zu  $0,22 \text{ kWh m}^{-3}$  auf.

In einem weiteren BMBF-Projekt widmen wir uns seit Ende 2018 der Frage, in wie weit ungewolltes Biofouling auf der Membran, welches die energetische Effizienz des Membranverfahrens beeinträchtigt, vermindert werden kann. Durch den Einsatz von UV-C-LEDs entwickeln wir UV-Membran Hybridverfahren, in welchen durch eine gezielte UV-Vorbehandlung die Ausbildung von Biofouling verzögert und gleichzeitig durch UV-induzierte Effekte in Mikroorganismen, die Eigenschaften des gebildeten Biofilms positiv hinsichtlich seiner Permeabilität und Abreinigbarkeit zu beeinflussen.

Der Feed-Spacer ist ein wichtiges Bauteil eines spiralgewickelten Membranmoduls und ist maßgeblich für den Herantransport des Zulaufwassers an die Membranoblfläche verantwortlich. Umso besser diese gelingt, umso geringer fällt zum Beispiel der Einfluss von Fouling auf die Leistungsfähigkeit eines Membranmoduls aus. In einer strukturellen Analyse verschiedener kommerzieller Feed-Spacer in Kombination mit numerischer, hydrodynamischer Modellierung konnten wir wichtige Randbedingungen festlegen (z.B. Vorgaben zur räumliche Auflösung des numerischen Modells), unter welchen eine spätere numerische Optimierung des Designs neuartiger Feed-Spacer erfolgen muss.



**PHILIPP SPERLE**  
(M.Sc.)

089/28913708  
PHILIPP.SPERLE  
@TUM.DE

## Entwicklung eines UV-Bestrahlungssystems zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Umkehr-osmose-Membranverfahren zur Wasseraufbereitung

Im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes wird ein innovatives Bestrahlungssystem auf Basis pulsierender UV-C-LEDs mit dem Ziel entwickelt, durch eine UV-Vorbehandlung die Ausbildung von Biofouling in nachgeschalteten Umkehrosmose-Membranverfahren zu vermeiden. Die neuartigen UV-C-LEDs besitzen eine Vielzahl von Vorteilen, wodurch sie gegenüber herkömmlichen Quecksilberdampflampen umweltschonender eingesetzt und auf Grund ihrer kleinen Baugröße in Membranmodule flexibel integriert werden können.

Die Arbeitsgruppe Membranfiltration untersucht das neuartige Vorbehandlungsverfahren im Labor- und Pilotmaßstab (Abb. 23). Hierfür wird Biofouling durch Zugabe von Nährstoffen gezielt verursacht. Ein definiertes Versuchsprotokoll ermöglicht es, die Biofoulingstudien mit und ohne UV-Vorbehandlung reproduzierbar und unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen. Neben der Charakterisierung des Bestrahlungssystems hinsichtlich der UV-Bestrahlungsstärke unter Verwendung aktinometrischer und biosimetrischer Methoden liegt ein Schwerpunkt des Verbundvorhabens im Nachweis der Wirksamkeit des neuartigen Bestrahlungssystems. Dies erfolgt an Hand typischer Leistungskenngrößen eines Membranmoduls wie zum Beispiel Permeabilitäts- oder Druckverlust sowie UV-induzierte Veränderung relevanter Biofilmeigenschaften wie zum Beispiel seiner Abreinigbarkeit bei Spülvorgängen.

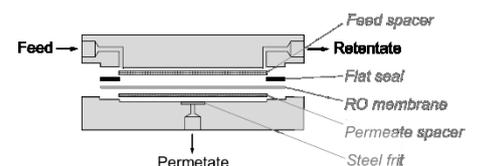
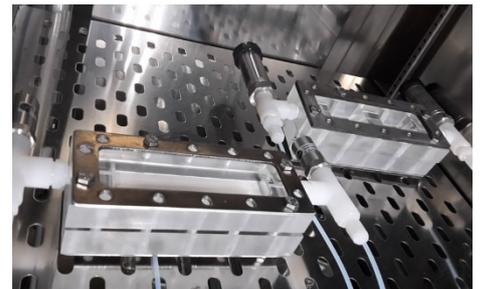


Abb. 23: RO-Membransystem im Labormaßstab zur Untersuchung von Biofouling.

**FÖRDERUNG:**  
BUNDES-  
MINISTERIUM  
FÜR  
BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**  
UV-EL GMBH;  
MH-WASSER-  
TECHNOLOGIE  
GMBH

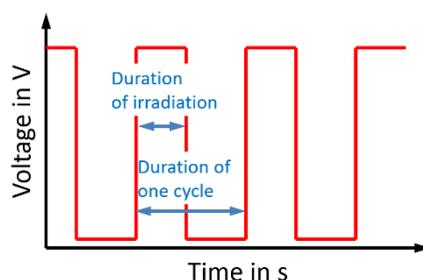


Abb. 24: Pulsierende Spannungsversorgung der UV-C-LEDs.

Durch eine intermittierende Spannungsversorgung (Abb. 24) werden die UV-C-LEDs in einen Pulsationsbetrieb versetzt. Grundlegende Untersuchungen sollen Aufschluss über die Inaktivierungsleistung und Ausbildung von Biofouling bei verschiedenen Pulsationsregimes (1 - 100 Hz; 0 - 100 % Bestrahlungsdauer) geben.



**NILS  
HORSTMEYER**  
(M.Sc.)

BIS 11/18  
089/28913712  
NILS  
.HORSTMEYER  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
TUM; OSWALD-  
SCHULZE-  
STIFTUNG

**KOOPERATION:**  
COLORADO  
SCHOOL OF  
MINES, USA;  
TU DELFT, DIE  
NIEDERLANDE;  
UNIVERSITÉ DU  
LUXEMBOURG,  
LUXEMBURG;  
UNIVERSITY OF  
NEW SOUTH  
WALES,  
AUSTRALIEN

## Energieeffiziente Verfahrenskombinationen beim Wasserrecycling mit dem Ziel der Trinkwasserversorgung

Das zunehmende Bevölkerungswachstum, die demographischen Entwicklungen (Urbanisierung), der Klimawandel und eine unterschiedliche Verfügbarkeit von geeigneten Trinkwasserquellen führen zu einer Verschärfung der Wasserknappheit und Wasserqualitätsherausforderungen weltweit. Wasserrecycling ist dabei eine Möglichkeit die Wasserkreisläufe zu schließen und so zu einer Entlastung der lokalen Wasserressourcen beizutragen. In semi-ariden und ariden Standorten weltweit, einschließlich wasserarmer Regionen in Europa ist die Wiederverwendung kommunalen Abwassers nach einer weitergehenden Wasseraufbereitung zur Stützung der Trinkwassergewinnung mittlerweile gut etabliert. Ein signifikanter Nachteil der Prozessvarianten, die in diesen Wasserrecycling Projekten verwendet werden, ist der hohe Energiebedarf und die Generierung von unerwünschten Abfallströmen. Daher sind alternative Verfahrenskombinationen des Wasserrecyclings notwendig, die entwickelt und anschließend im Labor-/Pilotmaßstab untersucht werden (Abb. 25). Durch eine integrierte Energierückgewinnung soll u.a. die verbesserte Abtrennung der partikulären organischen Bestandteile (und somit eine erhöhte Biogasausbeute) erfolgen. Die gezielte Erzeugung von Lachgas aus konzentrierten Stickstoffprozessströmen wird ebenfalls als Energierückgewinnungsstrategie untersucht (siehe Projekt PANOWA). So kann der im Abwasser enthaltenen Stickstoffs durch den gekoppelten aeroben-anoxischen Stickstoffabbau in Lachgas als Energieträger umgewandelt werden. Membranprozesse übernehmen bei den Alternativkonzepten eine entscheidenden Schlüsselrolle.



Abb. 25: Ultrafiltrationsteststand zur Behandlung kommunalen Rohabwassers

Insbesondere das Fouling und Scaling Verhalten der Membranen wird dabei detailliert untersucht und Strategien und Ansätze zur Verminderung der Fouling und Scaling Eigenschaften der Membranen entwickelt und untersucht. Neben dem Einsatz von granulierter Aktivkohle (Abb. 26) werden die hydrodynamischen Eigenschaften der Membranmodule durch optimierte Spacergeometrien sowie Reinigungsmechanismen durch gezielte Vibrationen der Membranen verfolgt.

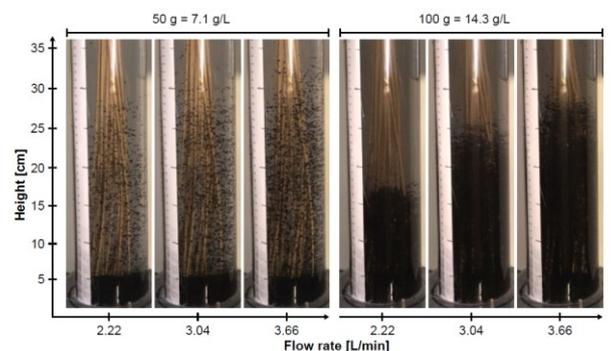


Abb. 26: Untersuchung des Reinigungseffektes von Ultrafiltrationsmembranen durch granulierte Aktivkohle



**NATALIE  
MAGALHÃES**  
(M.Sc.)

BIS 4/18  
089/28913797  
NC.MAGALHAES  
@TUM.DE

## Kommunale Abwasserbehandlung mit Umkehrosmose-Membranverfahren, Biofiltration und UV-AOP zur Wasserwiederverwendung

Die Wiederverwendung von Wasser ist eine der möglichen Alternativen, um die Wasserknappheit zu bekämpfen. Die Möglichkeiten zur Behandlung und Aufbereitung von Wasser, sollten den beabsichtigten Endzweck der Verwendung berücksichtigen, wie z. B. zur Stützung einer Trinkwasserversorgung. Die Umkehrosmose (UO) ist ein effizientes Membrantrennverfahren zur Trinkwassergewinnung durch Aufbereitung von Wasser aus belasteten Oberflächen- oder Grundwässern sowie Kläranlagenabläufen. Trotz der Fortschritte in der Technologieentwicklung ist das Membranfouling beim Betrieb von UO-Membranen weiterhin einer der wichtigsten Faktoren für die erfolgreiche Anwendung dieser Technologie. Die Biofouling-Kontrolle wird als eine der größten Herausforderungen beim Betrieb von Membransystemen angesehen, die in Abbildung 27 dargestellt ist. Dies hängt damit zusammen, dass Biofouling zu höheren Betriebsdrücken, einem häufigem Bedarf an chemischen Reinigungen, einer verkürzten Lebenserwartung der Membrane und einer beeinträchtigt Wasserqualität führt.

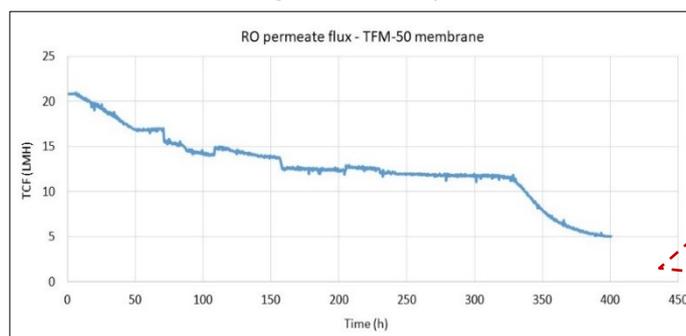


Abb. 27: Überwachung des UO-Permeatflusses über die Zeit während der kommunalen Abwasserbehandlung und der Membranoberfläche nach Auftreten von Biofouling

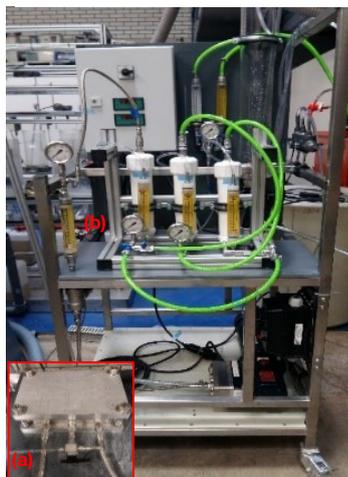


Abb. 28: Umsetzung des RO-Membransystems mit flexibler Konfiguration: (a) flaches Blech oder (b) spiralgewickeltes Modul.

Ein besseres Verständnis der Eigenschaften von Biofouling und der zugrundeliegenden Mechanismen kann dazu beitragen, das Biofilmwachstum besser zu kontrollieren, Vermeidungsstrategien zu entwickeln und den nachhaltigen Betrieb von Membransystemen für die Trinkwasserproduktion zu verbessern. Ein Membransystem (Abb. 28) mit einer flexiblen Konfiguration (Flachmembranen sowie Wickelmodule) wurde im Labormaßstab verwendet, um die Leistung von UO-Membranverfahren in der Trinkwasserproduktion bewerten zu können. Des Weiteren wurden Biofilter eingesetzt, um den Abbau von organischen Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht zu untersuchen. Als finale Behandlungsstufe für die Wiederverwendung von Wasser wird UV / AOP.

FÖRDERUNG:  
DAAD

KOOPERATION:  
FEDERAL  
UNIVERSITY OF  
MINAS GERAIS,  
BRASILLEN



**PHILIPP MICHEL**  
(M.Sc.)

BIS 7/18  
089/28913797  
PHILIPP.MICHEL  
@TUM.DE

## Optimierung regulativer und operativer Rahmenbedingung zum dynamischen Betrieb von Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung

Der Fokus dieser Studie liegt auf der Modellierung der Entfernung von Spuren organischer Chemikalien und Surrogat-Parametern in der weitergehenden Abwasseraufbereitung. Fragen im Zusammenhang mit Daten, Modellstrukturen, Eingliederung von Variabilität und Unsicherheit, Kalibrierung, potentielle Surrogatparameter und Modellvalidierung werden untersucht.

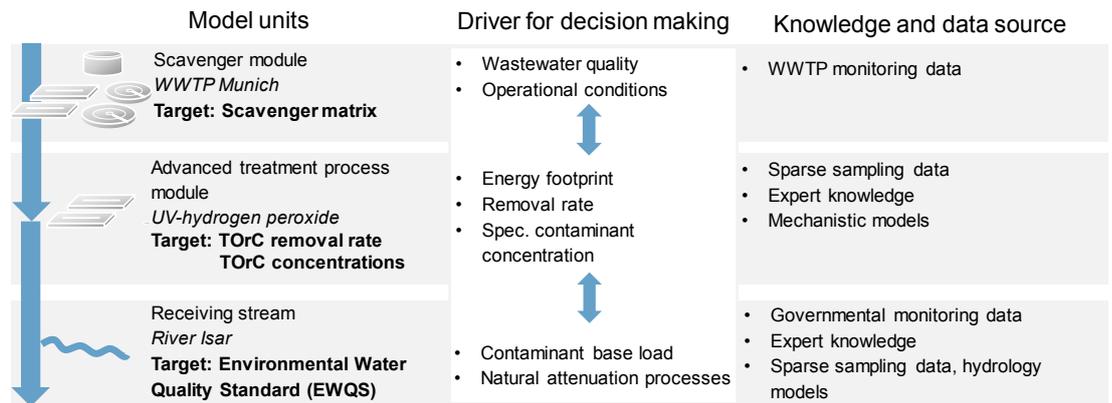


Abb. 29: Modellierungseinheiten zur Vorhersage unterschiedlicher Zielgrößen.

Wie in Abb. 29 gezeigt, konzentrieren sich die Forschungsstudien auf drei verschiedene Modelleinheiten, in denen die ersten zwei datengesteuerte maschinelle Lernstrategien verwenden, um die verschiedenen Zielparameter zu modellieren. Die dritte Modelleinheit stellt die entwickelten Modelle in einen Expertenwissens-Entscheidungsrahmen, der es ermöglicht, zentrale operative Szenarien darzustellen und die einzelnen Unsicherheiten transparent darzustellen. Dieser Ansatz könnte zu erheblichen Einsparungen beim Gesamtenergieverbrauch und damit zu niedrigeren Kosten und Treibhausgasemissionen führen. Unter Verwendung modernster statistischer Modellierungsansätze wird diese Forschung die Vorhersagekapazität für verschiedene Schadstoffkonzentrationen in der Abwasserbehandlung und nachgeschalteter Umweltsystemen wie vorrangig Flüssen verbessern.

Im Jahr 2018 haben wir ein Programm weiterentwickelt, um Daten vorzuerarbeiten und erweiterte multivariate Analysen durchzuführen. Hierbei wird die Eignung und Genauigkeit mehrerer Algorithmen für maschinelles Lernen (Klassifikation) evaluiert. Abbildung 30 zeigt einen Auszug der Modellierungsergebnisse für verschiedene maschinelle Lernalgorithmen zur Vorhersage einer Zielgröße (in diesem Fall des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC)). In Abb. 30 wird ersichtlich, dass unterschiedliche Lernalgorithmen ein weites Leistungsspektrum erfassen und eine differenzierte Analyse zielführend erscheint.

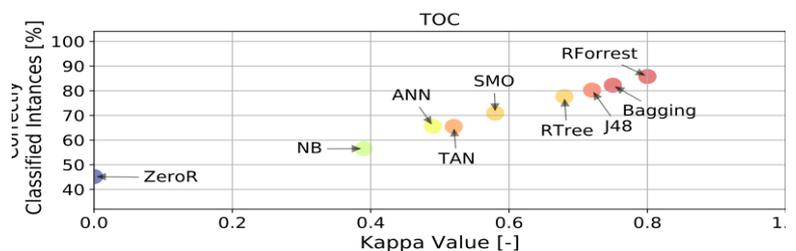


Abb. 30: Vergleich verschiedener maschineller Lernalgorithmen für die klassifizierte Vorhersage des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC). Verschiedene Algorithmen: ZeroR, Naïve Bayes (NB), Baumverstärkte Naive Bayes (TAN), Künstliches Neuronales Netzwerk (ANN), Sequentielle Minimale Optimierung (SMO), Zufallsbaum (RTree), J48, Bagging (mit J48), Random Forest.

FÖRDERUNG:  
TUM-INSTITUTE  
OF ADVANCED  
STUDY;  
DAAD

KOOPERATION:  
UNIVERSITY OF  
NEW SOUTH  
WALES,  
AUSTRALIEN



**CHRISTIAN  
WURZBACHER**  
(DR. RER. NAT.)

089/28913797  
C.WURZBACHER  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme

Die Forschungsgruppe Mikrobielle Systeme konzentriert sich auf die Untersuchung mikrobieller Prozesse in aquatischen und technischen Systemen, die von der biologischen Abwasserbehandlung bis hin zu Oberflächenwasserökosystemen reichen. Wir erforschen neue Wege, um mikrobielle Funktionen besser zu verstehen, auch auf enzymatischer Ebene. Ein Schwerpunkt der Forschung ist die Interaktion von mikrobiellen Mitgliedern innerhalb mikrobieller Biofilme.

Mikroben besitzen eine Reihe von Enzymen für den Abbau aller Arten von Substanzen, die von hochmolekularen Polymeren bis hin zu aromatischen Verbindungen reichen. Pilze sind eine Gruppe von Mikroorganismen, die sehr effiziente Exoenzyme produzieren, welche schwer abbaubaren organischen Stoffe transformieren können. Interessant sind vor allem die weitgehend unerforschten aquatischen Pilze, die sich potentiell in Abwasserreaktoren einsetzen lassen. Weitere Forschungsarbeiten befassen sich mit der Charakterisierung der taxonomischen und funktionellen Vielfalt mikrobieller Gemeinschaften mit spezifischen Funktionen, z.B. mikroschadstoffabbauende Gemeinschaften oder dem Schicksal von Antibiotikaresistenzgenen im Wasserkreislauf. Häufig werden molekulare Methoden wie qPCR oder Next-Generation-Sequenzierung (Metabarcoding, Metagenomics und Metatranscriptomics) eingesetzt (Abbildung 31).



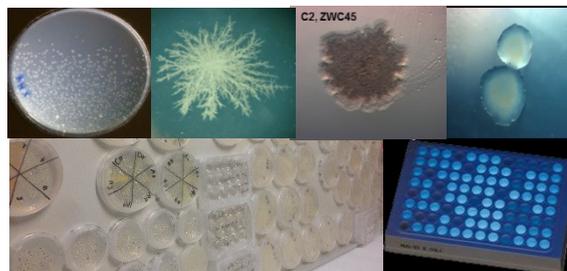
*Abb. 31: qPCR Analyse, die auf verschiedene Antibiotikaresistenzgene abzielt, und ein Handheld-Sequenzier der dritten Generation zur Analyse von Markergenen, mikrobiellen Genomen und Metagenomen.*

Darüber hinaus arbeiten wir derzeit an einer kleinen Kultursammlung mit Modellkulturen mit dem Ziel, das ungenutzte Potenzial von nicht kultivierbaren Mikroorganismen aus urbanen Gewässern zu erschließen (Abb. 32). Diese funktionalen Minimalgemeinschaften haben das Potenzial, Schadstoffe wie organische Spurenstoffe zu entfernen und könnten somit bedeutend für angewandte Behandlungsverfahren sein.

*FÖRDERUNG:*  
BAYFRANCE

*KOOPERATIONEN:*

LEIBNIZ IGB;  
UNIVERSITÄT  
GÖTEBORG;  
UFZ LEIPZIG;  
FU BERLIN;  
YOKAHAMA  
NATIONAL  
UNIVERSITY;  
INRA NARBONNE



*Abb. 32: Klassische und neue modellbasierte mikrobiologische Kultivierung auf Agarplatten und in flüssigen Medien (Serumflaschen und Mikroplatten) unter Verwendung spezifischer Nährstoffrezepturen zum Nachweis und zur Quantifizierung einer Vielzahl von Mikroorganismen.*



**OLIVER KNOOP**  
(DR. RER. NAT.)

089/28913702  
O.KNOOP  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Spurenstoffe in der Umwelt

Durch das moderne menschliche Leben gelangt eine große Bandbreite von Substanzen mit teilweise starker biologischer Aktivität in die Umwelt. Zu diesen Substanzen zählen neben Erdölbestandteilen, Pestiziden und Industriechemikalien auch Haushaltschemikalien und Arzneimittelwirkstoffe (Schmerzmittel, Antibiotika, Röntgenkontrastmittel, etc.). Zwar finden sich oft nur Spuren ( $< \mu\text{g/L}$ ) dieser Substanzen in der Umwelt, jedoch können einige Substanzen auch in diesen Konzentrationen für Effekte auf Mensch und Tier sorgen.



Abb. 33: Pharmaka

Im Fokus dieser Arbeitsgruppe ist daher die Entwicklung neuer Methoden zum Nachweis von Spurenstoffen in der Umwelt und die Untersuchung der Veränderung von Spurenstoffen durch natürliche und oxidative Prozesse. Ein besonderes Interesse liegt hier in der Wasseranalytik zur Bewertung von Wasseraufbereitungsprozessen und zur Bestimmung des Zustands der aquatischen Umwelt.



**JOHANNA  
GRASSMANN**  
(PD DR. HABIL.)

089/28913709  
J.GRASSMANN  
@TUM.DE

Die aktuellen Ziele der Arbeitsgruppe im Überblick:

- Entwicklung neuer Methoden zur Quantifizierung bekannter Substanzen (Target Screening)
- Anwendung neuester Methoden zur Identifikation unbekannter Substanzen in komplexen Matrices (Suspect / Non-Target Screening)
- Entwicklung neuer Hybrid-Methoden zur Identifizierung von biologisch aktiven Substanzen durch Kombination von Trenntechniken und Effekt-basierten Assays
- Aufklärung von natürlichen und oxidativen Abbauprozessen und Bestimmung von daraus resultierenden Abbauprodukten
- Entwicklung neuer Methoden zur Bestimmung des Sorptionsverhaltens von Spurenstoffen auf Mikroplastik-Partikel



Abb. 34: Triple-Quad  
Massenspektrometer

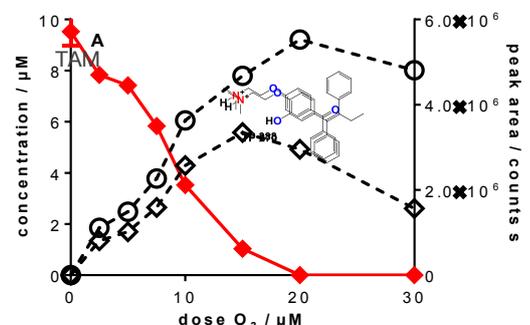


Abb. 35: Verlust der Ausgangssubstanz und  
Bildung von Transformationsprodukten  
bei der Ozonung



**LARA  
STADLMAIR**  
(DR. RER. NAT.)

BIS 6/18  
089/28913711  
LARA.STADLMAIR  
@TUM.DE

## Massenspektrometrische Untersuchung enzymatischer Reaktionen - Charakterisierung, Miniaturisierung und Anwendung für Umweltproben

Organische Spurenstoffe (TOrc) sind Kohlenstoffverbindungen, die in der aquatischen Umwelt in Konzentrationen zwischen 10 und 100 ng/L allgegenwärtig vorkommen. Das Spektrum dieser Substanzen ist breit gefächert und umfasst TOrcs aus Pharmazeutika, Kosmetikprodukten oder Pestiziden. Aufgrund von Persistenz, Bioakkumulation und Toxizität ist es notwendig, effiziente und wirtschaftliche Entnahmetechniken zu entwickeln.

Hier bietet sich der gezielte Einsatz von Enzymen an, da sie häufig über ein breites Substratspektrum verfügen und vielseitige Reaktionstypen katalysieren können. Enzyme bieten somit ein breites Anwendungsspektrum und eröffnen neue Möglichkeiten für Umwelttechnologien, insbesondere für biologische Wasseraufbereitungsprozesse. Einige Studien nutzten bereits das Potenzial oxidativer Enzyme wie Peroxidasen oder Laccasen zum Abbau von TOrcs. Erst kürzlich konnte gezeigt werden, dass Enzyme wie Amidasen, Monooxygenasen und Carboxylesterasen am Abbau dieser Verbindungen beteiligt zu sein scheinen. Neben spektroskopischen Methoden, wie z. B. photometrische oder Fluoreszenz-Detektion, besteht auch die Möglichkeit, enzymatische Reaktionen mit massenspektrometrischen Nachweisverfahren zu koppeln. Die direkte Kopplung ermöglicht eine kostengünstige und simultane massenspektrometrische Charakterisierung aller ionisierbaren Assaykomponenten, insbesondere Substrat (e), Produkt (e) und Zwischenprodukte.

Ein weiteres Ziel ist die Untersuchung des Potenzials ausgewählter Enzyme zum Abbau und zur Transformation von TOrcs mittels MS-basierter in vitro Enzymassays. Das schnelle Screening des enzymatischen Abbaus erfolgt mit einem chipbasierten robotergestützten Nano-ESI-MS-Tool. Der TriVersa NanoMate® fungiert als externe Ionisationsquelle für MS und kann Reaktionsbedingungen wie Inkubationszeit und -temperatur steuern. Bisher wurden drei Laccasen, zwei Tyrosinasen und zwei Peroxidasen auf ihre Fähigkeit untersucht, zehn Pharmazeutika (Carbamazepin, Gabapentin, Metoprolol, Primidon, Sulfamethoxazol und Venlafaxin) und Benzotriazol abzubauen. Die Peroxidase aus Meerrettich und eine Laccase von *Trametes versicolor* erwiesen sich als das effizienteste Enzymsystem. In einem nächsten Schritt werden in High-Flow-Experimenten mittels Direktinfusion über ein Injektionsventil enzymatische Umsetzungen in TOrc- und/oder Enzymgemischen (Multiplex-Assays) untersucht. Die gezielte und nicht zielgerichtete Charakterisierung und Identifizierung von Transformationsprodukten erfolgt mit zwei MS-Workflows: (1) Umkehrphasen Flüssigkeitschromatographie (RPLC) gekoppelt mit MS/MS und (2) RPLC-hydrophile Interaktions-LC-(ToF)/MS.

Das schnelle Screening des Abbaupotenzials und der Effizienz von Enzymen kann dazu beitragen, geeignete Abbauprozesse zu optimieren, um TOrcs zu reduzieren. Die Charakterisierung von Reaktionsmechanismen soll darüber hinaus dazu beitragen, das chemische Verhalten von TOrcs insbesondere in Kläranlagen zu verstehen.



**THOMAS  
LETZEL**  
(PD DR.)

089/28913780  
T.LETZEL  
@TUM.DE

## FOR-IDENT – Neue Strategien und Workflows im Bereich des „Hidden-Target Screenings“

Das Projekt FOR-IDENT (FI) ist ein mehr-jähriges vom BMBF gefördertes Projekt und führt die Arbeiten des RISK-IDENT Projektes der Jahre 2012-2014 fort mit Fokus auf Erstellung von Handlungsanweisungen und Einbindung der Datenbank STOFF-IDENT in eine erweiterte Arbeitsplattform. In dieser ‚FOR-IDENT‘ Arbeitsplattform werden weiterführende Software-Tools sowie Datenbanken miteinander verbunden um sogenannte ‚Workflows‘ zur Auswertung analytischer LC-MS/MS Daten zu gewährleisten.

Neue Strategien und Workflows sollen dem Anwender von Non-Target Screening Methoden helfen, Moleküle schneller und einfacher zu identifizieren. Derzeit sind zwei etablierte Workflows integriert. Die Flüssigchromatographie gekoppelt mit der Massenspektrometrie für polare und sehr polare Moleküle (HILIC) sowie für mittel- bis unpolare Moleküle (RPLC).

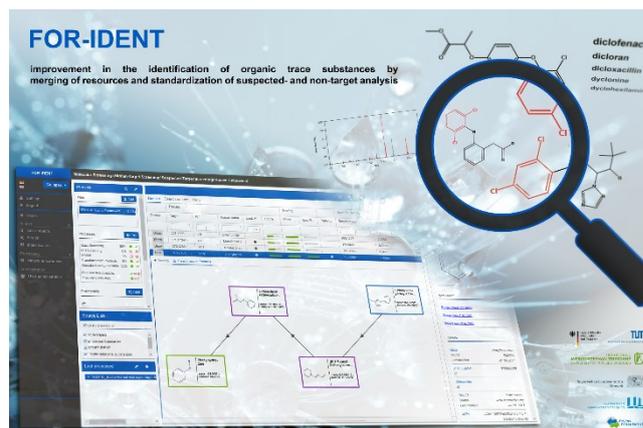


Abb. 36: Darstellung der FOR-IDENT Plattform Info in aktuellen Fachzeitschriften

**FÖRDERUNG:**  
BMBF RISKWA

**KOOPERATION:**  
LANDESAMT FÜR  
UMWELT  
(LFU);  
HOCHSCHULE  
WEIHENSTEPHAN  
-TRIEDORF  
(HSWT);  
ZWECKVERBAND  
LANDESWASSER-  
VERSORGUNG  
(LW)

Die Anwendung der im RISK-IDENT Projekt entwickelten Stoffdatenbank STOFF-IDENT spielt dabei eine zentrale Rolle (siehe auch <https://www.lfu.bayern.de/stoffident/#!home>). Hiermit können -durch verschiedene Filtermöglichkeiten- Vorschläge möglicher Analyten in einer Wasserprobe vorgenommen werden. Weiterhin sind auf der Arbeitsplattform derzeit MS/MS Datenbanken wie MassBank und Vorhersagewerkzeuge, wie MetFrag und EnviPath integriert. Dies erlaubt in einem Zuge die Nutzung von biologischen, chemischen bzw. physiko-chemischen sowie analytischen Metadaten. In dem Projekt FOR-IDENT sind weitere Anbindungen wie ökotoxikologische Datenbanken geplant.

Das Projekt wurde nun final bis 2019 verlängert und FI wird dann fest etabliert unter <https://water.for-ident.org/> als Produkt des Open-Data Konzeptes zur Verfügung stehen.



**ROFIDA  
WAHMAN**  
(M.Sc.)

089/28913707  
ROFIDA.WAHMAN  
@TUM.DE

## Neue analytische Strategien zur Bestimmung anthropogener Spurenstoffe in Pflanzen : Pflanzliche Biomonitore für Verunreinigungen in der Umwelt

Pflanzen spielen in unserem Leben eine alltägliche und wesentliche Rolle. Sie versorgen uns mit Nahrung und eine Vielzahl darin enthaltener sekundärer Metabolite können gesundheitsförderliche Einflüsse haben. Des Weiteren binden Pflanzen riesige Mengen an Kohlenstoffdioxid und können die Umwelt von Spurenstoffen reinigen. Letzteres konnte schon mit Spurenstoffen wie Pharmaka gezeigt werden, z.B. dem Diclofenac, welches in Oberflächengewässern bis zu  $\mu\text{g/L}$ -Konzentrationen zu finden ist (Abb. 37).

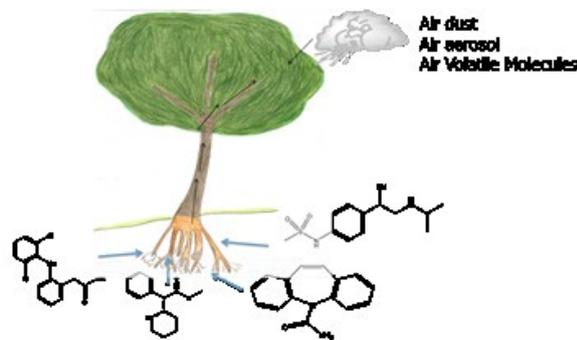


Abb. 37: Darstellung der FOR-IDENT Plattform Info in aktuellen Fachzeitschriften

Dabei werden die aufgenommenen Pharmaka nicht wieder ausgeschieden sondern eher in die pflanzeigenen Vakuolen eingelagert.

Das seit Ende 2016 bearbeitete Projekt beschäftigt sich nun mit der analytischen Erfassung von metabolischen Änderungen der Pflanze sowie der Erfassung der Spurenstoffe inklusive deren potentieller Abbauprodukte.

Diese Studien wurden mit unterschiedlichen Pflanzen sowie mit (und ohne) unterschiedlichen Spurenstoffen durchgeführt und unterschiedliche Extrakte unterschiedlicher Pflanzenteile wurden mittels RPLC-HILIC-MS vermessen. Die Daten wurden für mehrere hundert Substanzen in (sehr) polaren bis unpolaren Bereich erfasst und werden derzeit und im kommenden Jahr auf deren statistische Nutzbarkeit hin untersucht und auf deren Aussagekraft auf den Einfluss des Pflanzenmetabolismus hin geprüft. Letztlich entsteht dadurch derzeit auch eine stark gefüllte open-access Datenbank mit Pflanzenmetaboliten (PHRAGMITES-IDENT) und wird implementiert in die Analytische Plattform FOR-IDENT zur Auswertung von Non-Target Screening Daten (siehe auch FOR-IDENT; see <https://water.for-ident.org/>).

Diese Arbeiten führen u.a. zur Nutzbarmachung von sogenannten Non-Target Screening für die Untersuchung von Pflanzenmolekülen.

**FÖRDERUNG:**  
BAYERISCHES  
STAATSMINISTERIUM  
FÜR UMWELT  
UND  
VERBRAUCHERSCHUTZ

**KOOPERATION:**  
RESEARCH UNIT  
ENVIRONMENTAL  
GENOMICS,  
HELMHOLTZ  
ZENTRUM  
MÜNCHEN



**JOHANNA  
GRABMANN**  
(PD DR. HABIL.)

089/28913709  
J.GRASSMANN  
@TUM.DE



**JULIA REICHEL**  
(M.SC.)

089/28913711  
JULIA.REICHEL  
@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
BUNDESMINISTE-  
RIUM  
FÜR BILDUNG  
UND  
FORSCHUNG;  
BAYERISCHE  
FORSCHUNGS-  
STIFTUNG

## Analytik und Umweltverhalten von Mikroplastik

Im Jahr 2018 kontinuierlich zwei neue Forschungsprojekte zum Thema Mikroplastik. Mikroplastik ist ein weltweites Umweltproblem, dessen Ausmaße und Auswirkungen noch unzureichend erforscht sind. In den Projekten sollen innovative Analysemethoden entwickelt und das Umweltverhalten von Mikroplastik erforscht werden.

## SubµTrack – Innovative Analysemethoden für Submikroplastik



Der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft ist Koordinator eines vom BMBF geförderten neuen Forschungsvorhabens zum Thema Submikroplastik. Aufgrund fehlender Analysemethoden und toxikologischer Daten ist derzeit eine Bewertung vor

allem der besonders kleinen Mikropartikel (Submikropartikel 50 nm – 100 µm) nicht möglich. Diese Submikropartikel besitzen aber wegen ihrer möglichen Zellgängigkeit und ihrer im Vergleich größeren spezifischen Oberfläche potentiell höhere (öko)toxikologische Relevanz. Um Erkenntnisse zu Verbreitung und Auswirkungen dieser Partikel zu erhalten, sind innovative und vernetzte Ansätze nötig, die Mikroplastik sowohl als Umweltproblem als auch als gesellschaftliche Herausforderung erforschen.

In dem Forschungsvorhaben werden daher innovative Analyse- und Bewertungsmethoden erarbeitet, die es erlauben, Plastikpartikel verschiedenster Größenbereiche in unterschiedlichen Proben und Prozessen zu analysieren und deren Toxizität zu beurteilen. Von der TUM sind neben dem koordinierenden Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft (Prof. J.E. Drewes, PD Dr. J. Grabmann), der Lehrstuhl für Analytische Chemie und Wasserchemie (Prof. M. Elsner, Dr. N. P. Ivleva), der Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie (Prof. J. Geist, Dr. S. Beggel), der Lehrstuhl für Tierphysiologie und Immunologie (Prof. M. Pfaffl) und die Professur für Wissenschafts- und Technologiepolitik (Prof. R. Müller) beteiligt. Weitere Partner sind das Institut für Grundwasserökologie am Helmholtz Zentrum München, das Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) in Duisburg, das Bayerische Landesamt für Umwelt und das Umweltbundesamt. Als Industriepartner sind die Postnova Analytics GmbH und die BS-Partikel GmbH beteiligt.

Der Schwerpunkt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft ist die Untersuchung von Sorptionsprozessen von Schadstoffen auf Submikropartikel. In Vorversuchen werden dabei die ausgewählten Spurenstoffe Acetamid, Benzophenon, Bisphenol A, Cypermethrin, Tonalid und Phenanthren auf ein Adsorbiermaterial (Gerstel Twister) adsorbiert und mit Thermodesorption-GC-MS desorbiert. In einem weiteren Vorversuch wird eine Datenbank für Polymere generiert. In dieser wird das Pyrolyseverhalten von Polymerarten (Polystyrol, Polyamid, Polyethylenterephthalat, Polyurethan, Polylactide, Polymethylmethacrylat, Polyethylen), erfasst. Analysiert werden die Proben mit Pyrolyse-GC/MS (Pyr-GC/MS). Für eine qualitative Charakterisierung der Polymere, werden außerdem verschiedene Größen, Additive und gealterte Partikeln untersucht.

Langfristig wird das Ad- und Desorptionsverhalten der ausgewählten Spurenstoffe auf den verschiedenen Polymerarten untersucht. Mit Hilfe einer innovativen Entwicklung des TED-Pyr-GC/MS ist die Identifizierung der adsorbierten Schadstoffe und der Art des Kunststoffes in einem einzigen Analyseschritt möglich. Zunächst werden die Schadstoffe durch Thermodesorption aus den Partikeln desorbiert und mit GC/MS analysiert. Anschließend werden die Polymere durch Pyrolyse zersetzt. Die Pyrolyseprodukte und damit der Kunststofftyp wird mittels GC/MS-Analyse identifiziert. Außerdem wird die Analytik der Proben von Projektpartnern durchgeführt. Am Ende des Projektes werden validierte Analysemethoden und toxikologische Daten stehen, die eine Risikoabschätzung erlauben und gemeinsam mit einer sozial- und rechtswissenschaftlichen Bewertung soziale und politischer Rahmenbedingungen als Grundlage für die Entwicklung von Handlungsstrategien dienen können.

Homepage: [www.wasser.tum.de/submuetrack](http://www.wasser.tum.de/submuetrack)



**MOHAMMED  
AL-AZZAWI**  
(M.Sc.)

089/28913720  
MOHAMMED  
.AL-AZZAWI  
@TUM.DE

## MiPAq – Forschungsprojekt zu Mikroplastik in Gewässern und Lebensmitteln



Der Schwerpunkt dieses von der Bayerischen Forschungsförderung geförderten und vom TUM Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie koordinierten Projekts liegt auf der Gegenüberstellung von Partikeln aus biologisch abbaubaren Kunststoffen, nicht abbaubaren Kunststoffen und natürlichen Partikeln.

Gegenüber existierenden Studien zum Thema Mikroplastik wird in diesem Forschungsprojekt die Verwendung von Biopolymeren als Ersatz für herkömmliche Kunststoffe berücksichtigt. Darüber hinaus zeichnet sich dieses Projekt durch eine ganzheitliche Betrachtung dieser Thematik von der Umwelt bis zum Lebensmittel aus. Durch die Kombination chemisch-analytischer und ingenieurwissenschaftlicher Expertise sowie naturwissenschaftlich-ökologischer Betrachtung soll eine transdisziplinäre und objektive Bewertung der Thematik erfolgen, um technologische Lösungsansätze zu entwickeln, die in Unternehmen der Lebensmittelbranche später angewendet werden können. Neben der Wissenschaft sind daher zahlreiche Partner aus der Wirtschaft beteiligt.



**MOHAMMED  
AL-AZZAWI**  
(M.Sc.)

089/28913720  
MOHAMMED  
.AL-AZZAWI  
@TUM.DE

## Validierung der Analysemethoden für Mikro & Submikroplastik in Umweltmatrices

Umweltmatrices sind hoch komplex und enthalten neben viele organischer und anorganischer Materie auch kleinste Partikel aus Plastik, sogenanntes Mikroplastik (MP). Um den Gehalt und die Art von MP in Umweltproben festzustellen, muss die organische und anorganische Materie durch eine geeignete Probenaufbereitung entfernt werden. Diese Methoden beinhalten häufig die Verwendung von starken Säuren, Basen oder Oxidationsmittel, welche aber auch die Plastikpartikel selbst angreifen können. Dadurch kann es zu einer Veränderung der Oberfläche und/oder Größenverteilung kommen.

Bisher gibt es in der Literatur nur unzureichende Informationen bezüglich der Validierung von Probenaufbereitungsmethoden. Dazu zählen:

- Untersuchungen für Partikelgröße im Bereich  $< 500 \mu\text{m}$
- Vergleich von Partikeln verschiedener Größen
- Untersuchungen mit Partikeln mit vs. ohne Zusatzstoffe
- Untersuchungen mit neuen vs. gealterten Partikeln

Ziel der ersten Projektphase ist die Untersuchung von Einflüssen der Aufbereitungsmethoden auf unterschiedliche Plastikpartikel und die Bestimmung geeigneter Methoden zur Aufbereitung natürlicher Proben. Dabei liegt der Fokus auf den Effekten der Aufbereitungsmethoden auf verschiedenen MP im Größenbereich von  $50 - 250 \mu\text{m}$ . Dabei werden die Effekte der am häufigsten in der Literatur verwendete Reinigungsmethoden zunächst durch ein optisches Mikroskop untersucht, wodurch quantitative (Größenverteilung) sowie qualitative (Oberflächenstruktur) Veränderungen an den Partikeln bestimmt werden können. Später werden diese Versuche mit der Raman- und FT-IR Spektroskopie wiederholt.



Abb. 38: Probenaufbereitung zur Untersuchung der Vorbehandlungsmethoden

FÖRDERUNG:  
BAYERISCHE  
FORSCHUNGS-  
STIFTUNG

## Weitere (Forschungs)aktivitäten

---

### NeXus of Water, Food and Energy

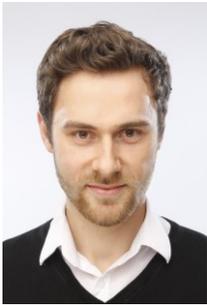
Der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft arbeitet im vom DAAD geförderten Projekt **NeXus of Water, Food and Energy** mit. Das Projekt behandelt das Zusammenspiel und die gegenseitige Beeinflussung der limitierten Ressourcen Wasser, Nahrung und Energie mit akademischen Partnern in Äthiopien und Tansania und wird vom Lehrstuhl für Wasserbau (Prof. Rutschmann) koordiniert.

### Young Water Reuse Professionals (YWRP)

Mitarbeiter des Lehrstuhls unter Federführung von Frau Sema Karakurt engagieren sich in der 2015 gegründeten **Young Water Reuse Professionals (YWRP)** Gruppe der IWA Water Reuse Special Group (WRSG). Ziel ist die internationale Vernetzung der "Jungwissenschaftler" untereinander sowie der Austausch mit "Seniorwissenschaftlern" und Industrievertretern im Bereich des Wasser Recyclings. Die Aktivitäten beinhalten die Unterstützung von Plattformen und Strukturen für den gegenseitigen Austausch (IWA Connect), WRSG Newsletter sowie Mitarbeit bei der Planung der IWA Water Reuse Specialist Conferences. Momentan unterstützt die YWRP Gruppe die Vorbereitung der 12<sup>th</sup> IWA International Water Reuse Conference in Berlin im Juni 2019.

Interessierte wenden sich bitte an Sema Karakurt: [sema.karakurt@tum.de](mailto:sema.karakurt@tum.de)

## Externe Doktoranden



**JOCHEN  
BANDELIN**  
(M.Sc.)

JOCHEN  
.BANDELIN  
@TUM.DE

**Jochen Bandelin** ist als Verfahrenstechnik-Ingenieur für die Entwicklung hocheffizienter Ultraschallsysteme zur Klärschlammbeschallung im Unternehmen BANDELIN electronic GmbH & Co.KG in Berlin zuständig. Seine Doktorarbeit wird von Prof. Jörg Drewes und Dr. Konrad Koch betreut.

Der Fokus der Doktorarbeit liegt auf der systematischen Untersuchung der Aufschlussleistung ultraschallinduzierter Kavitation in hochviskosen Medien. Die mittels piezokeramischer Ultraschallsysteme erzeugte Ultraschallenergie soll dabei die Partikel in anaeroben Prozessen derart aufschließen, dass eine erhöhte biologische Abbaubarkeit und infolgedessen eine gesteigerte Gasproduktion erreicht wird. Für eine deutlich positive Energiebilanz des Prozesses müssen jene Beschallungsformen ermittelt werden, welche durch ein optimales Verhältnis von Amplitude, Feldgröße, Ultraschall-Frequenz und Leistungsdichte, die höchste Effizienz bei der Beschallung der Schlämme unterschiedlicher Viskosität erreichen. Zunächst wurde dafür die Entstehung und Ausbreitung von Kavitationsfeldern in hochviskosen Medien experimentell untersucht und mit dem Verhalten von Kavitationsfeldern in Wasser verglichen (Abbildung 39). Dies wurde mit einem neuartigen akustischen Messverfahren zur Bestimmung der Kavitationsrauschzahl durchgeführt.

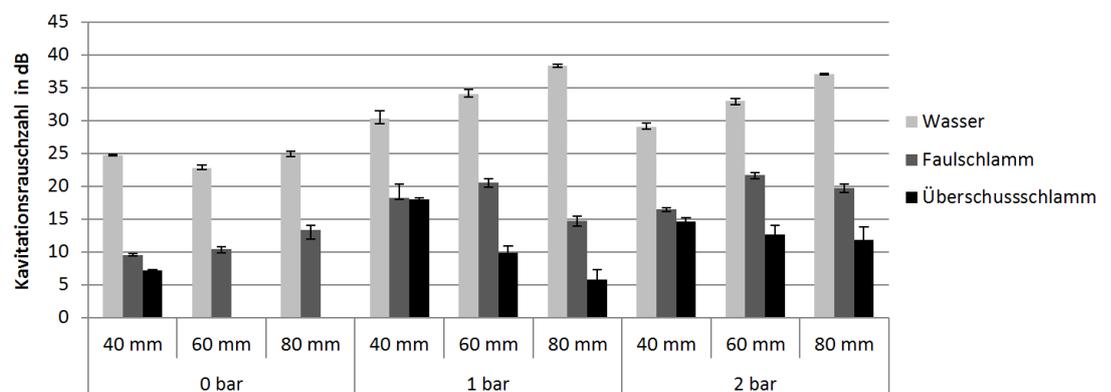


Abb. 39: Kavitationsrauschzahlen in Wasser, Klär- und Faulschlamm bei unterschiedlich großen Reaktionsspalten und Drücken (nach Bandelin et al., 2018).

Basierend auf den Ergebnissen der Laborexperimente wurde ein neues Reaktorkonzept entwickelt, das eine effiziente Vorbehandlung großer Schlammengen ermöglicht. Das System wurde in der Kläranlage Starnberg installiert und wird aktuell im großtechnischen Maßstab erprobt. Abschließend sollen bei der verfahrenstechnischen Betrachtung der verschiedenen Ultraschallkonzepte auch die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die Herstellungskosten und Lebensdauer untersucht werden.



**VASILIS  
DANDIKAS**  
(DR. RER. NAT.)

VASILIS  
.DANDIKAS  
@LFL.BAYERN  
.DE

*FÖRDERUNG:*  
BAYERISCHES  
STAATS-MINIS-  
TERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT,  
ENERGIE UND  
TECHNOLOGIE

**Vasilis Dandikas** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising. Das Ziel seiner Dissertation war die Entwicklung mathematischer Modelle zur Vorhersage der Ergebnisse des Biomethanpotentialtests (BMP-Test), die sowohl von Wissenschaftlern als auch von Praktikern verwendet werden können. In dieser Studie wurde eine neue Methode zur Vorhersage der Biogasausbeute und der Biogasproduktionsrate bezogen auf die Parameter der Futtermittelanalytik entwickelt. Futtermittelanalyse (Weender-Analyse mit van-Soest-Fraktion) und BMP-Tests (in Anlehnung an VDI 4630) mit hoher zeitlicher Auflösung wurden durchgeführt, um die statistischen Korrelationen zwischen der Biogasproduktionsrate bzw. der Biogasausbeute und der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Energiepflanzen zu identifizieren.

Die statistische Auswertung zeigte, dass der Biogasertrag durch drei analytische Parameter Lignin (ADL), Hemizellulose (HC) und Rohprotein (XP) mit einem Schätzfehler von lediglich 5 % vorhergesagt werden kann. Die Parameter Nichtfaser-Kohlenhydrate (NFC) und XP können als Regressoren für die Vorhersage der Biogasproduktionsrate dienen.

Die unabhängige Validierung der Modelle mit jeder einzelnen Probe zeigte bei den entwickelten als auch schon publizierten Modellen ähnliche Ergebnisse. Die Korrelation zwischen den gemessenen und vorhergesagten Werten war moderat, der Vorhersagefehler betrug 11 %. Bei der Vorhersage des Mittelwerts jeder Sorte schnitten alle vier getesteten Modelle besser ab. Darüber hinaus stellte das graslandspezifische Modell die Variation des Datensatzes mit einem Korrelationskoeffizient von 0,92 sehr gut dar und erreichte einen Vorhersagefehler von nur 2 %. Folglich eignen sich lineare Regressionsmodelle, um die Differenzierung auf die Biogasausbeute und die Substratplatzierung abzubilden.



**CHRISTIAN  
HILLER**  
(DIPL.ING.)

CHRIS.HILL  
@GMX.NET

**Christian Hiller** ist Diplomingenieur beim Zweckverband Klärwerk Steinhäule in Neu-Ulm und für den Bau und den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage zuständig. Im Rahmen seiner Doktorarbeit bei Herrn Professor Jörg Drewes wird er durch Herrn Dr.-Ing. Uwe Hübner der TU München mitbetreut. Der Fokus der Doktorarbeit liegt auf der systematischen Untersuchung der Reduktion von pathogenen antibiotikaresistenten Bakterien und Antibiotikaresistenzgenen durch Membranfilteranlagen als weitergehende Reinigungsstufe der kommunalen Abwasserreinigung. Die Membranfilteranlagen sollen mit Abwasser der Nachklärung, Abwasser der Pulveraktivkohleanlage und Abwasser der Aktivkohleanlage mit nachgeschalteter Sandfiltration betrieben werden. Ziel der Untersuchungen ist die maximale Entfernungsrates an antibiotikaresistenten Bakterien und Antibiotikaresistenzgenen unter wirtschaftlichen Betriebsbedingungen zu finden. Im Besonderen werden hierbei Messgrößen identifiziert, mit denen die Membrananlagen so betrieben werden können, dass

gewünschte Entfernungsraten an antibiotikaresistenten Bakterien und Antibiotikaresistenzgenen durch Steuerung und Regelung erreicht werden können. Zu diesem Zweck werden Messwerte (TOC, SAK, Trübung, Totalzellzahl, Wechselstromwiderstand) durch verschiedene Online-Messgeräte generiert und mit Analysen von antibiotikaresistenten Bakterien sowie Antibiotikaresistenzgenen verglichen. Anhand der Betriebsdaten der Membranfiltration der Versuchsanlagen sollen Bemessungsgrößen für eine Membranfilteranlage im Großmaßstab erstellt werden.



**BÁRBARA RICCI**  
(M. Sc.)

BARBARARICCI  
@UFMG.BR

*FÖRDERUNG:*  
COORDINATION  
FOR THE  
IMPROVEMENT  
OF HIGHER  
EDUCATION  
PERSONNEL,  
BRASILien

**Bárbara Ricci** ist eine Gastdotorandin vom Department of Sanitary and Environmental Engineering der Federal University of Minas Gerais (Brasilien), die von Prof. Miriam Amaral betreut wird. Ferner ist sie Assistenzprofessorin am Department of Chemical Engineering der Pontifical Catholic University of Minas Gerais (Brasilien). Im Rahmen ihres Aufenthaltes bei uns untersucht sie den Einfluss des Salzgehaltes in anaeroben osmotischen Membran-Bioreaktoren (OMBR) auf die Entfernung von organischen Spurenstoffen (TrOCs). Die Versuche werden von Herrn Dr. Konrad Koch und Herrn Dr. Bertram Skibinski co-betreut.

OMBR ist eine neuartige Integration der Forward Osmosis (FO) in die biologische Abwasserbehandlung. In diesen Systemen wird eine nicht poröse osmotisch angetriebene Membran (FO-Membran) als Alternative zur mikroporösen Membran in herkömmlichen Membranbioreaktoren (MBR) verwendet. Dem Abwasser wird durch einen hohen osmotischen Druck spontan Wasser entzogen. Triebkraft dafür ist eine Ziehlösung mit sehr hohem Salzgehalt. Im Vergleich zu herkömmlichen MBRs führt das hohe Rückhaltevermögen der FO-Membran dazu, dass kleine und persistente TrOCs im Reaktor effektiv zurückgehalten werden, wodurch ihre Retentionszeit erhöht und der biologische Abbau verbessert wird. Insbesondere für die Entfernung TrOCs wird der OMBR-Ansatz als eine interessante Alternative bei der Abwasserbehandlung und Trinkwasserrückgewinnung angesehen. Trotz seiner Vorteile ist der Salzgehalt in OMBR bekanntlich eine der größten Herausforderungen. Er kann die mikrobiologische Aktivität im Bioreaktor und damit die Behandlungseffizienz negativ beeinträchtigen. Die Erhöhung des Salzgehaltes ist durch die starke Retention von Salzen aus dem Abwasser durch die FO-Membran und durch den Übertritt von Salz aus der Ziehlösung bedingt.

Zur Aufklärung des Einflusses des Salzgehaltes werden Batchtests unter Verwendung der Salzkonzentration im stationären Zustand durchgeführt, die für einen OMBR mit einer HRT von 8 Stunden, einer SRT von 20 Tagen und einer Celluloseacetat-FO-Membran vorhergesagt wird. Es werden auch Batchtests unter Verwendung von autoklavierter Biomasse durchgeführt, um die Wirkung abiotischer Mechanismen bei der Entfernung von TrOCs (z.B. durch Absorption) zu quantifizieren. Ferner soll untersucht werden, inwiefern halophile bzw. halotolerante Mikroorganismen den anaeroben Abbau der TrOCs verbessern können.



**MADS  
BORGBJERG  
JENSEN**  
(M. SC. ENG)

MBJE@ENG  
.AU.DK

FÖRDERUNG:  
INNOVATION  
FUND  
DENMARK

**Mads B. Jensen** vom Department of Engineering der Universität Aarhus, Dänemark, war im Frühjahr 2018 als Gastwissenschaftler am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft. Mads forscht an der Entwicklung von Biomethanisierungstechnologien mit industriellem Potenzial und arbeitete während seines Aufenthalts im engen Austausch mit Dietmar Strübing unter der Leitung von Konrad Koch. Die Biomethanisierung ist eine Energieumwandlungstechnologie, welche die Aufwertung von CO<sub>2</sub> durch eine mikrobiell katalysierte H<sub>2</sub>-Reduktion zu Biomethan ermöglicht, die in einem nachhaltigen Energiesystem der Zukunft als essentiell gilt.

Die technische Limitierung für eine industrielle Umsetzung der Biomethanisierung ist derzeit das Fehlen skalierbarer und kosteneffizienter Reaktorsysteme, die den H<sub>2</sub>-Gas-Flüssigkeits-Massentransfer mit ausreichend hoher Effizienz ermöglichen. An der Universität Aarhus arbeitet Mads an der Entwicklung eines großtechnischen Eintragungssystems zur direkten Injektion von H<sub>2</sub> in einen konventionellen Faulbehälter, der bereits eine CO<sub>2</sub>-Quelle und die erforderlichen methanogenen Archaeen enthält. Dieser Ansatz zu *In-situ*-Injektion profitiert von der Nutzung der bereits bestehenden Fermenter-Infrastruktur, die H<sub>2</sub>-Umwandlung ist aber derzeit durch die Blasengröße des eingebrachten Wasserstoffs limitiert. An der TUM wird eine externe Rieselbettreaktoreinheit zur biologischen Biogasaufbereitung optimiert, die hohe volumetrische CH<sub>4</sub>-Produktionsraten und eine Produktgas mit >95% CH<sub>4</sub> liefert (vgl. Bericht zum Projekt *OptiMeth*). In der Folge bestehen potenzielle Synergien zwischen den Ansätzen von AU und TUM, um ein leistungsfähiges und kostengünstigstes Biomethanisierungssystem zu entwickeln.

An der TUM untersuchte Mads die Möglichkeit, mit Hilfe der Verdünnungsrate Methanogene für die Biofilmbildung auf Aufwuchskörpern zu selektieren. Ausgehend von einem mesophilen Klärschlamminokulum konnte die methanogene Biofilmbildung bei hoher Verdünnungsrate (0,056 h<sup>-1</sup>) stark verbessert wurde, während bei niedrigen Verdünnungsraten (0,0042 und 0,0084 h<sup>-1</sup>) auch nach 89 Tagen kontinuierlicher H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>-Exposition nur eine begrenzte Biofilmbildung beobachtet wurde. Die Umsetzung dieser Ergebnisse in ein Rieselbettssystem könnte die Inbetriebnahmezeit eines methanogenen Rieselbettreaktors erheblich verkürzen und möglicherweise die Gesamtproduktivität und Robustheit des Prozesses durch die Bildung einer stabilen methanogenen Biofilmgemeinschaft erhöhen.

## Gastwissenschaftler

---



**STUART KHAN**  
(PROF.)

S.KHAN@  
UNSW.EDU.AU

**Professor Dr. Stuart Khan,**  
**University of New South Wales, Sydney, Australien**

**Prof. Dr. Stuart Khan** ist Hans-Fischer Fellow der TUM. Stuart Khan ist Associate Professor in der School of Civil and Environmental Engineering an der University of New South Wales. Als Hans-Fischer Fellow erhielt Prof. Khan eine dreijährige Forschungsförderung (2015-2018). Gemeinsam mit Prof. Drewes betreut Prof. Khan unseren Doktoranden Philipp Michel.



**KARL LINDEN**  
(PROF.)

KARL.LINDEN@  
COLORADO.EDU

**Professor Dr. Karl Linden,**  
**University of Colorado-Boulder, Boulder, Colorado, USA**

**Prof. Dr. Karl Linden** war von August 2016 bis Januar 2017 als August-Wilhelm-Scheer Gastprofessor am Lehrstuhl. Karl Linden ist der Helen and Huber Croft Professor of Environmental Engineering an der University of Colorado-Boulder, USA. Als weltweit führender Experte im Bereich von UV-Verfahren, unterstützte Prof. Linden laufende Forschungsarbeiten am Lehrstuhl im Bereich der UV-basierten weitergehenden Oxidationsverfahren.



**JENNIFER  
BECKER**  
(ASSOC. PROF.)

JGBECKER  
@MTU.EDU

**Associate Professor Dr. Jennifer Becker,**  
**Michigan Technological University, Michigan, USA**

**Prof. Dr. Jennifer Becker** hielt von Mai/Juni 2018 als TUM Gastprofessorin eine Gastvorlesungsreihe zur Modellierung von biologischen Abwasserbehandlungsanlagen. Prof. Dr. Becker ist Associate Professor of Civil and Environmental Engineering an der Michigan Tech University, USA.



**Professor Dr. Eric Seagren,  
Michigan Technological University, Michigan, USA**

**Prof. Dr. Eric Seagren** war von August 2016 bis June 2017 als TUM Gastprofessor am Lehrstuhl tätig. Gemeinsam mit Prof. Drewes führte er auch 2018 ein gemeinsames Mentorenprogramm für Wissenschaftlerinnen an der TUM und MTU (PhD Candidates, Post-docs) fort, die eine akademische Laufbahn anstreben. Prof. Dr. Seagren ist Professor of Civil and Environmental Engineering an der Michigan Tech University, USA.

**ERIC SEAGREN  
(PROF.)**

ESEAGREN  
@MTU.EDU



**Soňa Fajnorová, M.Sc.  
University of Chemistry and Technology, Prag, Tschechien**

**Soňa Fajnorová** ist Doktorandin von Prof. Jiri Wanner an der University of Chemistry and Technology in Prag, Tschechien. Sie ist seit August 2016 an der TUM und untersucht im Rahmen eines von der Bayerisch-Tschechischen Hochschulagentur geförderten Austausches die Entfernung von Antibiotika-Resistenten Bakterien und Resistenzgenen in Prozessen der weitergehenden Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung.

**SOŇA  
FAJNOROVÁ  
(M.Sc.)**

SONA  
.FAJNOROVA  
@TUM.DE



**Dr. Katrin Doederer  
The University of Queensland, Australien**

**Dr. Katrin Döderer** vom Advanced Water Management Centre der University of Queensland war von April bis Juni 2018 am Lehrstuhl tätig. In dieser Zeit hat sie Prof. Drewes bei den Lehrveranstaltungen „Advanced Water Treatment and Recycling“ und im „Projektkurs Siedlungswasserwirtschaft“ vertreten. Gemeinsam mit Dr. Hübner und Dr. Knoop hat sie am Lehrstuhl ein Forschungsprojekt zur Entfernung von Acrylamid in der Wasseraufbereitung durchgeführt.

**KATRIN  
DOEDERER  
(DR.)**

K.DOEDERER  
@AWMC.UQ  
.EDU.AU

## Internationale Kooperationspartner

Letztes Jahr konnten wir unsere internationalen Kooperationen weiter ausbauen und durch Besuche vor Ort vertiefen (Abb. 40).

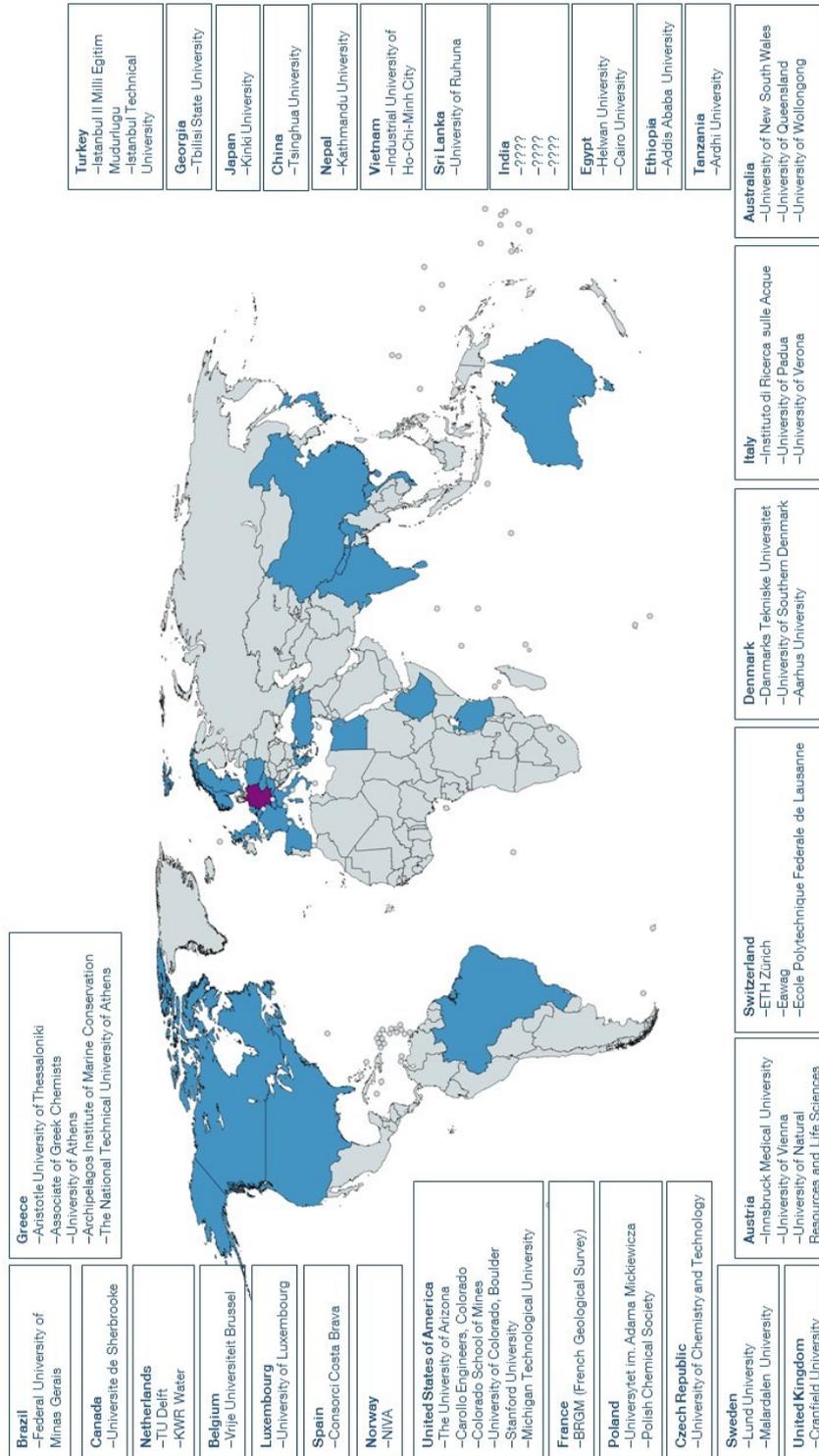


Abb. 40: Internationale Partner

## Nationale/Internationale Gremienarbeit

---

### Water Reuse Specialist Group (IWA)

Seit Herbst 2013 fungiert **Jörg E. Drewes** als Fachgruppenvorsitzender der **Water Reuse Specialist Group (WRSG)** der **International Water Association (IWA)**. Die WRSG ist mit über 3.600 Mitgliedern die größte Fachgruppe innerhalb der IWA mit Fachleuten im Bereich Wasserwiederverwendung aus über 110 Ländern.

Für die Ausrichtung der 12. IWA International Conference on Water Reclamation im Juni 2019 konnte sich Berlin gegen Amsterdam durchsetzen. Die Vorbereitungen für dieses Treffen laufen bereits auf vollen Touren.

Prof. Drewes wurde zudem 2018 von der International Water Association als **IWA Fellow** ausgezeichnet.

### DWA-Arbeitsgruppen

**Brigitte Helmreich** ist derzeit aktiv tätig in verschiedenen Arbeitsgruppen der DWA zur Überarbeitung des **DWA-A 138** „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ und dem neuen Merkblatt **DWA-M 179** „Dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung“. Zudem ist sie aktives Mitglied im **DWA-Fachausschuss IG-2** „Branchenspezifische Industrieabwässer und Abfälle“ und in der Arbeitsgruppe **IG 2.4** „Abwasser aus der Stärkeindustrie“.

**Jörg Drewes** engagiert sich im **DWA-Fachausschuss KA-8** „Weitergehende Abwasserbehandlung“, in den **DWA-Arbeitsgruppen Biz 11.4** „Wasserwiederverwendung“ sowie **KA-8.1** „Anthropogene Stoffe im Wasserkreislauf“.

### Wasserchemische Gesellschaft der GdCh

**Uwe Hübner** arbeitet aktiv im Fachausschuss „Transformationsprozesse bei der biologischen Abwasserreinigung und Abwasserwiederverwendung“, einem Unterausschuss der **Deutschen Wasserchemischen Gesellschaft** mit. Die Gruppe erarbeitet aktuell ein Statuspapier, das den aktuellen Wissensstand zu biologischen Abbauprozessen zusammenfasst.

### Zeitschrift International Journal of Environmental Research and Public Health – Gast-Editorin

**Brigitte Helmreich** ist Gast-Editorin der Zeitschrift „*International Journal of Environmental Research and Public Health*“ für eine Spezialausgabe zum Thema „*Urban stormwater management*“. Weitere Informationen unter: <https://www.mdpi.com/journal/ijerph>

**Zeitschrift Journal of Water Reuse and Desalination – Editor**

**Jörg E. Drewes** ist seit 2015 Editor der wissenschaftlichen Zeitschrift **Journal of Water Reuse and Desalination (JWRD)**. JWRD ist ein internationales Journal, das Beiträge zur Fragen der Wasserwiederverwendung und der Wasserentsalzung publiziert. Weitere Informationen unter: <http://jwrw.iwaponline.com>

**Zeitschrift Water Solutions – Editor**

**Jörg E. Drewes** ist seit 2016 Editor der Zeitschrift **Water Solutions**. Water Solutions wird vom Deutschen Industrie Verlag verlegt und erscheint vierteljährlich. Das Journal berichtet auf Englisch über neueste Entwicklungen in Wasser- und Abwassersektor in Deutschland für ein internationales Publikum. Weitere Informationen unter: <https://www.gwf-wasser.de/en/>

## Nachwuchsförderung / Workshops / Sonstige Aktivitäten

### 2. Internationaler Batchtest-Workshop

Biochemische Methanpotentialtests (sog. Batchtests) werden täglich im akademischen Bereich, aber auch in der Praxis durchgeführt. In 2016 wurden Batchtests in mehr als 1.500 ISI-Publikationen weltweit eingesetzt. Die Ergebnisse der Batchtests sind für die Dimensionierung von Biogasanlagen von entscheidender Bedeutung und bilden die Grundlage für die Bewertung von Biogas-Substraten. Die Bedeutung von Batchtests ist enorm, wenn man bedenkt, dass es allein in Europa mehr als 17.000 Biogasanlagen gibt.

Ziel des ersten internationalen Workshops in Leysin (CH) war es, eine neue Richtlinie für die Durchführung von Batchtests zu entwickeln, um die Reproduzierbarkeit innerhalb und zwischen den Labors zu verbessern, indem u.a. der apparative Testaufbau, Qualitätskriterien für das Impfmateriale sowie Kriterien für die Validierung der Tests festgelegt wurde. Als die erste Version der Richtlinie zur Standardisierung von BMP-Tests im Jahr 2016 von der internationalen Arbeitsgruppe veröffentlicht wurde, zog sie sofort die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Gemeinschaft auf sich. In den Leitfaden flossen die Erfahrungen so vieler Forscher aus verschiedenen Ländern ein, welche bisher bereits in 62 Studien Berücksichtigung fand. Die Vielfalt der Gruppe ermöglicht die Darstellung einer breiten Palette verschiedener Ansätze und Technologien, sodass die Richtlinie sowohl präzise als auch universell anwendbar ist.

Der im Jahr 2017 durchgeführte gemeinsame Ringversuch zeigte jedoch, dass die erreichte Standardisierung nicht ausreichte, um eine hohe Reproduzierbarkeit zu erreichen, was sich durch Abweichungen von bis zu 100% widerspiegelte. Dies war besonders enttäuschend, da alle Teilnehmer Batchtests routinemäßig für wissenschaftliche oder kommerzielle Zwecke



Abb. 41: Gruppenfoto der Teilnehmer des zweiten internationalen Workshops zur Standardisierung von Batchversuchen in Freising im April 2018

durchführen. Daher war sich die Arbeitsgruppe einig, dass eine detaillierte Diskussion möglicher Gründe für die schlechte Leistung entscheidend ist, um die Reproduzierbarkeit von Batchtests weiter zu verbessern.

Daher trafen sich die ca. 40-köpfige Expertengruppe für den 2. Internationalen Workshop zur Standardisierung von Batchtests am 23. und 24. April in Freising, mit finanzieller Unterstützung des TUM Global Incentive Fund, um die Gründe für die unbefriedigenden Ergebnisse des ersten Ringversuches zu erörtern und zu diskutieren, inwiefern die bestehende Leitlinie mit ihren Vorgaben und Validierungskriterien überarbeitet werden muss. Die intensive Diskussion Tisch ergab, dass das Testprotokoll nicht präzise genug war, was zu Missverständnissen in einigen Gruppen führte. Darüber hinaus müssen die vorgeschlagenen Validierungskriterien geringfügig überarbeitet werden, um akzeptable und inakzeptable Abweichungen besser abbilden zu können.

Derzeit wird ein zweiter Ringversuch durchgeführt, der von der Gruppe um Christof Holliger von der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (CH), Sasha Hafner von der Universität Aarhus (DK) und Konrad Koch von der TUM organisiert wird, um zu klären, ob das Ziel der Standardisierung durch eine überarbeitete Richtlinie erreicht werden kann. Unter der Annahme, dass die Reproduzierbarkeit deutlich besser sein wird, soll eine überarbeitete Version der Richtlinie zeitnah veröffentlicht werden.

### **Zweiter TUM Sommerkurs**

Vom 3. – 7. September 2018, fand der zweite TUM Summer Course mit dem Thema ‚Microbiomes of Engineered Water Systems‘ am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft statt. Der für Doktoranden ausgelegte Summer Course wurde von fünf internationalen Doktoranden besucht und führte die Teilnehmer in die molekularen, bioinformatischen, sowie statistischen Grundlagen der modernen Hochdurchsatzsequenzierung ein. Die Teilnehmer konnten eigene Proben mit bearbeiten und lernten in einer Reihe von Vorträgen und Gastbeiträgen die Grundlagen der mikrobiologischen Prozesse in der Siedlungswasserwirtschaft.

## 46. Abwassertechnisches Seminar (ATS)

Am 4. Juli 2018 fand das 46. Abwassertechnische Seminar mit dem Thema „Innovative Strategien zum Umgang mit Klärschlamm“ in Ismaning statt.

*„Am meisten Schwierigkeiten bereitet uns der Klärschlamm. Er macht als Rohschlamm zwar nur 1 % der behandelten Abwassermenge aus, verursacht aber rund 30 % der Abwasserbehandlungskosten und 90 % der Kopfschmerzen.“*

Dieser Satz des Pioniers der Abwassertechnik, Karl Ludwig Imhoff, gewinnt gerade heute, wo der Klärschlamm weniger als interessante Wertstoffressource, sondern vielmehr als Problemstoff gesehen wird, wieder deutlich an Aktualität. Während die richtungsweisenden politischen Entscheidungen anderswo getroffen werden, müssen Planer und Betreiber von Kläranlagen sich diesen Vorgaben unterordnen und versuchen, das bestmögliche Konzept für ihre Anlage zu finden. Mit dem geplanten *de facto* Ausstieg aus der bodenbezogenen Klärschlammverwertung bleibt die thermische Verwertung als nahezu einzige Alternative. Den damit verbundenen höheren Kosten kann nur mit geeigneten Strategien zur Minimierung des Klärschlammaufkommens entgegnet werden, wobei dies keinesfalls zu Lasten der Reinigungsleistung der Gesamtanlage gehen darf.

Im Rahmen des Seminars wurde zunächst auf die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen eingegangen und diskutiert, welche Auswirkungen durch die Novellierung der AbfKlärV zu erwarten sind. Ein Blick in die angewandte Forschung zeigte innovative Ideen auf, mit welchen Konzepten in Zukunft beispielsweise Phosphor zurückgewonnen oder die zu behandelnde Klärschlammmenge reduziert werden können. Anschließend stellten drei Kläranlagen ihre Erfahrungen mit den gängigen Desintegrationsverfahren zur Klärschlammbehandlung bzw. zur Phosphorrückgewinnung vor. Zum Abschluss blickten wir noch auf die Herausforderung beim Umgang mit Schlämmen aus der Behandlung industrieller Abwässer und wurden final noch bildgewaltig in die aktuellen Herausforderungen in der Abwasserbehandlung Südamerikas entführt. Der Einladung folgten fast 100 Interessierte aus Kommunen, Kläranlagen, Planungsbüros, von Hersteller und wasserwirtschaftliche Behörden sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten

### Sciencisten

Im Jahr 2018 wurden auf dem Arbeitsweg insgesamt über 20.000 km durch die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft zusammen geradelt. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von rd. 3,0 Tonnen im Vergleich zum Auto bzw. 7,8 Tonnen im Vergleich zum Flugzeug (economy). Obwohl die Anzahl der gefahrenen Kilometer in den letzten 4 Jahren stetig zurückgegangen ist, wollten wir den Gesamt- sowie den Einzelbetrag in 2019 erhöhen!



### Betriebsausflug im Sommer 2018

Unser Betriebsausflug führte uns dieses Jahr am 6. Juni 2018 nach Regensburg. Nach einer Stadtführung durch die Innenstadt und einem Mittagessen an der Donau, führte uns ein Spaziergang nach Stadthof und anschließend in den schönen Herzogpark.



Abb. 42: Betriebsausflug nach Regensburg

## Veranstaltungen in 2019

---

### 30. Wassertechnisches Seminar

In den letzten Jahren sind immer mehr Verunreinigungen und Schadensfälle mit per- und polyfluorierte Chemikalien (PFCs) in der Umwelt bekannt geworden. Die hohe Stabilität (Persistenz) und gemischten polaren und unpolaren Eigenschaften der PFCs bringen nicht nur die von der Industrie gewünschte Vorteile, sondern auch große Probleme in der Umwelt und in der Wasseraufbereitung mit sich. Durch ihre hohe Mobilität und Persistenz verteilen sich die PFCs in der Umwelt und speziell im Grundwasser und können über die meisten gut etablierten Wasseraufbereitungsmethoden nicht aus dem Wasser entfernt werden. Somit bedrohen die PFCs nicht nur die Umwelt, sondern auch die Versorgung der Menschen mit sauberem Trinkwasser.

In unserem Seminar am **13. Februar 2019** wollen wir einen Überblick zu PFC-Schadensfällen und Erfahrungen der Schadenssanierung und Wasseraufbereitung in Bayern und ganz Deutschland geben. Da für PFCs derzeit neue Grenzwerte diskutiert werden, möchten wir auch einen Hintergrund zu der Toxizität und der Aufnahmepfade von PFCs für den Menschen hervorheben. Die Vorstellung von verschiedenen Sanierungsmaßnahmen erfolgt an konkreten Schadensfällen. Zudem werden etablierte und neue Wasseraufbereitungs- methoden und deren Potenzial zur Entfernung von PFCs aus belasteten Wässern aufgezeigt.

## 47. Abwassertechnisches Seminar

Laut einer kürzlich durchgeführten Umfrage im Rahmen des Projekts ‚ZeroTrace‘ sehen mehr als 80 % der befragten Experten das Thema Spurenstoffe als derzeit wichtigste Herausforderung an die Wasserwirtschaft. Die Einführung einer Regelung für die Entfernung von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen wird für den Zeitraum 2021-2025 erwartet. Aber wie werden entsprechende Regelungen aussehen? Welche Kläranlagen müssen mit einer weitergehenden Behandlungsstufe ausgestattet werden? Welches sind die sinnvollsten Behandlungsverfahren und wie kann die Umsetzung in der Praxis finanziert werden?

Im 47. Abwassertechnischen Seminar am **3. Juli 2019**, möchten wir Antworten auf aktuelle Fragen zur Umsetzung einer weitergehenden Abwasserbehandlung, der so genannten 4. Reinigungsstufe, auf kommunalen Kläranlagen geben. In 4 Themenblöcken werden aktuelle Entwicklungen und Strategien in der EU, der Schweiz, auf Bundesebene, in anderen Bundesländern und in Bayern zum Umgang mit den neuen Herausforderungen vorgestellt, wesentliche Treiber für die weitergehende Abwasserbehandlung diskutiert, mögliche Verfahren und bisherige Erfahrungen aus der Praxis aufgezeigt sowie entstehende Kosten- und Finanzierungsmöglichkeiten besprochen.

Das Seminar richtet sich in erster Linie an Betreiber von Kläranlagen und Ingenieurbüros, aber auch an Kommunen, Behördenvertreter, Sachverständige, Gutachter sowie Forschungseinrichtungen.

Das Anmeldefomular finden Sie hier: <https://www.sww.bgu.tum.de/ats/>

## Publikationen

### Bücher und Buchbeiträge

- 1) Gondhalekar, D., Al-Azzawi, M., Drewes, J.E. (2018). Urban Water Reclamation with Resource Recovery as a Cornerstone of Urban Climate Change Resilience. Handbook of Climate Change Resilience, Springer.
- 2) Gondhalekar, D., Drewes, J.E., Grambow, M. (2018). Risk and water management under climate change: towards the Nexus City. Sustainable Risk Management, Springer.
- 3) Gondhalekar, D., Vogt, C., Eisenbeiß, K. (2018). Integrated Urban Development: Implementing the Sustainable Development Goals for Urban Resource Efficiency, Economic Prosperity and Social Inclusion. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Berlin.
- 4) Helmreich, B. (2018). Umgang mit Metalldachabflüssen. Ökologie aktuell – Rückhalten, Nutzen, Versickern und Behandeln von Regenwasser. Mall GmbH, Donaueschingen.
- 5) Koch, K., Helmreich, B., Drewes, J.E. (2018). Innovative Strategien zum Umgang mit Klärschlamm, Tagungsband zum 46. Abwassertechnisches Seminar der TU München, Garching.

### Wissenschaftliche Zeitschriften (Peer-reviewed)

- 1) Anslan, S., Nilsson, H., Wurzbacher, C., Baldrian, P., Tedersoo, L., Bahram, M.: Great differences in performance and outcome of high-throughput sequencing data analysis platforms for fungal metabarcoding. *MycKeys* 39, 2018, 29-40
- 2) Bandelin, J., Lippert, T., Drewes, J.E., Koch, K.: Cavitation field analysis for an increased efficiency of ultrasonic sludge pre-treatment using a novel hydrophone system. *Ultrasonics Sonochemistry* 42, 2018, 672-678
- 3) Bieber, S., Snyder, S., Dagnino, S., Rauch-Williams, T., Drewes, J.E.: Management strategies for trace organic chemicals in water – A review of international approaches. *Chemosphere* 195, 2018, 410-426
- 4) Dandikas, V., Heuwinkel, H., Lichti, F., Eckl, T., Drewes, J.E., Koch, K.: Correlation between hydrolysis rate constant and chemical composition of energy crops. *Renewable Energy* 118, 2018, 34-42
- 5) Dandikas, V., Heuwinkel, H., Lichti, F., Drewes, J.E., Koch, K.: Predicting methane yield by linear regression models: A validation study for grassland biomass. *Bioresource Technology* 265, 2018, 372-379
- 6) Ettinger, F., Grotehusmann, D., Helmreich, B., Kasting, U.: Auswirkungen der Grundwasserverordnung auf die Überarbeitung der Regelwerke des DWA-Hauptausschusses Entwässerungssysteme. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (65), 2018, 378-379
- 7) Hafner, S.D., Koch, K., Carrere, H., Astals, S., Weinrich, S., Rennuit, C.: Software for biogas research: Tools for measurement and prediction of methane production. *SoftwareX* 7, 2018, 205-210
- 8) Hellauer, K., Karakurt, S., Sperlich, A., Burke, V., Massmann, G., Hübner, U., Drewes, J.E.: Establishing Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART) for Enhanced Removal of Trace Organic Chemicals: Experiences from field studies in Berlin, Germany, *Journal of Hydrology* 563, 2018, 1161-1168.
- 9) Helmreich, B.: Regenwasserbewirtschaftung im urbanen Raum: Eine große Herausforderung. *GWF-Wasser/Abwasser*, 2018
- 10) Hettwer, K., Jähne, M., Frost, K., Giersberg, M., Kunze, G., Trimborn, M., Reif, M., Türk, J., Gehrman, L., Dardenne, F., De Croock, F., Abraham, M., Schoop, A., Waniek, Joanna J.J., Bucher, T., Simon, E., Vermeirssen, E., Werner, A., Hellauer, K., Wallentits, U., Drewes, J.E., Dietzmann, D., Routledge, E., Beresford, N., Zietek, T., Siebler, M., Simon, A., Bielak, H., Hollert, H., Müller, Y., Harff, M., Schiwiy, S., Simon, K., Uhlig, S.: Validation of Arxula Yeast Estrogen Screen assay for detection of estrogenic activity in water samples: Results of an international interlaboratory study. *Science of The Total Environment* 621, 2018, 612-625
- 11) Horstmeyer, N., Lippert, T., Schön, D., Schleder, F., Picioreanu, C., Achterhold, K., Pfeiffer, F., Drewes, J.E.: CT scanning of membrane feed spacers – Impact of spacer model accuracy on hydrodynamic and solute transport modeling in membrane feed channels. *Journal of Membrane Science* 564, 2018, 133-145
- 12) Horstmeyer, N., Huber, M., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Räumliche Verteilung der Schwermetallgehalte in den Oberböden von 35 Versickerungsmulden für Verkehrsflächenabflüsse. *GWF Wasser/Abwasser*, 2018
- 13) Huber, M., Muntau, M., Drewes, J.E., Helmreich, B., Athanasiadis, K., Steinle, E.: Analyse einer möglichst weitestgehenden Phosphorelimination bei kommunalen Kläranlagen in Deutschland. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (65), 2018, 298-310
- 14) Knoop, O., Hohrenk, L.L., Lutze, H.V., Schmidt, T.C.: Ozonation of Tamoxifen and Toremifene: Reaction Kinetics and Transformation Products. *Environmental Science & Technology*, 52 (21), 2018, 12583-12591
- 15) Lindenblatt, C., Koch, K., Drewes, J.E.: Untersuchungen zum Anfahrbetrieb einer einstufigen Deammonifikation für die Behandlung von Zentrat mit schwingendem Redoxpotential. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 65 (9), 2018, 786-792.
- 16) Lippert, T., Bandelin, J., Musch, A., Drewes, J.E., Koch, K.: Energy-positive sewage sludge pre-treatment with a novel ultrasonic flatbed reactor at low energy input. *Bioresource Technology* 264, 2018, 298-305

- 17) Miklos, D.B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K.G., Drewes, J.E., Hübner, U.: Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review. *Water Research* 139, 2018, 118-131
- 18) Miklos, D.B., Hartl, R., Michel, P., Linden, K.G., Drewes, J.E., Hübner, U.: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process stability and pilot-scale validation for trace organic chemical removal from wastewater treatment plant effluents. *Water Research* 136, 2018, 169-179
- 19) Nihemaiti, M., Miklos, D.B., Hübner, U., Linden, K.G., Drewes, J.E., Croué, J.: Removal of trace organic chemicals in wastewater effluent by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/PDS. *Water Research*, 145, 2018, 487-497
- 20) Rommel, S., Helmreich, B.: Influence of temperature and de-icing salt on the sedimentation of particulate matter in traffic area runoff. *Water* 10, 2018, 1738-1755.
- 21) Stadlmair, L.F., Letzel, T., Grassmann, J., Monitoring enzymatic degradation of emerging contaminants using a chip-based robotic nano-ESI-MS tool; *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (410), 2018, 27–32
- 22) Stadlmair, L.F., Letzel, T., Drewes, J.E., Graßmann, J.: Enzymes in removal of pharmaceuticals from wastewater: A critical review of challenges, applications and screening methods for their selection. *Chemosphere* 205, 2018, 649-661
- 23) Strübing, D., Moeller, A.B., Mößnang, B., Lebuhn, M., Drewes, J.E., Koch, K.: Anaerobic thermophilic trickle bed reactor as a promising technology for flexible and demand-oriented H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> biomethanation. *Applied Energy* 232, 2018, 543-554
- 24) Ulliman, S.L., Miklos, D.B., Hübner, U., Drewes, J.E., Linden, K.G.: Improving UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> performance following tertiary treatment of municipal wastewater. *Environmental Science: Water Research and Technology* 4 (9), 2018, 1321-1330
- 25) Weißbach, M., Drewes, J.E., Koch, K.: Application of the oxidation reduction potential (ORP) for process control and monitoring nitrite in a Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation (CANDO). *Chemical Engineering Journal* 343, 2018, 484-491
- 26) Weißbach, M., Gossler, F., Drewes, J.E., Koch, K.: Separation of nitrous oxide from aqueous solutions applying a micro porous hollow fiber membrane contactor for energy recovery. *Separation and Purification Technology* 195, 2018, 271-280
- 27) Weißbach, M., Thiel, P., Drewes, J.E., Koch, K.: Nitrogen removal and intentional nitrous oxide production from reject water in a coupled nitrification/nitrous denitrification system under real feed-stream conditions. *Bioresource Technology* 255, 2018, 58-66

## Konferenzen

### Präsentationen

- 1) Bandelin, J., Lippert, T., Koch, K., Drewes, J.E.: Energieeffiziente Klärschlammvorbehandlung durch innovative Ultraschallintegration. Tagungsband zum 46. Abwassertechnischen Seminar „Innovative Strategien zum Umgang mit Klärschlamm“ der TU München, 04. Juli 2018, Ismaning, Deutschland
- 2) Basnet, M., Drewes, J.E., Gondhalekar, D: Urban Water-Energy-Food Nexus: Decentralized water and wastewater management as a solution to conserve water resources in Leh town in Upper Indus River Basin in India. International Conference on "Water, Environment and Climate Change: Knowledge Sharing and Partnership", April 2018, Kathmandu, Nepal
- 3) Bieber, S: Internationale Managementstrategien für organische Spurenstoffe in Gewässern und unterstützende weitergehende analytische Techniken, Wasser 2018, Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft, 7.-9. Mai 2018, Papenburg, Deutschland
- 4) Croué, J.-P., Nihemaiti, M., Miklos, D.B., Müller, J., Hübner, U., Linden, K., Drewes, J.E.: Removal of micropollutants in wastewater effluent during UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/PDS. 15th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies, 27.-31. Mai 2018, Nanjing, China
- 5) Fajnorová S., Hübner, U., Herzog, B., Müller, J., Hellauer, K., Miklos, D., Drewes, J.E., Wanner, J.: Fate of antibiotic resistance during advanced wastewater treatment. *Vodárenská biologie (Water Supply Biology)*, 6.-7. Februar 2018, Prag, Tschechische Republik
- 6) Dandikas, V.; Heuwinkel, H.; Lichti, F.; Drewes, J.E.; Koch, K.: Prediction of biogas production rate in batch test. International Conference on Anaerobic Digestion "Biogas Science 2018", 17.-19. September 2018, Turin, Italien
- 7) Drewes, J.E., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Hübner, U.: BMBF-Verbundprojekt TrinkWave zur Stützung der städtischen Trinkwasserversorgung durch indirekte Wasserwiederverwendung. 51. Essener Tagung. 14.-16. März 2018, Essen, Deutschland
- 8) Drewes, J.E.: Potable Water Reuse in the United States. FRAME Workshop Assessment and Management of Indirect Potable Reuse. 6.-8. März 2018. Koblenz, Deutschland
- 9) Drewes, J.E., Anderson, P., Denslow, N., Olivieri, A., Jakubowski, W., Schlenk, D., Snyder, S., Maruya, K., Waggoner, C. Findings of the 2018 Science Advisory Panel on CECs in Recycled Water. *WateReuse California Annual Conference*. Monterrey, CA, USA.
- 10) Drewes, J.E., Hübner, U., Regnery, J., Hellauer, K., Karakurt, S., Zhiteneva, V. Shifting biodiversity – a new concept for engineered natural water treatment systems. TUM Chair of Terrestrial Ecology – Seminar Series, 11. April 2018, Freising, Deutschland
- 11) Drewes, J.E. Wave-Querschnittsthema ‚Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung‘. BMBF Wave Statusseminar, 17-18. April 2018, Frankfurt/M., Deutschland

- 12) Drewes, J.E.: Planungsoptionen und Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen'. BMBF Wave Statusseminar, Frankfurt/M., 17-18. April 2018, Frankfurt/M., Deutschland
- 13) Drewes, J.E., Helmreich, B.: Planungsoptionen für eine Wasserwiederverwendung in Unterfranken. Regierung von Unterfranken, 24. April 2018. Würzburg, Deutschland
- 14) Drewes, J.E.: Design Philosophies and Technologies in Water Reuse. IFAT Forum Water/Wastewater. München, 14. Mai 2018, München, Deutschland
- 15) Drewes, J.E., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Hellauer, K., Hübner, U.: Innovative Concepts for Planned Water Reuse to Augment Drinking Water Supplies. IFAT IWRM Forum, 15. Mai 2018, München, Deutschland
- 16) Drewes, J.E.: Planungsoptionen und Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen. IFAT BMBF Wasser Forschung, 16. Mai 2018, München, Deutschland
- 17) Drewes, J.E., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Hellauer, K., Müller, J., Hübner, U.: Development of a Resilient, energy-efficient novel biofiltration treatment concept ofr water recycling applications. Final TreatRec Conference. 13.-14. Juni 2018 Girona, Spanien
- 18) Drewes, J.E.: Challenges and Opportunities in the Water Cycle. Presentation to the Science Advisory Board of Siemens, 16. Juni 2018, München, Deutschland.
- 19) Drewes, J.E.: Introduction and key lessons learned from non-potable reuse installations in Japan. Workshop 'Water Reuse in Emerging Economies'. IWA World Water Congress. 19. September 2018, Tokio, Japan
- 20) Drewes, J.E. Recent Regulatory Trends for Potable Reuse in California, USA. Workshop 'Water Reuse Opportunities and Challenges', IWA World Water Congress. 19. September 2018, Tokio, Japan
- 21) Drewes, J.E.: Recent Trends in Potable Water Reuse. IWA World Water Congress. Master Lecture, 20. Sept. 2018, Tokio, Japan
- 22) Drewes, J.E., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Hübner, U.: BMBF-Verbundprojekt TrinkWave zur Stützung der städtischen Trinkwasserversorgung durch indirekte Wasserwiederverwendung. 51. Essener Tagung. 14.-16. März 2018, Essen, Deutschland
- 23) Drewes, J.E.: Moving Water Reuse Forward as a Safe and Sustainable Water Supply. IWA Regional Conference on Water Reuse and Salinity Management. 10. Juni 2018, Murcia, Spanien
- 24) Gondhalekar, D.: Towards the Nexus City: Research Project Water-Energy-Food (WEF) Nexus in Leh, Ladakh, India. German Water Partnership / BMU India session. IFAT, 15. Mai 2018, Munich, Deutschland
- 25) Gondhalekar, D., Drewes, J.E. Nexus City: urban water reclamation and reuse as key synergy potential to close resource loops in Munich, Germany and Leh, India. Sust. Devt. of Energy, Water and Env. Systems, 7. Juli 2018, Novi Sad, Serbien
- 26) Gondhalekar, D. Operationalizing water reclamation with resource recovery for more effective SDG implementation as a city-to-city cooperation. European Week of Cities and Regions, 11. Oktober 2018, Brussel, Belgien
- 27) Hellauer, K., Uhl, J., Lucio, M., Schmitt-Kopplin P., Hübner, U., Drewes, J.E.: Characterizing the transformation of natural organic matter in managed aquifer recharge systems. 13th European Fourier Transform Mass Spectrometry Workshop, 24.-27. April 2018, Freising, Deutschland
- 28) Helmreich, B.: New Approaches in Urban Water Systems Engineering: 3rd World Congress on Civil, Structural , and Environmental Engineering, 8.-10. April 2018, Budapest, Ungarn
- 29) Helmreich, B.: Herausforderungen der Niederschlagswasserbehandlung zum Schutz der aquatischen Umwelt. Fortbildungstag zum Thema Wasserkreislauf: Veränderungen und Risiken der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, 16. November 2018 Oberschleißheim, Deutschland
- 30) Helmreich, B.: Regenwasserbewirtschaftung im urbanen Raum als große Herausforderung zum Schutz von Boden und Grundwasser. FUTURE WATER Kolloquium Sommer 2018, 11. Juli 2018, Duisburg-Essen, Deutschland
- 31) Hübner, U., Hellauer, K., Müller, J., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Drewes, J.E.: German (EU) approaches to deal with trace organic chemicals in drinking water quality management. Busan Waterworks International Workshop, 5.-6. September 2018, Busan, Korea
- 32) Hübner, U., Müller, J., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Hellauer, K., Drewes, J.E.: Development of a treatment concept based on technically modified hybrid filtration systems for indirect potable reuse. IWA World Water Congress & Exhibition, 16.-21. September 2018, Tokio, Japan
- 33) Koch, K., Lippert, T., Drewes, J.E.: The role of inoculum's origin on the methane yield of different substrates in Biochemical Methane Potential (BMP) tests. International Conference on Anaerobic Digestion "Biogas Science 2018", 17.-19. September 2018, Turin, Italien
- 34) Koch, K., Helmreich, B., Hübner, U., Drewes, J.E.: Innovative Forschungsansätze der TU München für das Wassermanagement in Städten der Zukunft. IFAT, 14. - 18. Mai 2018, München, Deutschland
- 35) Lippert, T., Bandelin, J., Koch, K., Drewes, J.E.: Ökonomie der Klärschlammdeintegration mittels Ultraschall. Tagungsband zum 46. Abwassertechnischen Seminar „Innovative Strategien zum Umgang mit Klärschlamm“ der TU München, 04. Juli 2018, Ismaning, Deutschland
- 36) Lippert, T., Bandelin, J., Schlederer, F., Drewes, J.E., Koch, K.: Power-to-cavitation (PTC): Proposing a new parameter to assess the energyefficiency of ultrasonic reactors for sewage sludge pre-treatment. International Conference on Anaerobic Digestion "Biogas Science 2018", 17.-19. September 2018, Turin, Italien

- 37) Lippert, T., Bandelin, J., Drewes, J.E., Koch, K.: Energy-efficient pre-treatment of waste activated sludge using a novel ultrasonic flatbed reactor. Sludge Management in Circular Economy, 23. - 25. Mai 2018, Rom, Italien.
- 38) Miklos, D.B., Wang, W., Linden, K.G., Drewes, J.E., Hübner, U.: UV-LED based water disinfection: Characterization and irradiance measurement of lab-scale LED irradiation systems. International Conference on UV LED Technologies & Applications, 22.-25. April 2018, Berlin, Deutschland
- 39) Mößnang, B., Strübing, D., Lerch, B., Koch, K., Drewes, J.E., Lebuhn, M.: Microbial community analysis in thermophilic trickle bed reactors efficient for biological methanation of H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>. International Conference on Anaerobic Digestion "Biogas Science 2018", 17.-19. September 2018, Turin, Italien
- 40) Peces, M., Pozo-Zamora, G., Koch, K., Astals, S.: Exploring the feasibility of co-fermenting waste lipids with primary or waste activated sludge. Sludge Management in Circular Economy, 23.- 25. Mai 2018, Rom, Italien
- 41) Rommel, S., Helmreich, B.: Feinpartikuläre Stoffe (AFS<sub>63</sub>) in Verkehrsflächenabflüssen – Vorkommen und Relevanz für dezentrale Behandlungsanlagen, Aqua Urbanica 2018, 17.-18. Juni 2018, Landau, Deutschland
- 42) Sanz-Prat, A., Greskowiak, J., Karakurt, S., Hübner, U., Drewes, J.E., Massmann, G.: Reactive Transport Modelling of Trace Organic Contaminants Attenuation by using the Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMARTplus). 26. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie e.V. in der DGGV e.V., 21.-24. März 2018, Bochum, Deutschland
- 43) Strübing, D., Mößnang, B., Lebuhn, M., Drewes, J.E., Koch, K.: Demand-oriented biological methanation in an anaerobic thermophilic trickle bed reactor. International Conference on Anaerobic Digestion "Biogas Science 2018", 17.-19. September 2018, Turin, Italien
- 44) Weißbach, M., Strübing, D., Koch, K., Drewes, J.E.: Mikrobiologische Methanisierung und der CANDO-Prozess - Neue Verfahren der Energierückgewinnung bei der kommunalen Abwasserbehandlung. Fachtagung „Technische Innovationen bei der Abwasserreinigung“, 27. September 2018, Münster, Deutschland
- 45) Wurzbacher, C.: Poorly known fungi in natural and engineered biofilms. 5th Biofilm Workshop 2018: Omic approaches in biofilm research: Advances in ecology and ecotoxicology, 11.-13. September 2018, Kristineberg, Schweden

## Poster

- 1) Bandelin, J.; Lippert, T.; Drewes, J.E.; Koch, K. Cavitation field analysis for higher energy efficiency in substrate pre-treatment by ultrasound. Sludge Management in Circular Economy, 23.-25. Mai 2018, Rom, Italien
- 2) Helmreich, B., Noceti, L. Stoffliche Belastung der Abflüsse von Nichtmetalldächern. Aqua Urbanica 2018, 17.-18. Juni 2018, Landau, Deutschland
- 3) Hübner, U., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Hellauer, K., Drewes, J.E. Developing a novel multi-barrier treatment concept based on sequential managed aquifer recharge technology (SMART) for indirect potable reuse. 26. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie e.V. in der DGGV e.V., 21.-24. März 2018, Bochum, Deutschland
- 4) Karakurt, S., Schmid, L., Timmermann, R., McCurdy, S., Hübner, U., Helmecke, M., Drewes, J.E. Abschätzung der Relevanz einer ungeplanten Wasserwiederverwendung und deren Einfluss auf die Trinkwasserversorgung in Deutschland. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft, 7.-9. Mai 2018, Papenburg, Deutschland
- 5) Kluge, M., Wurzbacher, C., Rautio, M., Wauthy, M., Peura, S. Exploring the fungal communities of Arctic ponds from continuous and discontinuous permafrost areas. ISME, 12.-17. August 2018, Leipzig, Deutschland
- 6) Knoop, O. Unterschätzt: Tamoxifen – Ökotoxikologische Risikobewertung, Spurenstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf, 23.-24. Oktober 2018, Frankfurt am Main, Deutschland
- 7) Müller, J., Hübner, U., Drewes, J.E. Hybridsysteme: Optimierte Spurenstoffentfernung aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen durch Kombination von sequentieller Biofiltration mit adsorptiven und oxidativen Verfahren. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft, 7.-9. Mai 2018, Papenburg, Deutschland
- 8) Zhiteneva, V., Ziemendorf, E., Hübner, U., Drewes, J.E. Rapid small scale column tests (RSSCTs) for differentiating between sorption and biodegradation mechanisms removing trace organic chemical (TOCs) in biological activated carbon (BAC) filters. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft, 7.-9. Mai 2018, Papenburg, Deutschland

## Abschlussarbeiten

### Dissertationen

- 1) Burkhardt, Therese: Mass spectrometric measurement of enzymatic activities - Miniaturization and application to environmental samples
- 2) Dandikas, Vasilis: Development of regression models to predict biogas production rate and biogas yield
- 3) Miklos, David: Enhanced removal of Trace Organic Chemicals from Wastewater Treatment Plant Effluents Using UV-Based Advanced Oxidation Processes

- 4) Stadlmair, Lara: Enzymatic Transformation of Trace Organic Chemicals – Characterization of Reaction Mechanisms using Mass Spectrometric Technologies
- 5) Weißbach, Max: Technical implementation and development of control strategies for the integration of the Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation (CANDO) into wastewater treatment schemes for simultaneous nitrogen removal and energy recovery from nitrogen

### *Masterarbeiten*

- 1) Afsharpour, Rouhallah: Modellierung von Mikroplastik in Regenbecken
- 2) Al-Azzawi, Mohammed: Optimierung eines dezentralen Behandlungssystem für Straßenabflüsse durch den Einsatz von Klinoptilolit in einer Zweistoff-Konfiguration
- 3) Albert, Dominik: Ausbau des deutschen Höchstspannungsnetzes nach dem NABEG - Verfahrensanalyse und Evaluation der gesetzlichen Zieldimensionen
- 4) Ansarian, Hormos: Modellierung von Kläranlagenabflusszeitreihen zur kläranlagenspezifischen Abschätzung der Trockenwetterabflussganglinien und der daraus abgeleiteten Bestimmung des Fremdwasseranteils
- 5) Arbash, Jad: Passiver in-situ Eintrag von Sauerstoff ins poröse Medien mittels PDMS Membran
- 6) Batzdorf, Lotte: Bestimmung von Transferprozessen und biologischen Abbauraten in Biofiltersystemen
- 7) Bonanno, Giacomo: Evaluierung der Nachhaltigkeit von Wasserressourcen in Leh Town, Ladakh, Indien, und alternative Lösungsansätze unter Anwedung des Water-Energy-Food Nexus
- 8) Brambila Tamariz, David Pablo: Einfluss der Ultraschall Vorbehandlung auf Methanproduktion, Abbaugrad und Schlammmentwässerbarkeit in kontinuierlich betriebenen Anaerobreaktoren
- 9) Davies, Mariel: Strategie zur Mobilisierung von schwerlöslichem Phosphat aus Abwasserprodukten für eine effizientere Düngung
- 10) Dietrich, Carina: Entwicklung eines innovativen Entsorgungskonzeptes mit Unterflurcontainern im Rahmen der Entstehung eines neuen Stadtquartiers auf dem Gelände der Bayernkaserne
- 11) Fluck, Lena: Untersuchung des Einflusses von Abwassermatrix auf die enzymatische Transformation von organischen Spurenstoffen
- 12) Ganthaler, Sophia: Charakterisierung der ungeplanten Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung in Italien
- 13) Gössl, Dennis: Bestimmung der Surrogatparameter und Indikatorchemikalien zur Bewertung der Wasserwiederverwendungsanlage SMARTplus
- 14) Höhner, Mirjam: Untersuchung der Entfernung von antibiotika-resistenten Bakterien und Resistenzgenen während der Ozonierung
- 15) Imig, Anne: Nutzung von Cloud-Burst-Projekten in Kopenhagen bei kleineren Regenfällen mit Hilfe von oberirdischen Kontrollen
- 16) Jell, Johannes: Konzept zur Ertüchtigung der Kläranlage Schwabmühlhausen
- 17) Lahmouri, Mounia: „Carbon footprint“ Analyse Abwassermanagementstrategien in Leh Stadt, Indien, und Reduktionspotential für Grünhausgasemissionen im Kontext des Water-Energy-Food Nexus
- 18) Larasser, Martin: Untersuchungen zur Optimierung der Trübwasserbehandlung auf der Abwasserreinigungsanlage Salzburg-Siggerwiesen
- 19) Levai, Silvia: Weiterentwicklung der Sequenziellen Biofiltration: Untersuchungen zu Betriebsbedingungen und dem Potential von Hybridsystemen
- 20) Little, Emily: Analyse des Effekts einer gleichzeitigen Optimierung gekoppelter Day-Ahead-Märkte
- 21) Musch, Alexandra: Ultraschallbehandlung von Klärschlamm unter Nutzung eines innovativen Flachbattreaktors - Eintrag des spezifischen Energieeintrags auf die Effizienz der Behandlung
- 22) Neumaier, Marina: Konzeptstudie mit Bedarfsplanung über die Erweiterung der städtischen Kläranlage Gersthofen
- 23) Rempe, Lisa-Marie: Schwermetallrückhalt von Filtersystemen unter Einfluss der Ionenstärke des Niederschlagswassers
- 24) Scharrer, Julia: Schadstoffe in Verkehrsflächenabflüssen: Zeitliche Verläufe der Schwermetall-Fraktionierung und abfiltrierbare Stoffe, Partikelgrößenverteilung und Zeta-Potentiale
- 25) Schmid, Felix: Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen - Verfahrensauswahl und Bemessung einer vierten Reinigungsstufe am Beispiel der Kläranlage Winterhausen
- 26) Schmid, Ludwig: Klarwasseranteile in deutschen Oberflächengewässern und deren Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung.
- 27) Schmitz, Adrian: Biokohle-haltige Substrate zur Grauwasserbehandlung – Säulenversuche zum Anlaufverhalten und Reinigungsleistung
- 28) Schneider, Roland: Einfluss einer Air-Sparging-Maßnahme auf den Methan-Haushalt im Bodengefüge eines MKW-belasteten ehemaligen Raffineriegeländes
- 29) Schön, David: Transformation von Pharmazeutika und Produktbildung durch Enzyme in Multiplex-Ansätzen

- 30) Schwaller, Christoph: Evaluierung der Grundwasserkontamination in Leh Town, Indien, aufgrund von sanitären Vor-Ort-Einrichtungen
- 31) Schweiger, Daniela: Entwicklung einer in-situ Oxidationsstufe für das SMARTplus Konzept im halbtechnischen Maßstab für die Wasserwiederverwendung
- 32) Sembera Elizabeth Claire: Co-Vergärung mit einem hohen Anteil von Lebensmittel- und Molkereiabfällen: Eine Fallstudie von der Kläranlage Moosburg
- 33) Spieß, Martina: Untersuchung der Entfernung von antibiotika-resistenten Bakterien und Resistenzgenen während der UV-Desinfektion und weitergehender Oxidation
- 34) Sperle, Philipp: Entwicklung und Untersuchung von vibrationsbasierten Membranfouling Reduzierungs- und Reinigungsstrategien
- 35) Tittl, Alexander: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Co-Vergärung in der Kläranlage Moosburg
- 36) Titzschkau, Leonardo: Optimierung eines sequentiellen Biofiltrationssystems durch Nutzung einer Flockungsstufe zur Vorbehandlung
- 37) Wiese, Felix: Optimierung der biologischen Methanisierung in einem anaeroben thermophilen Rieselfestbettreaktor

## Studienarbeiten

- 1) Al-Azzawi, Mohammed: Dezentrale Abwasserbehandlung: Traum oder Realität?
- 2) Batzdorf, Lotte: Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit eines sequentiell betriebenen natürlichen Aufbereitungsverfahrens an dem Feldstandort Baumwerder
- 3) Bein, Emil: Entwicklung eines software-basierten Bewertungstools für im Rahmen der indirekten Wasserwiederverwendung eingesetzte Verfahrenskombinationen
- 4) Bleicher, Daniel: Erarbeitung eines Abwasser/Regenwasserkonzeptes für eine Käserei als naturnahe Kläranlage.
- 5) Bonschier, Scharifa: Entwicklung eines qPCR-basierten Detektionssystems für phototrophe Cyanobakterien
- 6) Ciofalo, Anna: Charakterisierung der Phosphatabstoßung während der Keramik-Nanofiltration zur RO-Vorbehandlung
- 7) Davies, Mariel: Literaturüberblick über Technologieoptionen für das Fäkalschlammanagement in akuten Notfallsituationen
- 8) Eckert, Jennifer: Lagebeurteilung für die Sanierung und Wiederherstellung der Infrastruktur von Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Sana'a
- 9) Eibach, Veronika: Masterplan zur Abwassersituation der Molkerei Zott am Standort Mertingen
- 10) Even, Max: Bestimmung des Methanpotentials organischer Substrate und Auswertung von Validierungskriterien in Ringversuchen
- 11) Fayez, Nadim: Konzept und Implementierung eines Datenbank-Prototyps für Strukturkennzahlen zur Langfristanalyse von Wassernetzen
- 12) Feickert Fenske, Carolina: Scenarios for decentralized wastewater management in Leh Town, India using a trickling filter or a horizontal flow constructed wetland
- 13) Hallsdóttir, Bryndís: Entwurf für ein dezentrales Abwassersystem in Leh Stadt, Indien, unter Anwendung eines Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands
- 14) He, Jiaying: Vergleich der Oxidationsleistung von UVAOPs (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/PS und UV/Chlor) anhand von optischen Surrogaten gelöster organischer Substanz
- 15) Hendrik, Tyas: Mikrobielle Gemeinschaften im Abwasser
- 16) Hesam Mahmoudinejad, Termeh: Korrelationsanalyse von Einflussfaktoren auf die Kolmation eines Sandfilters für Verkehrsflächenabflüsse
- 17) Jell, Johannes: Konzept zum Einbau einer Fettabscheideranlage am Bahnhof Freising
- 18) Khan, Muhammad: Untersuchungen zur Auswirkungen der Rezirkulation verschiedener Anteile von flüssigem Gärrest aus der anaeroben Co-Vergärung von Reisstroh und Rindergülle auf Biogasausbeute und Prozessstabilität
- 19) Kiesecker, Lea: Einfluss der Ultraschall-Vorbehandlung auf das Schäumungsverhalten in Faultürmen
- 20) Levai, Silvia: Einfluss unterschiedlicher Kontaktzeiten auf die Entstehung von Spurenstoffen in der sequentiellen Biofiltration
- 21) Lutz, Simon: Inbetriebnahme der Deammonifikationsanlage auf der Kläranlage Hersbruck
- 22) Mahmood, Ammad: Ultraschallbehandlung von Klärschlamm unter Nutzung eines innovativen Flachbettreaktors – Einfluss des spezifischen Energieeintrags auf den Methanertrag
- 23) Moeller, Andreas: Bedarfsorientierter Betrieb eines anaeroben Rieselfestbettreaktors zur H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>-Methanisierung
- 24) Munz, Verena: Emissionen organischer Schmutzstoffe von Fahrzeugen - Pilotstudie einer experimentellen Autowäsche
- 25) Orłowska, Agnieszka: Untersuchungen zum Biofouling an Umkehrosmose-Membranen
- 26) Rizou, Zoi: Einfluss der Ultraschallbehandlung auf Entwässerbarkeit und Viskosität von Überschuss- und Faulschlamm
- 27) Sahanoglu, Hazal: Überschussstrom aus Wind und Sonne in Deutschland
- 28) Sari, Kasih Ditaningtyas: Automatisierung der Datenauswertung von Regenwasserbehandlungsanlagen

- 29) Scharfenberg, Niklas: Anaerobe Co-Vergärung im ländlichen Afrika - Fallstudie St. Rupert Mayer
- 30) Scharrer, Julia: Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen: Vergleich von Testprotokollen und Monitoringprogrammen
- 31) Skiebe, Axel: Das Redoxpotential als Kontrollparameter in der anaeroben Vergärung - Eine Literaturstudie
- 32) Sperle, Philipp: 3-D Fluoreszenzspektroskopie in Verbindung mit der Parallel Factor Analysis (PARAFAC) – Grundlagen, Modellierungsansätze und Anwendungen in Abwasserbehandlungsverfahren
- 33) Sprafke, Aileen: Etablierung des umu-Tests zur Bestimmung der Genotoxizität in Wasserproben nach DIN38415-3
- 34) Torres, Miranda: Untersuchung des Einflusses einer Vorbehandlung von Kläranlagenablauf mittels Biofiltration auf eine nachgeschaltete Ozonierung mit dem Ziel der Entfernung organischer Spurenstoffe
- 35) Wehrheim, Carolin: Untersuchung zur Lachgas-Entstehung bei der Behandlung hoch stickstoffhaltiger Abwässer
- 36) Weihofen, Björn: Identifizierung kritischer Probleme bei Batchtests anhand der Methanertragskurven
- 37) Wiese, Felix: Optimierung der biologischen Methanisierung in einem anaeroben thermophilen Rieselfbettreaktor

### **Bachelorarbeiten**

- 1) Becker, Lukas: Zusammenhang zwischen Pathogenen und Indikatororganismen bei der Wasserwiederverwendung
- 2) Bertram, Janina: Phosphatreduktion mittels Algenbiozönose
- 3) Egle, Marina: Die Verbreitung des Kartoffelkrebses und anderer Kartoffelschadorganismen durch Klärschlamm aus der industriellen Kartoffelverarbeitung - Bedeutung, Folgen, Lösungsansätze
- 4) Fundneider, Jakob: Ökologische Betrachtungen von Dachbegrünungen im urbanen Lebensraum.
- 5) Gugel, Pascal: Trinkwasserdesinfektion mit UV-LEDs – Chancen und Herausforderungen gegenüber der konventionellen UV-Desinfektion
- 6) Hackbarth, Tom: Entwicklung einer Methode zur Probenapplikation für Pyrolyse-GC/MS
- 7) Hartmann, Sabine: Trinkwasserdesinfektion mit UV-LEDs – Chancen und Herausforderungen gegenüber der konventionellen UV-Desinfektion
- 8) Hofmeier, Veronika: Repräsentative Auswahl kommunaler Kläranlagen für sozialökologische Fragestellungen
- 9) Honal, Sophie: Gründächer als Bausteine eines nachhaltigen Wasserhaushaltes
- 10) Janicek, Maximilian: Prozessanalyse der Prozesswasserbehandlung der Gemeindewerke Karlsfeld zur Behandlung stickstoffhaltiger Abwässer
- 11) Lenert, Charlotte: Quantitative mikrobielle Risikoanalyse
- 12) Milde, Luca: Entwicklung eines drahtlosen sensorbasierten Messsystems zur Risikobewertung der Wasserverunreinigung in Indien
- 13) Nieß, Daniel: Passiver in-situ Eintrag von Sauerstoff und Ozon in poröse Medien
- 14) Ruf, Anastasia: Fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen von ultraschallbehandeltem Überschussschlamm
- 15) Schaufler, Jonathan: Mikrobielle Risikobewertung in Systemen zur Wasserwiederverwendung
- 16) Schücking, Georg: Entfernung von Pathogenen in Sand, granulierter Aktivkohle, reaktiven/sorbiven Materialien und in der Bodenpassage
- 17) Seidel, Jakob: Vorbehandlung lignocellulosehaltiger Biomasse zur Verbesserung des Substratabbaus
- 18) Wang, Yifang: Implementierung der PLFA-Analyse in Abwasserbehandlungsprozessen
- 19) Willibald, Valentin: Nachweis von Reserveantibiotikaresistenzgenen im Klarwasser von Kläranlagen

## Dissertationen und Auszeichnungen



Abb. 43: Promotionskomitee Dr. rer. nat. Therese Burkhardt.

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr. rer. nat. Therese Burkhardt** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 26. Februar 2018. Ihre Arbeit mit dem Titel *„Mass spectrometric measurement of enzymatic activities - Miniaturization and application to environmental samples“* wurde von Herrn PD Dr. Michael Weller (Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin), PD Dr. Thomas Letzel und Prof. Jörg Drewes begutachtet.

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. Max Weißbach** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 29. Juni 2018. Seine Arbeit mit dem Titel *„Technical implementation and development of control strategies for the integration of the Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation (CANDO) into wastewater treatment schemes for simultaneous nitrogen removal and energy recovery from nitrogen“* wurde von Frau Prof. Liu Ye (University of Queensland, Australien) und Herrn Prof. Craig Criddle (Stanford University, USA) und Prof. Jörg Drewes begutachtet.



Abb. 44: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Max Weißbach.



Abb. 45: Promotionskomitee von Dr. rer. nat. Lara Stadlmair.

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr. rer. nat. Lara Stadlmair** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 24. Juli 2018. Ihre Arbeit mit dem Titel *„Enzymatic Transformation of Trace Organic Chemicals - Characterization of Reaction Mechanisms using Mass Spectrometric Technologies“* wurde von Herrn Prof. Peter Schröder (HelmholtzZentrum München), PD Dr. Thomas Letzel, und Prof. Jörg Drewes begutachtet.

Wir sind stolz auf Herr **Dr. Stefan Bieber**, der für seine Doktorarbeit mit dem Titel *„International management strategies for trace organic compounds in waterbodies and supporting advanced analytical techniques“* mit dem Promotionspreis 2018 der Wasserchemischen Gesellschaft innerhalb der GdCh ausgezeichnet wurde.



Abb. 46: Prof. Torsten Schmidt und Dr. Stefan Bieber in Papenburg.

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr. rer. nat. Vasilis Dandikas** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 9. November 2018. Seine Arbeit mit dem Titel *„Development of regression models to predict biogas production rate and biogas yield“* wurde von Prof. Jin Mi Triolo (SDU Biotechnology), Prof. Hauke Heuwinkel (Hochschule Weihenstephan-Triesdorf) und Prof. Jörg Drewes begutachtet.



Abb. 47: Promotionskomitee von Dr. rer. nat. Vasilis Dandikas.



Abb. 48: Promotionskomitee von Dr.-Ing. David Miklos.

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. David Miklos** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 10. Dezember 2018. Seine Arbeit mit dem Titel *„Enhanced Removal of Trace Organic Chemicals from Wastewater Treatment Plant Effluents Using UV-Based Advanced Oxidation Processes“* wurde von Prof. Torsten Schmidt (Universität Duisburg-Essen), Prof. Karl Linden (University of Colorado, Boulder, USA) und Prof. Jörg Drewes begutachtet.

Herr **Dominik Häring**, M.Sc., hat den diesjährigen **H.P. Scholz-Preis** für besondere Studienleistungen und seine Masterarbeit mit dem Titel *„Phosphate recovery from secondary wastewater effluent with microalgae“* bekommen. Herr Häring hat im August 2017 den Studiengang Umweltingenieurwesen (Master) als bester seines Jahrganges abgeschlossen. Seine Masterarbeit hat er unter der Betreuung von Frau Apl.-Prof. Brigitte Helmreich angefertigt.



Abb. 49: Herr Dekan Prof. Dr. Christoph Gehlen (links) mit Dominik Häring am Tag der Fakultät am 6. Juli 2018. (Foto: Andreas Heddergott)

Wir freuen uns, dass die **Roland-Mall-Stiftung** wieder am Tag der Fakultät drei begabten Studierende aus dem Bereich Wasser und Umwelt ein Stipendium von monatlich 500 € über die gesamte Regelstudienzeit des Masterstudiums überreichen konnte. Die ausgewählten Studierenden, Herr David Mohndorf, Frau Alexandra Geist und Herr Luca Noceti, wurden aufgrund ihres bisherigen Engagements und Werdegangs ausgesucht. Die Stipendien wurden persönlich durch Herrn Michael Mall, Vorsitzender des Stiftungsvorstands, überreicht.



Abb. 50: Michael Mall (links), David Mohndorf und Luca Noceti. (Foto: Andreas Heddergott)

## Lehre

---

Unser Lehrstuhl bietet Vorlesungen für die Bachelorstudiengänge *Umweltingenieurwesen* und *Bauingenieurwesen* sowie für die Masterstudiengänge *Environmental Engineering*, *Civil Engineering*, *Umweltplanung und Ingenier-Ökologie* sowie *Sustainable Resource Management* an. In diesen Studiengängen werden neue Akzente im Bereich der weitergehenden Trink- und Abwasserbehandlung, der Energierückgewinnung aus Abwasser, dem Wasserrecycling sowie der Konzeption nachhaltiger Wasserver- und -entsorgungssysteme für urbane Räume gesetzt. Folgende Vorlesungen wurden 2018 angeboten:

### *Sommersemester*

#### **Bachelor**

- Brauchwasser (BSc): Glas, Karl
- Thermodynamik und Energietechnik (BSc): Hübner, Uwe
- Projektkurs Siedlungswasserwirtschaft (BSc): Drewes, Jörg
- Umweltanalytik (BSc): Letzel, Thomas

#### **Master/PhD**

- Advanced Water Treatment Engineering and Reuse (MSc): Drewes, Jörg
- Anaerobic Treatment and Energy Recovery (MSc): Koch, Konrad
- Hydrochemistry Laboratory (MSc): Helmreich, Brigitte; Heim, Carolin; Hübner, Uwe
- Modelling of aquatic systems (MSc): Koch, Konrad
- PhD Seminar SiWaWi (PhD/MSc): Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Process simulation and design of wastewater treatment plants (MSc): Becker, Jennifer
- Wastewater Treatment (MSc): Koch, Konrad

*Wintersemester***Bachelor**

- Grundlagen Verfahrenstechnik (BSc): Böhm, Bernhard; Koch, Konrad
- Ökologie und Mikrobiologie (BSc): Wurzbacher, Christian
- Siedlungswasserwirtschaft Grundmodul (BSc): Helmreich, Brigitte; Koch, Konrad

**Master/PhD**

- Engineered Natural Treatment Systems (MSc): Hübner, Uwe
- Hydrochemistry (MSc): Helmreich, Brigitte
- Hydrochemistry Laboratory (MSc): Heim, Carolin; Helmreich, Brigitte; Hübner, Uwe
- PhD Seminar Siedlungswasserwirtschaft (PhD/MSc): Drewes, Jörg; Koch, Konrad;
- Practical Aspects of Engineered Natural Treatment Systems (MSc): Hübner, Uwe
- Sanitation in the Global South (MSc): Drewes, Jörg; Hübner, Uwe; Karakurt, Sema; Lippert, Thomas; Rommel, Steffen; Schwaller, Christoph; Zhiteneva, Veronika
- Technical Communication Skills in Water and Wastewater Treatment (MSc): Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Water and Wastewater Treatment Engineering (MSc): Drewes, Jörg



ANSPRECH-  
PARTNERIN:  
**RAPHAELA  
HOFMANN**

089/28913727  
FOERDERVEREIN  
@BV.TUM.DE

## Fördergesellschaft des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft e.V.

---

Die Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft e.V. der Technischen Universität München ist ein gemeinnütziger Verein zur Unterstützung des Lehrstuhls in Forschung und Lehre.

Mitglied kann jede natürliche oder juristische Person werden, die ideell oder materiell die Ziele des Vereins unterstützt. Diese sind:

- Vergabe von Beihilfen für Forschungsarbeiten
- Beihilfen für die Drucklegung wissenschaftlicher Arbeiten
- Herausgabe der Schriftenreihe "Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft"
- Bereitstellung von Lehrhilfsmitteln
- Finanzierung von Reisen zur Aus- und Fortbildung
- Finanzierungsbeihilfen für den Auf- und Ausbau der Forschungseinrichtungen
- Veranstaltungen des Abwasser- und Wassertechnischen Seminars und anderer Fortbildungsveranstaltungen

Einmal jährlich wird das Informationsblatt **Forum** herausgegeben, in dem die Mitglieder des Vereins über das Geschehen am Lehrstuhl informiert werden. Zur Erfüllung aller dieser Aufgaben wirbt der Verein um Spenden. Willkommen sind finanzielle oder materielle Spenden. Ein Mitgliedsbeitrag wird nicht erhoben.

Spenden können auf das Konto bei der Postbank München (IBAN: DE04 7001 0080 0034 9498 02, BIC: PBNKDEFF) einbezahlt werden. Alle Spendengeber erhalten eine steuerlich absetzbare Spendenbescheinigung.

Die Geschäftsstelle wird von Frau Raphaela Hofmann geleitet.

## MitarbeiterInnen

### Lehrstuhlleitung



**Jörg E. Drewes**  
(Prof. Dr.-Ing.)  
+49.89.289.13713  
jdrewes@tum.de

### ArbeitsgruppenleiterInnen



**Brigitte Helmreich**  
(Prof. Dr. rer. nat. habil.)  
+49.89.289.13719  
b.helmreich@tum.de



**Carolin Heim**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13709  
heim@tum.de



**Uwe Hübner**  
(Dr.-Ing.)  
+49.89.289.13706  
u.huebner@tum.de



**Daphne Keilmann-Gondhalekar**  
(Dr. PhD)  
+49.89.289.13709  
d.gondhalekar@tum.de



**Oliver Knoop**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13702  
oliver.knoop@tum.de



**Konrad Koch**  
(Dr.-Ing.)  
+49.89.289.13706  
k.koch@tum.de



**Bertram Skibinski**  
(Dr.-Ing.)  
+49.89.289.13714  
b.skibinski@tum.de



**Christian Wurzbacher**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13797  
c.wurtzbacher@tum.de

### Sekretariat



**Marianne Lochner**  
+49.89.289.13703  
m.lochner@tum.de



**Susanne Wießler**  
+49.89.289.13701  
s.wiessler@tum.de

*Wissenschaftliche MitarbeiterInnen*

**Mohammed Al-Azzawi**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13720  
mohammed.al-azzawi@tum.de



**Florian Ebertseder**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13797  
florian.ebertseder@tum.de



**Johanna Graßmann**  
(PD Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13709  
j.grassmann@tum.de



**Karin Hellauer**  
(M. Ed.)  
+49.89.289.13714  
karin.hellauer@tum.de



**Nils Horstmeyer**  
(Dipl.-Ing., M.Sc.)  
+49.89.289.13712  
nils.horstmeyer@tum.de



**Sema Karakurt**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13717  
sema.karakurt@tum.de



**Thomas Letzel**  
(Prof Dr. rer. nat. habil.)  
+49.89.289.13780  
t.letzel@tum.de



**Claus Lindenblatt**  
(Dipl.-Ing.)  
+49.89.289.13704  
c.lindenblatt@tum.de



**Thomas Lippert**  
(M. Sc.)  
+49.89.289.13716  
thomas.lippert@tum.de



**Natalie Magalhães**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13797  
nc.magalhaes@tum.de



**Philipp Michel**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13714  
philipp.michel@tum.de



**David Miklos**  
(Dr.-Ing.)  
+49.89.289.13717  
david.miklos@tum.de



**Meriam Muntau**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13716  
meriam.muntau@tum.de



**Johann Müller**  
(Dipl.-Ing.)  
+49.89.289.13702  
jo.mueller@tum.de



**Julia Reichel**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13711  
julia.reichel@tum.de



**Steffen Rommel**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13733  
s.rommel@tum.de



**Christoph Schwaller**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13733  
c.schwaller@tum.de



**Philipp Sperle**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13708  
philipp.sperle@tum.de



**Lara Stadlmair**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13711  
lara.stadlmair@tum.de



**Dietmar Strübing**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13717  
d.struebing@tum.de



**Rofida Wahman**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13707  
rofida.wahman@tum.de



**Maximilian Weißbach**  
(Dr.-Ing.)  
+49.89.289.13712  
max.weissbach@tum.de



**Xuetong Yang**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13708  
xuetong.yang@tum.de



**Veronika Zhiteneva**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13717  
v.zhiteneva@tum.de



**Panfeng Zhu**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13712  
panfeng.zhu@tum.de

### *GastwissenschaftlerInnen*



**Jennifer Becker**  
(Prof. Dr.)  
+49.89.289.13708  
jgbecker@mtu.edu



**Stuart Khan**  
(Prof. Dr.)  
+49.89.289.13708  
s.khan@unsw.edu.au



**Karl Linden**  
(Prof. Dr.)  
+49.89.289.13708  
karl.linden@colorado.edu



**Eric Seagren**  
(Prof. Dr.)  
+49.89.289.13708  
eseagren@mtu.edu



**Katrin Doederer**  
(Dr.)  
+49.89.289.13708  
k.doederer@awmc.uq.edu.au



**Sona Fajnorova**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13712  
sona.fajnorova@tum.de

### *Technisches Personal*



**Carolin Kocur**  
+49.89.289.13732  
carolin.kocur@tum.de



**Heidrun Mayrhofer**  
+49.89.289.13732  
heidrun.mayrhofer@tum.de



**Hubert Moosrainer**  
+49.89.289.13730  
h.moosrainer@tum.de



**Myriam Reif**  
+49.89.289.13715  
m.reif@tum.de



**Marianne Reiprich**  
+49.89.289.13775  
marianne.reiprich@tum.de



**Wolfgang Schröder**  
+49.89.289.13726  
wolfgang.schroeder@tum.de



**Andrea Vogel**  
+49.89.289.13709  
a.vogel@tum.de



**Ursula Wallentits**  
+49.89.289.13732  
u.wallentits@tum.de

### *Auszubildende*



**Nelly Krügel**  
+49.89.289.13715  
nelly.kruegel@tum.de



**Ramona Schütt**  
+49.89.289.13715  
azubis@tum.de

## Kontakt

---

**Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft**

**Am Coulombwall 3**

**85748 Garching**

**Tel. +49.89.289.13701**

**Fax +49.89.289.13718**

<http://www.sww.bgu.tum.de/>

[sww@tum.de](mailto:sww@tum.de)

## Spendenkonto

Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls e.V.,

Postbank München

IBAN: DE04 7001 0080 0034 9498 02

BIC: PBNKDEFF

## Editorin

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Veronika Zhiteneva, M.Sc.