

**forum** 88

Mitteilungsblatt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

# JAHRESBERICHT DES LEHRSTUHL FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 2017



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>
ANFAHRBETRIEB EINER EINSTUFIGEN DEAMMONIFIKATION FÜR DIE BEHANDLUNG VON ZENTRAT MIT SCHWINGENDEM ORP ...	4
OPTIMIERUNG DER TRÜBWASSERBEHANDLUNG IM KLÄRWERK SALZBURG.....	5
<b>CHEMISCH-PHYSIKALISCHES, ANALYTISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES LABOR</b> .....	<b>6</b>
<b>ARBEITSGRUPPE ANAEROBTECHNIK &amp; ENERGIERÜCKGEWINNUNG</b> .....	<b>8</b>
STRATEGIEN FÜR EINE VERBESSERTE DEAMMONIFIKATIONSLEISTUNG UND REDUZIERTER N <sub>2</sub> O-EMISSIONEN .....	9
LACHGAS ALS INNOVATIVE QUELLE ZUR ENERGIERÜCKGEWINNUNG AUS ABWASSERSTRÖMEN (PANOWA) .....	10
MULTISEKTORALER ANSATZ FÜR DAS ABWASSERMANAGEMENT IN ADDIS ABEBA, ÄTHIOPIEN.....	11
BEDARFSGERECHTE ENERGIEBEREITSTELLUNG DURCH MIKROBIOLOGISCHE METHANISIERUNG IN THERMOPHILEN ANAEROBEN RIESELBETTREAKTOREN .	12
STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ BEI DER ABWASSERREINIGUNG DURCH INNOVATIVE ULTRASCHALLDESINTEGRATION (ULTRAMETHAN) ...	13
ERHÖHTE METHANPRODUKTIVITÄT IN BIOGASANLAGEN DURCH CO <sub>2</sub> ANREICHERUNG .....	14
<b>ARBEITSGRUPPE ANALYTISCHE FORSCHUNGSGRUPPE (AFG)</b> .....	<b>15</b>
MASSENSPEKTROMETRISCHE UNTERSUCHUNG ENZYMATISCHER REAKTIONEN - CHARAKTERISIERUNG, MINIATURISIERUNG UND ANWENDUNG FÜR UMWELTPROBEN.....	16
FOR-IDENT – NEUE STRATEGIEN UND WORKFLOWS IM BEREICH DES „HIDDEN-TARGET SCREENINGS“ .....	18
PARALLELER NACHWEIS VON SEHR POLAREN UND UNPOLAREN ORGANISCHEN SPURENSTOFFEN IN GEWÄSSERPROBEN MITTELS SFC .....	19
NON-TARGET SCREENING WORKFLOWS USING RPLC-HILIC-MS .....	20
NEUE ANALYTISCHE STRATEGIEN ZUR BESTIMMUNG ANTHROPOGENER SPURENSTOFFE IN PFLANZEN: PFLANZLICHE BIOMONITORE FÜR VERUNREINIGUNGEN IN DER UMWELT .....	21
<b>ANALYTIK UND UMWELTVERHALTEN VON MIKROPLASTIK</b> .....	<b>22</b>
SUB <sub>μ</sub> TRACK – INNOVATIVE ANALYSIS ANALYSEMETHODEN FÜR SUBMIKROPLASTIK.....	22
MiPAQ – FORSCHUNGSPROJEKT ZU MIKROPLASTIK IN GEWÄSSERN UND LEBENSMITTELN .....	23
<b>ARBEITSGRUPPE KANALNETZ- UND REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG</b> .....	<b>24</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.....	25
PRAXISERFAHRUNG ZUM UMGANG MIT DEZENTRALEN BEHANDLUNGSANLAGEN FÜR VERKEHRSFLÄCHENABFLÜSSE .....	26
<b>ARBEITSGRUPPE MIKROBIOLOGISCHE SYSTEME</b> .....	<b>27</b>
<b>ARBEITSGRUPPE NATÜRLICHE AUFBEREITUNGSVERFAHREN</b> .....	<b>29</b>
UNTERSUCHUNG DER SEQUENTIEN GRUNDWASSERANREICHERUNG (SMART) .....	30
FRAME: ENTWICKLUNG VON STRATEGIEN ZUR ERFASSUNG UND ZUM MANAGEMENT NEUARTIGER SCHADSTOFFE BEI DER INDIREKTEN ABWASSERWIEDERVERWENDUNG ZUR STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG.....	31
<b>ARBEITSGRUPPE WEITERGEHENDE WASSERBEHANDLUNG UND WASSER RECYCLING</b> .....	<b>32</b>
PLANUNGSOPTIONEN UND TECHNOLOGIEN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG ZUR STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG IN URBANEN WASSERKREISLÄUFEN (TRINKWAVE).....	33
STATUS QUO EINER UNGEPLANTEN WIEDERVERWENDUNG VON BEHANDELTEM KOMMUNALABWASSER IN DEUTSCHLAND (DE FACTO REUSE) .....	34

ENERGIEEFFIZIENTE VERFAHRENSKOMBINATIONEN BEIM WASSERRECYCLING MIT DEM ZIEL DER TRINKWASSERVERSORGUNG .....	35
KOMMUNALE ABWASSERBEHANDLUNG MIT UMKEHROSMOSE-MEMBRANVERFAHREN, BIOFILTRATION UND UV-AOP ZUR WASSERWIEDERVERWENDUNG .....	36
OPTIMIERUNG REGULATIVER UND OPERATIVER RAHMENBEDINGUNG ZUM DYNAMISCHEN BETRIEB VON KLÄRANLAGEN ZUR SPURENSTOFFENTFERNUNG.....	37
UV-LED BASIERTE WASSERDESINFEKTION: SYNERGIE- UND WASSERMATRIXEFFEKTE .....	38
NUTZUNG ALTERNATIVER OXIDATIONSVERFAHREN FÜR DIE ENTFERNUNG VON ORGANISCHEN SPURENSTOFFEN .....	39
ENTWICKLUNG UND VALIDIERUNG EINES ENERGIEEFFIZIENTEN OZONEINTRAGSSYSTEMS ZUR REDUZIERUNG VON ANTHROPOGENEN SPURENSTOFFEN IN GEREINIGTEM ABWASSER .....	40
ANALYSE EINER WEITESTGEHENDEN PHOSPHORELIMINATION AUF KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN .....	41
URBAN WATER-ENERGY-FOOD NEXUS .....	42
<b>WEITERE (FORSCHUNGS)AKTIVITÄTEN .....</b>	<b>43</b>
NEXUS OF WATER, FOOD AND ENERGY.....	43
YOUNG WATER REUSE PROFESSIONALS (YWRP) .....	43
<b>EXTERNE DOKTORANDEN .....</b>	<b>44</b>
<b>GASTWISSENSCHAFTLER .....</b>	<b>47</b>
<b>INTERNATIONALE KOOPERATIONSPARTNER .....</b>	<b>49</b>
<b>NATIONALE/INTERNATIONALE GREMIENARBEIT .....</b>	<b>50</b>
WATER REUSE SPECIALIST GROUP (IWA) .....	50
DWA-ARBEITSGRUPPEN .....	51
WASSERCHEMISCHE GESELLSCHAFT DER GDCh .....	51
ZEITSCHRIFT INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH – GAST-EDITORIN .....	51
ZEITSCHRIFT JOURNAL OF WATER REUSE AND DESALINATION – EDITOR .....	51
ZEITSCHRIFT WATER SOLUTIONS – EDITOR .....	51
<b>NACHWUCHSFÖRDERUNG / WORKSHOPS / SONSTIGE AKTIVITÄTEN .....</b>	<b>52</b>
BETRIEBSAUSFLUG IM SOMMER 2017.....	52
45. ABWASSERTECHNISCHES SEMINAR (ATS) .....	52
FORSCHUNGSSYMPOSIUM MIT UCT PRAG .....	52
SCIENCLISTEN .....	53
ASSISTENTENTREFFEN 2017 IN KAISERSLAUTERN .....	53
AUFENTHALT AN DER UNIVERSITÄT NEUSÜDWALES IN SYDNEY, AUSTRALIEN .....	53
VERÖFFENTLICHTE BÜCHER .....	54
<b>DER TUM WASSER CLUSTER .....</b>	<b>55</b>
<b>PUBLIKATIONEN .....</b>	<b>58</b>
<b>DISSERTATIONEN UND AUSZEICHNUNGEN .....</b>	<b>64</b>
<b>LEHRE.....</b>	<b>66</b>
<b>FÖRDERGESELLSCHAFT DES LEHRSTUHL FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT E.V.....</b>	<b>68</b>
<b>MITARBEITERINNEN.....</b>	<b>69</b>
<b>KONTAKT .....</b>	<b>73</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 2017 überreichen zu können. Das vergangene Jahr brachte für uns einige personelle Veränderungen und damit verbundene Anpassungen, war aber auch durch spannende Forschungsaktivitäten und erfreuliche Drittmittelinwerbungen 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. Carmen Leix und Herrn Dr. Stefan Bieber für den erfolgreichen Abschluss ihrer Promotion im vergangenen Jahr. Eine besondere Ehre wurde Herrn Dr. Max Huber zu Teil, der für seine Promotion mit dem Willy-Hager Preis 2017 ausgezeichnet wurde. Herr Lukas Högel erhielt für seine Masterarbeit den K.P. Scholz Preis 2017. Frau Meriam Muntau wurde für ihre Masterarbeit mit dem Max-von-Pettenkofer Preis ausgezeichnet. Wir gratulieren noch einmal ganz herzlich.

Im vergangenen Jahr wurden wir durch vier neue DoktorandInnen verstärkt, die sich Ihnen in diesem Jahresbericht 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 2017 fand das 45. Abwassertechnische Seminar (ATS) mit dem Thema „Weitestgehende Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen – Möglichkeiten und Grenzen“ statt, das federführend von Frau Prof. Brigitte Helmreich organisiert wurde. Das 46. ATS zum Schwerpunkt „Innovative Strategien zum Umgang mit Klärschlamm“ ist für den 4. Juli 2018 in München geplant. Das Programm finden Sie auf unserem Webportal, auf dem Sie sich auch schon online anmelden können ([www.sww.bgu.tum.de/ats](http://www.sww.bgu.tum.de/ats)). Über Ihr Interesse an der Veranstaltung würden wir uns sehr freuen.

Auch im vergangenen Jahr konnte der Lehrstuhl etliche neue Forschungsvorhaben einwerben, wie u.a. das BMBF Verbundprojekt *Sub $\mu$ Track* (unter Dr. Johanna Graßmanns und meiner Leitung) und das Vorhaben *MiPaq* finanziert durch die Bayerische Forschungsförderung, die sich beide der Abschätzung des Auftretens und Verhaltens von Mikropartikel/Mikroplastik in der aquatischen Umwelt und in Lebensmitteln widmen. Darüber hinaus erhielten wir Förderzusagen für das Vorhaben der DFG zur Erhöhung der Methanproduktion in Biogasanlagen durch CO<sub>2</sub> Anreicherung (unter Leitung von Dr. Konrad Koch) oder ein neues Projekt des Umweltbundesamtes zur Abschätzung des Einflusses einer unabsichtlichen Wasserwiederverwendung auf die Trinkwasserversorgung in Deutschland.

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 Engi-

neering, Environmental Planning and Engineering sowie Sustainable Resource Management. Neben einer Vielzahl von Vorlesungen, Übungen und Praktika betreuen die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls mehr als 75 Masterarbeiten, Studien- und Bachelorarbeiten. Die Revision des Masterstudienganges Environmental Engineering in 2016 hat das Interesse an diesem Studiengang im letzten Jahr noch einmal deutlich erhöht (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).

Das Jahr 2017 brachte einige personelle Veränderung in wichtigen Leitungsfunktionen des Lehrstuhl mit sich. Aufgrund der veränderten und strikteren Bestimmungen des Wissenschaftszeitgesetzes waren uns die Hände gebunden, die Arbeitsverträge für Herrn Dr. Letzel und Frau Dr. Graßmann, die die Analytische Forschungsgruppe leiteten, über die gegenwärtige Laufzeit hinaus weiter zu verlängern. Auch dürfen von diesen MitarbeiterInnen nach den Bestimmungen dieses Gesetzes und der TU München keine Forschungsanträge mehr eingereicht werden, womit sich keine Perspektive bot, diese wichtige Arbeitsgruppe in der bisherigen Form fortzuführen. Diese Entwicklung ist äußerst bedauerlich. Wir haben uns daher entschlossen, die Spurenanalytik am Lehrstuhl neu aufzustellen. Wir freuen uns, dass wir Herrn Oliver Knoop gewinnen konnten, die Leitung des Spurenstofflabors zu übernehmen. Herr Knoop wird diese Funktion nach Abschluss seiner Doktorarbeit bei Herrn Prof. Torsten Schmidt in Essen zum 1.4.2018 übernehmen. Zum 1. November 2017 hat uns Herr Dr. Bastian Herzog, der bis dato die Arbeitsgruppe ‚Mikrobiologische Systeme‘ geleitet hat, aus familientechnischen Gründen verlassen, um einer neuen Tätigkeit in Österreich nachzugehen. Wir wünschen Herrn Herzog alles Gute in seiner neuen Position. Wir sind sehr froh, dass wir diese Leitungsfunktion zum 1.3.2018 mit Herrn Dr. Christian Wurzbacher sehr kompetent wiederbesetzen konnten. Mehr Informationen zur Neuaufstellung dieser Arbeitsbereiche erfahren Sie im nächsten 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,





## Versuchsanstalt des Lehrstuhls



BRIGITTE  
HELMREICH  
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913719  
B.HELMREICH  
@TUM.DE



CLAUS  
LINDENBLATT  
(DIPL.-ING.)

089/28913704  
C.LINDENBLATT  
@TUM.DE

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, Kationenaustauschkapazitäten, Schüttdichten, etc. der eingesetzten Materialien nach genormten Verfahren analysiert.



Abb.1: Nanofiltrationspilotanlage (80 L/min).



CLAUS  
LINDENBLATT  
(DIPL.-ING.)

089/28913704  
C.LINDENBLATT  
@TUM.DE

## Anfahrbetrieb einer einstufigen Deammonifikation für die Behandlung von Zentrat mit schwingendem ORP

In mehreren Untersuchungen zur einstufigen Zentratbehandlung im SBR, bei der besonders die Messung des Redoxpotentials im Fokus stand, konnte die Betriebsstabilität der Deammonifikation bei Belastungen von mehr als  $460 \text{ g}_N/(\text{m}^3\cdot\text{d})$  und Abbaugraden von über 92 % aufgezeigt werden.

Mit einer weiteren Wiederholung des Anfahrbetriebs wurden die Einfahrbedingungen des Prozesses an einer halbtechnischen Anlage präzisiert und festgestellt, dass eine einstufige Deammonifikation auch mit einem Anteil von lediglich 10 % deammonifizierender Biomasse in einer Belebtschlamm-Trockensubstanz von  $1,5 \text{ g}_{\text{TS}}/\text{L}$  innerhalb von zwei Monaten auf Voll-Lastbetrieb eingefahren werden kann.

Der biochemische Prozess wird unter besonderer Beachtung des Redoxpotentials mit wechselnden aeroben und anoxischen Phasen im Bereich von  $-30$  bis  $+90 \text{ mV}$  geführt und der pH-Wert kann während der Adaption und Optimierung bei Bedarf mit der Zugabe von Kläranlagenzulauf gestützt werden. Additive sind im Normalbetrieb nicht erforderlich und die  $\text{NO}_2\text{-N}$  Konzentration liegen im Mittel unter  $1 \text{ mg/L}$ . Eine Verdopplung der Leistungssteigerung ist während der Einfahrphase mit einer Temperaturerhöhung von  $30$  auf  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  möglich. Überschuss-Schlamm wird aus dem Granula-Reaktor bei einer Absetzzeit von etwa  $5 \text{ min}$  mit dem Ablauf abgezogen und das Schlammalter im Optimalbetrieb auf  $14$  Tage eingestellt.

In Abhängigkeit der verfügbaren Zentratmengen erfolgt die Prozessregelung durch kleine Stellgrößenänderungen für Zulaufmenge, Dauer der anoxischen und aeroben Phasen, sowie Luftmenge, Absetzzeit und Temperatur. Als Regelparameter dienen Grenzwerte der ORP-Amplituden, des pH-Werts und der Leitfähigkeit. Stickstoffkonzentrationen können im Regelbetrieb zwei bis dreimal pro Woche kontrolliert werden.

Bei der Übertragung des Prozesses auf größere Praxisanlagen ist davon auszugehen, dass sich Störgrößen auch bei alterndem Zentrat durch sinkende C/N Verhältnisse und verringerte Pufferkapazität sowie bei zu hohem Feststoffeintrag ergeben können. Zur Minimierung des Behandlungsaufwands ist eine möglichst zeitnahe Entwässerung nach der anaeroben Schlammstabilisierung und prompte Zentratbehandlung angeraten. Wegen der im Intervallbetrieb innerhalb von  $20$  bis  $30 \text{ min}$  wechselnden Milieuzustände und einem sehr geringen Bedarf während der Einfahrphase wird zur Luftversorgung der Anschluss an die Hauptversorgung des Klärwerks mit separat steuerbarer Luftmengenregelung empfohlen.



CLAUS  
LINDENBLATT  
(DIPL.-ING.)

089/28913704  
C.LINDENBLATT  
@TUM.DE



MARTIN  
LARASSER  
(CAND. M.SC.)

MARTIN.LARASSER  
@MYTUM.DE

## Optimierung der Trübwasserbehandlung im Klärwerk Salzburg

Im Klärwerk Salzburg Siggerwiesen wurde im Jahr 2000, zur Behandlung des anfallenden Zentrats aus der Schlammmentwässerung sowie dem Abwasser des benachbarten Abfallwirtschaftsbetriebs mit Deponie und Bioabfallvergärung, eine parallele SBR-Anlage mit 2 x 1.400 m<sup>3</sup> Volumen und separaten Vorspeichern in Betrieb genommen. Nach 15 Betriebsjahren erfolgte an der auf Nitrifikation ausgelegten Anlage unter anderem eine Sanierung der Rohrleitungen und Betonbehälter mit Erweiterung der Messtechnik.

Mit dem Ziel einer Optimierung des Stickstoffabbaus werden zurzeit im Auftrag des Reinhaltverbandes Großraum Salzburg Stadt und Umlandgemeinden Untersuchungen zur Umstellung der Regelstrategie auf Deammonifikation durchgeführt. Nach dezenten Änderungen der bisherigen Prozess-Steuerung und unter Berücksichtigung des Redoxpotentials zeigte sich jetzt (Abb. 2), vier Monaten nach Beginn der Untersuchung, eine selbständige Bildung von Planctomyceten, vor allem auf den unter dem Wasserspiegel liegenden Oberflächen, was in den vorangegangenen Betriebsjahren nicht der Fall war.



Aufgrund der prompten Behandlung des Zentrats nach der Entwässerung liegt die Temperatur im SBR zwischen 27 und 32 °C. Mit dem Auftreten deammonifizierender Biomasse ist eine Steigerung des Stickstoffabbaus bei reduziertem Energieaufwand zu erwarten.

*Abb. 2 : Planctomyceten auf Oberflächen im SBR.*

Im Fokus der weiteren Optimierung stehen die Möglichkeiten der Vermeidung von Fremdschlammeintrag und damit einer exakten Einstellung des erforderlichen Schlammalters sowie eine weitgehende Minimierung der N<sub>2</sub>O Bildung durch geeigneten Wechsel von aeroben und anoxischen Phasen. Von besonderer Bedeutung für die Betriebsstabilität erweist sich die Einrichtung eines Störfallprogramms beim Ausbleiben von Zulauf und Belüftung.



CAROLIN HEIM  
(DR. RER. NAT.)

089/28913709  
C.HEIM@TUM.DE



THOMAS LETZEL  
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913780  
T.LETZEL@TUM.DE



BASTIAN HERZOG  
(DR. RER. NAT.)

BIS 11/17  
089/28913720  
B.HERZOG  
@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, analytisches und mikrobiologisches Labor eingeteilt, die jeweils von Dr. Carolin Heim, Prof. Dr. Thomas Letzel und Dr. Bastian Herzog 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 können organische Verbindungen mittels 3D-Fluoreszenz und UV-Spektroskopie genauer untersucht und über den TOC auch quantitativ erfasst werden. Für die Bestimmung von Anionen stehen sowohl photometrische Testmethoden als auch eine Ionenchromatographie zur Verfügung, die Analytik von Metallen erfolgt mittels Atomabsorptionsspektroskopie. Über einen Gaschromatographen können leichtflüchtige Parameter auch im Spurenbereich erfasst werden (Abb. 3).



Abb. 3: Gaschromatograph (GC-FID) gekoppelt an den Headspace-Probengeber.

In der Spurenstoffanalytik stehen für Target, Suspects, Hidden-Target und Unknown Screening Messungen GC-MS, LC-TOF-MS, sowie LC-MS/MS Systeme zur Verfügung (Abbildung 24). Diese werden zur Charakterisierung und Identifizierung organischer Moleküle in wässriger Matrix eingesetzt. Neue und etablierte Strategien und Workflows sowie Methoden ermöglichen die Untersuchung vielfältiger Moleküle in den unterschiedlichsten Matrices. Seit dem Jahr 2016 stehen zusätzlich ein QqQ-MS und ein QIIT-MS für quantitative Analytik zur Verfügung. Es bestehen somit Kapazitäten zum Monitoring von Abbau- und Transformationsprozessen in ingenieurtechnischen und natürlichen Wassersystemen und anderen molekularen Prozessen.



Abb. 4: RP-HILIC Kopplung mit MS/MS Detektion für die organische Spurenstoffanalytik.



Das Mikro- und Molekularbiologische Labor ist sowohl spezialisiert auf klassische mikrobiologische Kultivierungsmethoden zur Wasseranalyse, als auch auf die Anwendung moderner molekularbiologischer Techniken. Die Quantifizierung von fäkalen Indikatororganismen wie *E. coli* und Enterokokken als auch der Nachweis von humanpathogenen Bakterien wie *Pseudomonas aeruginosa* und Legionellen zur Sicherstellung der Wasserqualität erfolgt routinemäßig mit einem Panel klassischer Kultivierungsmethoden. Zusätzlich



Abb. 5. PCR und qPCR Systeme zur Vervielfältigung und Quantifizierung von verschiedenen Genen.

werden molekularbiologische Techniken wie PCR und quantitative PCR (real-time PCR, qPCR (Abb.5) **Error! Reference source not found.**) eingesetzt, um verschiedene Antibiotika-Resistenz-Gene zu detektieren, oder um bestimmte Bakteriengruppen quantitativ nachzuweisen.

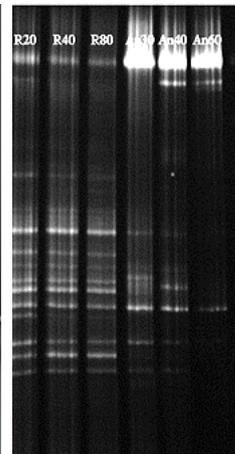


Abb. 6: Denaturierende Gradientengelelektrophorese zur Analyse der Diversität von mikrobiellen Gemeinschaften.

phylogenetischen Charakterisierung mikrobieller Gemeinschaften werden außerdem PCR-DGGE (PCR gekoppelt mit denaturierender Gradientengelelektrophorese, Abb. ) und *next-generation sequencing* Techniken angewendet.

Des Weiteren wird die Fluoreszenz *in-situ* Hybridisierung (FISH) in Kombination mit Fluoreszenzmikroskopie angewendet, um bakterielle, für die Abwasserbehandlung relevante, Gemeinschaften semi-quantitativ zu erfassen. Die Analyse umfasst dabei z.B. Nitrifikanten, ANAMMOX Bakterien, methanogene und sulfatreduzierende Bakterien. Zur weitergehenden



KONRAD KOCH  
(DR.-ING.)

089/28913706  
K.KOCH@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
INTERNATIONAL  
GRADUATE  
SCHOOL OF  
SCIENCE AND  
ENGINEERING;  
BAY. STAATS-MI-  
NISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT UND  
MEDIEN, ENERGIE  
& TECHNOLOGIE;  
BUNDESMINISTE-  
RIUM FÜR  
WIRTSCHAFT UND  
ENERGIE;  
DEUTSCHE  
FORSCHUNGSGE-  
MEINSCHAFT

*KOOPERATION:*  
EAWAG, SCHWEIZ;  
THE UNIVERSITY  
OF QUEENSLAND,  
AUSTRALIEN;  
UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG;  
BAY.  
LANDESANSTALT  
FÜR  
LANDWIRTSCHAFT

## Arbeitsgruppe Anaerobtechnik & Energierückgewinnung

Die zuverlässige Aufbereitung kommunaler Abwässern für eine bedenkenlose Einleitung in die Vorfluter ist und bleibt oberste Priorität der Abwasserreinigung. Ein erheblicher Anteil der Elektrizität einer Kommune wird in Kläranlagen verbraucht, jedoch wird derzeit nur ein Bruchteil davon in Form nutzbarer Energieträger (v.a. Methan) zurückgewonnen. Durch unterschiedliche Ansätze soll die Energie(rück)gewinnung aus Abwasser stärker forciert werden.

Ein Forschungsschwerpunkt liegt in der Steigerung der Effizienz des anaeroben Abbaus von Reststoffen. Dabei wird beispielsweise die Klärschlammbehandlung mittels Ultraschall auf ihre Eignung getestet und energetisch optimiert, wobei explizit die Übertragbarkeit vom Labor- in den Praxismaßstab eine zentrale Rolle spielt.

Ein anderes Projekt geht sogar über die eigentliche Hauptaufgabe von Kläranlagen, nämlich Abwasser zu reinigen, hinaus und widmet sich der Frage, inwiefern diese auch einen Beitrag zur Energiewende leisten können. Über die Elektrolyse von Wasser bereitgestellter Wasserstoff aus Überschussstrom soll das CO<sub>2</sub> des bei der Faulung des Klärschlammes anfallenden Biogases in Methan überführen und so orts- und zeitunabhängig im Gasnetz speichern. Unsere bisherigen Erfahrungen aus knapp 2 Jahren Betrieb deuten darauf hin, dass die mikrobielle Methanisierung im Rieselbettreaktor und unter thermophilen Bedingungen besonders schnell und effizient möglich ist.

Durch eine Kooperation mit der Cranfield University (UK) sind wir auf ein interessantes Phänomen aufmerksam geworden, welches wir bei eigenen Versuchen auch reproduzieren konnten. Offenbar scheint die Methanproduktivität des anaeroben Abbaus durch eine gezielte Anreicherung mit CO<sub>2</sub> stimuliert zu werden. Während dies auch schon von anderen Forschergruppen beschrieben wurde, gibt es bisher lediglich Hypothesen zu den möglichen Gründen. In einer Kooperation mit den Experten zur stabilen Isotopenmarkierung der Universität Heidelberg und den Mikrobiologen der LfL in Freising wollen wir der Sache in einem DFG-Projekt auf den Grund gehen.



Abb. 7: Kontinuierlich betriebene Biogastestreaktoren.



CARMEN LEIX  
(DR.-ING.)

BIS 10/17  
089/28913797  
C.LEIX@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
INTERNATIONAL  
GRADUATE  
SCHOOL OF SCI-  
ENCE AND ENGI-  
NEERING (IGSSE);  
DEUTSCHER AKA-  
DEMISCHER AUS-  
LANDSDIENST  
(DAAD)

*KOOPERATION:*  
LEHRSTUHL FÜR  
ANALYTISCHE CHE-  
MIE, TUM;  
EAWAG, SCHWEIZ;  
THE UNIVERSITY OF  
QUEENSLAND  
(UQ), AUSTRALIEN;  
UNIVERSITY OF  
VERONA, ITALIEN

## Strategien für eine verbesserte Deammonifikationsleistung und reduzierte N<sub>2</sub>O-Emissionen

Die Deammonifikation ist ein vielversprechendes Verfahren, um aus der Entwässerung des Klärschlammes anfallendes, stark ammoniumhaltiges Zentrat aufzubereiten, da im Vergleich zur Nitrifikation/Denitrifikation Kosten für Energie, Additive sowie die Schlammentsorgung eingespart werden können. Allerdings kann während des Prozesses Lachgas (N<sub>2</sub>O) entstehen und emittiert werden. Auf Grund des 300-mal höheren Treibhausgaspotenzials im Vergleich zu CO<sub>2</sub> und der Ozonschicht-zerstörenden Wirkung sollten diese Emissionen weitestgehend vermieden werden.

Daher wurden im Rahmen dieser Dissertation Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeliminationsleistung und zur Reduktion der N<sub>2</sub>O-Emissionen während der Deammonifikation entwickelt, um einen möglichst ökologischen sowie ökonomischen Prozess zu gewährleisten. Dafür wurden Experimente im Labor- und Pilotmaßstab mit ein- und zweistufigen Deammonifikationsanlagen durchgeführt, die sowohl als Sequencing-Batch-Reaktoren (SBR) mit suspendierter Biomasse, als auch als Moving-Bed-Biofilm-Reaktoren (MBBR) mit Biofilm betrieben wurden.

Es ließ sich zeigen, dass die Stickstoffeliminationsrate einstufiger MBBRs durch die zusätzliche Akkumulation von suspendierter Biomasse gesteigert werden konnte. Für einstufige SBRs wurde eine maximale Leistungsfähigkeit beim Betrieb mit intermittierender Fütterungs- und Belüftungsstrategie und einem pH-Wert von 7,5 bei Zyklusbeginn vorhergesagt. Minimale N<sub>2</sub>O-Emissionen wurden für eine einmalige Fütterungsstrategie, kontinuierliche Belüftung sowie einen pH-Wert von 7,8 bei Zyklusbeginn modelliert. Zudem sollte die Belüftungsstrategie an die systemspezifische Ist-N<sub>2</sub>O-Produktion angepasst werden, um N<sub>2</sub>O-Emissionen zu reduzieren (z.B. Aktivierung der Belüftung nur bei geringen gelöst-N<sub>2</sub>O-Konzentrationen, etc.). Da die Stickstoffeliminationsrate und N<sub>2</sub>O-Emissionen eine schwache positive Korrelation aufwiesen, ist die Erreichung einer ökonomischen und ökologischen Betriebsweise der Deammonifikation unter den untersuchten Bedingungen nur über einen Kompromiss zu erzielen. Da N<sub>2</sub>O-Emissionen einer Vielzahl an Einflussfaktoren unterliegen und eine hohe Variabilität aufweisen, wäre die vollständige Erfassung der Abluft aus der Deammonifikation und anschließender Verbrennung mit Biogas eine effektive End-of-Pipe Möglichkeit, gasförmiges N<sub>2</sub>O sicher in inertes N<sub>2</sub> umzuwandeln und somit eine umweltfreundliche Deammonifikation zu gewährleisten, ohne potentielle Einbußen bei der Stickstoffeliminationsrate befürchten zu müssen.

Die Dissertation wurde erfolgreich im September 2017 verteidigt und ist online via mediaTUM über den folgenden Link verfügbar:  
<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1355598>



MAX WEIßBACH  
(M.SC.)  
  
089/28913712  
MAX.WEISSBACH  
@TUM.DE

## Lachgas als innovative Quelle zur Energierückgewinnung aus Abwasserströmen (PANOWA)

Lachgas ( $N_2O$ ) ist ein natürliches Intermediat des biologischen Stoffwechsels und wird daher auch in biologischen Verfahren als Nebenprodukt der Abwasserreinigung emittiert. Durch seine  $CO_2$ -Äquivalenz von 300 ist  $N_2O$  ein sehr potentes Treibhausgas, welches außerdem die Zersetzung des stratosphärischen Ozons katalysiert. Da  $N_2O$  durch geringe Aktivierungsenergie exotherm zu molekularem Stickstoff zerfällt, besteht die Möglichkeit der aktiven Erzeugung, Abtrennung und energetischer Nutzung in Verbrennungsprozessen, beispielsweise mit Klärgasen.



Abb. 8: Automatisierte Bioreaktoren nach dem Vorbild der EAWAG.

Strategien zur effizienten biologischen Lachgasproduktion, technische Prozessintegration und Messtechniken werden daher mit dem Fokus auf ein mögliches Upscaling untersucht. Dazu wurde zunächst der von den Kollegen an der Stanford University entwickelte „Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation“ (CANDO) Prozess am Lehrstuhl in einem zweitstufigen Bioreaktorsystem etabliert (Abb. 8). Im kontinuierlichen Betrieb mit kommunalem Abwasser (Abb.9) wurde in zwei unterschiedlichen Betriebsstrategien gezeigt, dass eine Umsetzung von etwa 50 bis 70 % der eingehenden Stickstofffracht zu Lachgas möglich ist.

FÖRDERUNG:  
INTERNATIONAL  
GRADUATE  
SCHOOL OF  
SCIENCE AND  
ENGINEERING;  
BAYRISCH-KALI-  
FORNISCHES  
HOCHSCHULZEN-  
TRUM (BACATEC)

KOOPERATION:  
STANFORD  
UNIVERSITY, USA;  
EAWAG,  
SCHWEIZ;  
LEHRSTUHL FÜR  
ANALYTISCHE  
CHEMIE @ TUM

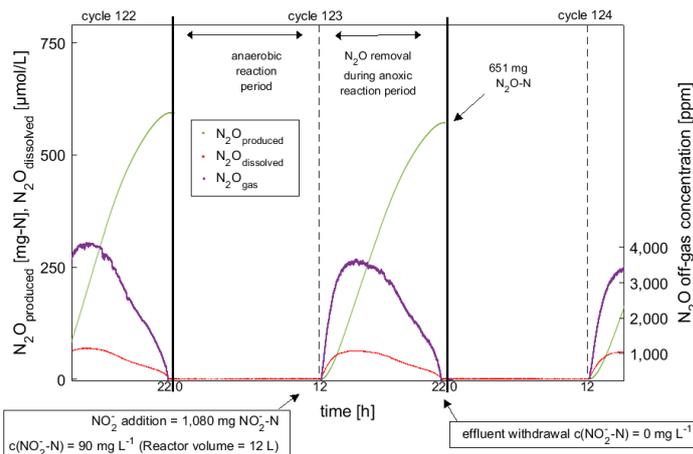


Abb. 9:  $N_2O$ -Produktion in der zweiten Stufe des CANDO-Prozesses im sequenziellen Batchbetrieb (Weißbach et al., 2017).

In einer weiteren Analyse zum Produktlebenszyklus alternativer Verfahrenskombinationen zur Wasserwiederverwendung wurde gezeigt, dass der CANDO-Prozess eine interessante Alternative zur Deammonifikation darstellt (Horstmeyer et al., 2017).



SELAMAWIT  
MULUGETA  
(M.Sc.)

089/28913707  
SG.MULUGETA  
@TUM.DE

## Multisektoraler Ansatz für das Abwassermanagement in Addis Abeba, Äthiopien

Addis Abeba hat derzeit 3,5 Millionen Einwohner und erstreckt sich über eine Fläche von 540 km<sup>2</sup>. Gemäß behördlicher Angaben beläuft sich der aktuelle Wasserverbrauch auf 20 Liter pro Einwohner und Tag. Lässt man zunächst Regen- und Fremdwasser außen vor, beträgt der tägliche Abwasseranfall insgesamt 70.000 m<sup>3</sup>/d. Die Wasserver- und Abwasserentsorgung im Stadtgebiet liegt in der Verantwortung der *Addis Ababa Water Supply and Sewerage Authority (AAWSA)*.

Die beiden bestehenden Kläranlagen Kality und Kotebe haben gemeinsam eine maximale Behandlungskapazität von lediglich 16.650 m<sup>3</sup>/d, was nur etwa einem Viertel des reinen Schmutzwasseranfalls der Stadt entspricht. Daher plant AAWSA die Erweiterung des bestehenden Kanalsystems um drei weitere Einzugsgebiete mit dazugehörigen Kläranlagen. Diese fünf Kläranlagen sollen zukünftig eine Behandlungskapazität von insgesamt 366.000 m<sup>3</sup>/d bereitstellen. Diesem zentralistischen Ansatz steht u.a. die Topographie der Stadt entgegen, die sehr gebirgig geprägt ist. Um auch entlegene Gebiete mit verhältnismäßigem Aufwand bedienen zu können, sind auch dezentrale Lösungen als Ergänzung gefragt.

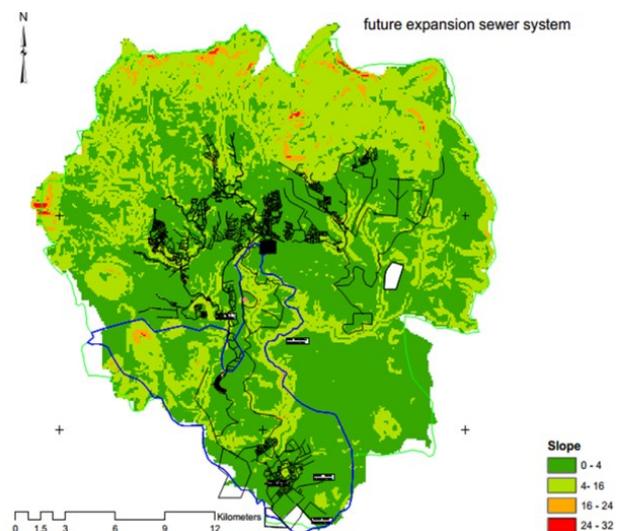


Abb. 10: Zukünftige Kanalsystemerweiterung in Addis Abeba.

Im Rahmen einer Umfrage wurde die Bereitschaft der Bevölkerung bezüglich Wasserrecycling und -wiederverwendung untersucht. Es zeigte sich, dass bereits ca. die Hälfte der Befragten gut informiert war und entsprechenden Ansätzen durchaus positiv gegenüberstand. Jedoch gaben auch 25% an, dass sie Vorbehalte gegen eine Wasserwiederverwendung hätten, insbesondere wenn Fäkalien dabei eine Rolle spielen.

Mit dem Wohlwollen des Großteils der Bevölkerung sollen nun dezentrale Abwasserbehandlungsverfahren entwickelt werden, die neben Wasser auch Nährstoffe und Energie zurückgewinnen. Schließlich soll der vielversprechendste Ansatz modellhaft auf dem Campus der Universität im Pilotmaßstab getestet werden. Der Nachweis der Eignung einfacherer, aber effizienter und resilienterer Systeme zur dezentralen Abwasserbehandlung wird hoffentlich dazu beitragen, die Lebensbedingungen in diesem schönen afrikanischen Land weiter zu verbessern.

FÖRDERUNG:  
ETHIOPIAN  
MINISTRY OF  
EDUCATION;  
DEUTSCHER  
AKADEMISCHER  
AUSTAUSCHDIENST

KOOPERATION:  
ADDIS ABABA  
SCIENCE AND  
TECHNOLOGY  
UNIVERSITY,  
ÄTHIOPIEN



DIETMAR  
STRÜBING  
(DIPL.-ING.)

089/28913717  
D.STRUEBING  
@TUM.DE

## Bedarfsgerechte Energiebereitstellung durch mikrobiologische 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 die Erforschung und Weiterentwicklung der mikrobiologischen Erzeugung von speicherfähigem Methan einzig aus elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff sowie Kohlenstoffdioxid aus verschiedenen Emissionsquellen (z.B. Biogasanlagen, Industrie, Verbrennungsprozesse).

Die mikrobiologische Methanisierung wird im Projekt *MikMeth* in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren im halbtechnischen Maßstab (58 l) untersucht. Auf Grund der deutlich vergrößerten Kontaktfläche zwischen Gas- und Wasserphase, findet in diesen Reaktoren bereits ohne energieaufwändige Gasinpressung ein verbesserter Gasübergang in die Flüssigphase, insbesondere für den schwer löslichen Wasserstoff, statt. Es konnte bereits ein stabiler Langzeitbetrieb sowie im Vergleich zu anderen Reaktorkonzepten hohe Methanbildungsraten bei Methangehalten größer 95 % demonstriert werden. Für die praktische Anwendbarkeit und die Effizienz des Verfahrens werden derzeit die flexible Betriebsweise des Rieselbettreaktors und die Auswirkungen potentieller längerer Ruheperioden ohne Gaszufuhr untersucht. Eine besondere Herausforderung stellt insbesondere die Bildung organischer Säuren sowie die Verdünnung des Mediums durch die reaktionsbedingte Wasserproduktion dar.

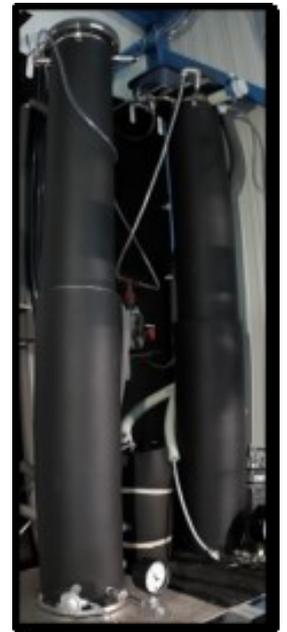


Abb. 11: Rieselbettreaktor im halbtechnischen Maßstab.

Die parallelen mikrobiologischen Untersuchungen an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zeigten zudem eine deutliche Veränderung in der Zusammensetzung der Biozönose im Langzeitbetrieb. Aus einem mesophilen Inokulum entwickelten sich hier bereits verschiedene thermophile hydrogenotrophe methanogene Archaeen als dominierende Spezies. Auch eine erste Ansiedlung der Archaeen als Biofilm im Rieselbett wurde beobachtet. Jedoch ist dieser im Vergleich zu mesophilen Systemen trotz eines zweijährigen Betriebs der Anlage deutlich geringer. Daher werden gegenwärtig die Notwendigkeit eines Biofilmes und dessen Bildungsmechanismen unter thermophilen Bedingungen untersucht.

FÖRDERUNG:  
BAYERISCHES  
STAATSMINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT UND  
MEDIEN, ENERGIE  
UND TECHNOLOGIE

KOOPERATION:  
BAYERISCHE  
LANDESANSTALT  
FÜR  
LANDWIRTSCHAFT



THOMAS LIPPERT  
(M.Sc.)

089/28913716  
THOMAS.LIPPERT  
@TUM.DE

## Steigerung der Energieeffizienz bei der Abwasserreinigung durch innovative Ultraschallintegration (UltraMethan)

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 Ultraschalleinheiten 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. 12).



Abb. 12: Kontinuierlich betriebene Biogastestreaktoren.

Die computergestützte Simulation der Fluidynamik (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 Schlammwässerbarkeit, 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.

**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 der anaeroben Behandlung entsteht CO<sub>2</sub> als ein Nebenprodukt.

Neueste Studien zeigen eine Steigerung der Methanausbeute bei der anaeroben Vergärung durch Anreicherung des Klärschlammes mit CO<sub>2</sub> (vgl. Abb. 13). 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>-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. Der kontinuierliche Betrieb beider Reaktoren ermöglicht es die Bedingungen nachzustellen die auch in großtechnischen Faultürmen vorherrschen. Die Ergebnisse dieser Studie sollen zum Verständnis der durch die CO<sub>2</sub>-Anreicherung ausgelösten Prozesse und einer Optimierung des Vergärungsprozesses beitragen. Die Nutzung des „Abfallproduktes“ CO<sub>2</sub> zur verbesserten Ausschöpfung des Potentials der Energieproduktion aus Abfallströmen, kann somit einen erheblichen Beitrag leisten die Energiewende weiter voran zu treiben.

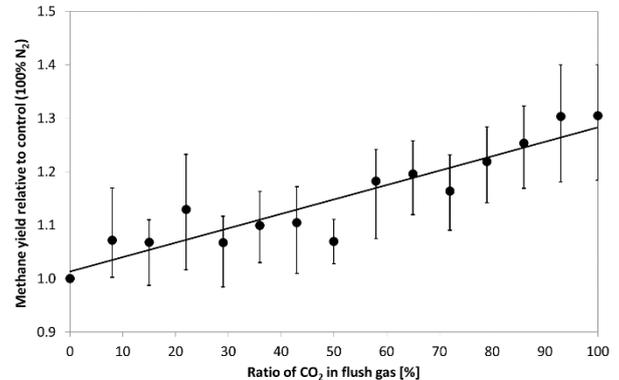


Abb. 13: Methanausbeute bei verschiedenen Spülgas - CO<sub>2</sub> Konzentrationen relativ zur Kontrolle (100% N<sub>2</sub>).

FÖRDERUNG:  
DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-  
GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:  
UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG;  
BAYERISCHE  
LANDESANSTALT FÜR  
LANDWIRTSCHAFT



THOMAS LETZEL  
(PD DR.)

089/28913780  
T.LETZEL@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Analytische Forschungsgruppe (AFG)

Die Analytische Forschungsgruppe (AFG) bestand 2017 – einschliesslich externer Doktoranden - aus neun Mitarbeitern (sowie typischerweise Forschungspraktikanten, Bachelor- und Masterstudenten) und finanzierte sich dabei im Wesentlichen aus Drittmitteln (wie BMBF, EU, BFS, AiF/BMWi, Stiftungen und Industrieforschung).

Zum Ende 2017 wurde die Arbeit der AFG unter Leitung von Dr. Thomas Letzel und Dr. Johanna Graßmann eingestellt. Einige der MitarbeiterInnen werden ihre Arbeit am Lehrstuhl fortsetzen, andere setzen ihre Tätigkeit in neuen analytischen Jobs fort. Die laufenden analytischen Arbeiten am Lehrstuhl werden ab 2018 unter neuer Leitung weitergeführt.



JOHANNA  
GRABMANN  
(PD DR. HABIL.)

089/28913709  
J.GRASSMANN  
@TUM.DE

Die Arbeitsschwerpunkte der AFG umfassten technologische, analytisch-methodische und analytisch-chemische Ansätze und sind im Bereich der Abwasseranalyse sowie weiteren umweltrelevanten Matrices, der Lebensmittelanalyse sowie Getränke und Pflanzenextrakten und weiteren flüssigen Matrices in Anwendung. Ein besonderer Fokus lag hierbei auf der chemischen Analyse durch massenspektrometrische Detektion bei gleichzeitiger Funktionsanalyse.

Ausgewählte Forschungsschwerpunkte waren:

- 1) Entwicklung analytischer Plattformen zur zielgerichteten Analyse von organischen Molekülen in komplexen Matrices (,Target-Screening'),
- 2) Entwicklung analytischer Plattformen zur Analyse von erwarteten organischen Molekülen in komplexen Matrices (,Suspected-Target-Screening' unter Einbindung von Datenbanken wie STOFF-IDENT),
- 3) Entwicklung analytischer Plattformen zur nicht-gerichteten Analyse von organischen Molekülen in Matrices (Hidden-Target-Screening'),
- 4) Entwicklung analytischer Plattformen zur Identifizierung organischer Moleküle in komplexen Matrices bei gleichzeitiger Funktionsanalyse mittels Massenspektrometrie,
- 5) Softwareentwicklung von modularen Bausteinen zur Auswertung analytischer Daten (Retentionszeitindex ,RTI', ,Achroma' und ,FOR-IDENT'),
- 6) Einsatz der analytischen Plattformen (1-3) im Bereich der oxidativen Behandlung von Wässern und der Schaffung nachhaltiger Strategien,
- 7) Einsatz der analytischen Plattformen (1-4) im Bereich der Inhaltsanalyse und Findung von Molekülen mit Biofunktionalität bei der Wasserbehandlung sowie in pflanzlichen Extrakten und in Getränken.

Abschließend seien noch die Projekte der AFG in der ehrenamtlichen Initiative ,Wissenschaft vermitteln' erwähnt.



THERESE  
BURKHARDT  
(M.Sc.)

089/28913711  
T.BURKHARDT  
@TUM.DE



LARA STADLMAIR  
(DIPL.-LMCHEM.)

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.

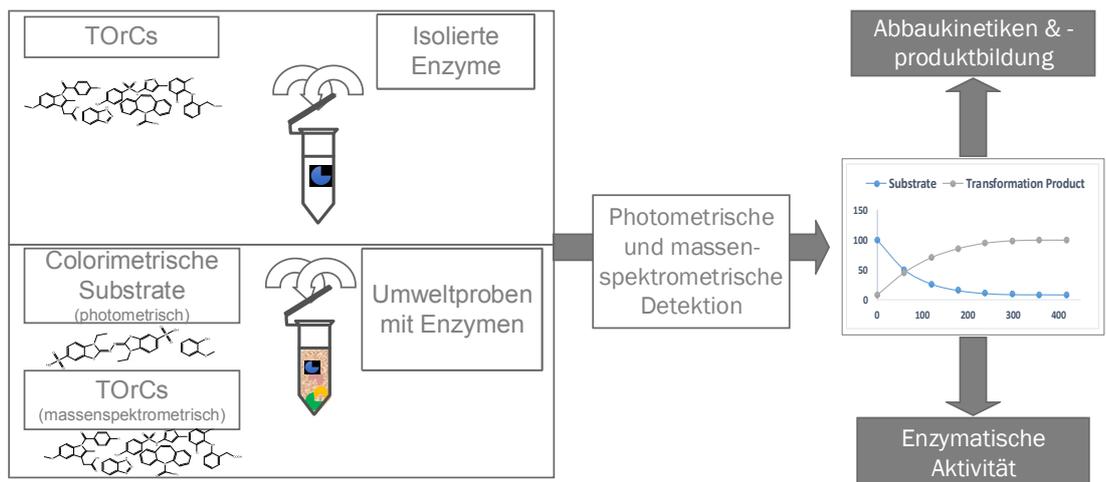


Abb. 14: Verfahren zur Untersuchung enzymatischer Reaktionen in Modellsystemen und Umweltproben.

### Untersuchung der enzymatischen Aktivität in biologischen Filtrationssystemen (Therese Burkhardt)

Um von Enzymen als TO<sub>2</sub>C-Metabolisierungskatalysatoren profitieren zu können, ist die Etablierung einer Methode zur Messung der enzymatischen Aktivität in Umweltproben eine Grundvoraussetzung. Um eine sensitive Methode zu etablieren, wurden zwei verschiedene Ansätze, die In-situ-Messung und ein Extraktionsverfahren, auf ihre Anwendbarkeit und Effizienz untersucht. Die enzymabhängige Substratumwandlung wurde photometrisch untersucht. Um jedoch zwischen realer enzymatischer Aktivität und Substratumwandlung durch andere Mechanismen unterscheiden zu können, ist eine negative Kontrolle erforderlich. Daher wurden verschiedene Behandlungsverfahren untersucht. Zusätzlich wurde die Umwandlung von TO<sub>2</sub>Cs durch extrahierte Enzyme des biologischen Filtrationssystems mittels Direkt-Infusion untersucht, die an Massenspektrometrie gekoppelt sind. Die Ergebnisse zeigen, dass die Substratoxidation in der untersuchten Probe durch die verwendete Methode, den pH-Wert, das Substrat und das verwendete Co-Substrat beeinflusst wird. Aufgrund der Komplexität der untersuchten Probe kann bisher keine generelle Aussage über ein Negativkontroll-Experiment getroffen werden. Dennoch haben sich massenspektrometrische Messungen zur Untersuchung der Transformation von TO<sub>2</sub>Cs erfolgreich etabliert. Der optimierte photometrische Ansatz in Verbindung mit einer geeigneten Negativkontrolle dient als Grundlage für die Beurteilung der enzymatischen Aktivität in biologischen Filtrationssystemen. Die Massenspektrometrie bietet die Möglichkeit, die Transformation verschiedener TO<sub>2</sub>Cs zu untersuchen.

### Monitoring des enzymatischen Abbaus von TO<sub>2</sub>Cs und der Produktbildung mit unterschiedlichen MS-Workflows (Lara Stadlmair)

Ein weiteres Ziel ist die Untersuchung des Potenzials ausgewählter Enzyme zum Abbau und zur Transformation von TO<sub>2</sub>Cs 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 Laccases, 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 TO<sub>2</sub>C- 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 TO<sub>2</sub>Cs zu reduzieren. Die Charakterisierung von Reaktionsmechanismen soll darüber hinaus dazu beitragen, das chemische Verhalten von TO<sub>2</sub>Cs insbesondere in Kläranlagen zu verstehen.

THOMAS LETZEL  
(PD DR.)089/28913780  
T.LETZEL  
@TUM.DE

SYLVIA GROSSE

BIS 05/17  
S.GROSSE  
@TUM.DE

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

Das Projekt FOR-IDENT (FI) ist ein mehrjähriges 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).

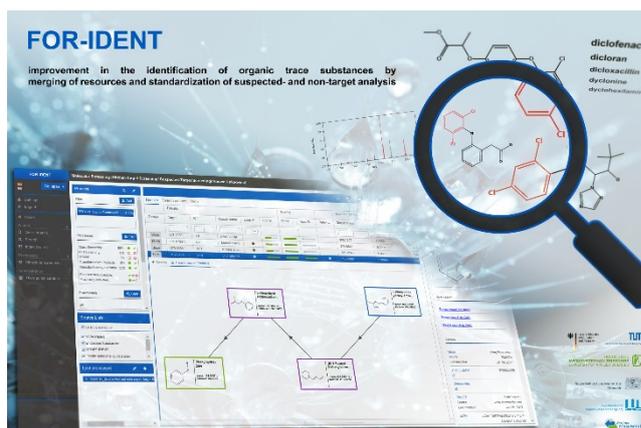


Abb. 15: Darstellung der FOR-IDENT Plattform  
Info in aktuellen Fachzeitschriften.

Die Anwendung der im RISK-IDENT Projekt entwickelten Stoffdatenbank STOFF-IDENT spielt dabei eine zentrale Rolle (siehe auch <https://www.lfu.bayern.de/stoffident>). 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.

FÖRDERUNG:  
BMBF- RISKWA  
(02WRS1354)

KOOPERATION:  
BWB, HSWT,  
LFU, LW, TUM



STEFAN BIEBER  
(DR. RER. NAT.)

089/28913702  
S.BIEBER@TUM.DE

## Paralleler Nachweis von sehr polaren und unpolaren organischen Spurenstoffen in Gewässerproben mittels SFC

Organische Spurenstoffe rücken zunehmend in den Fokus der Gewässeranalytik. Bei diesen Stoffen handelt es sich um Rückstände von Arzneimitteln, Alltagschemikalien, Pestiziden und Ähnlichem, die in Gewässern in Konzentrationen vom ng/L bis µg/L Bereich auftreten. Für die Analytik von organischen Spurenstoffen wird standardmäßig Umkehrphasenchromatographie, gekoppelt mit Massenspektrometrie eingesetzt. Diese Technik ist sehr gut etabliert, und hervorragend für Nachweis von mittel- bis unpolaren Substanzen geeignet.



Abb. 36: SFC Anlage mit massenspektrometrischer Detektion in unserem Labor.

Der Nachweis polarer bis sehr polarer Substanzen ist mit Umkehrphasenchromatographie nur schwer möglich. Da sehr polare Substanzen in Gewässern vorhanden sind und diese Bedeutung für die Gewässerqualität haben müssen neue Techniken entwickelt und bewertet werden, die den Nachweis dieser Substanzen ermöglichen. Eine solche Technik ist die superkritische Fluidchromatographie oder SFC. Für die Trennung von Substanzen wird hierbei Kohlenstoffdioxid in der Nähe des kritischen Punktes eingesetzt.

Am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft wird die SFC für auf ihre Eignung zum Nachweis von Spurenstoffen hin untersucht. Als Detektor wird hierfür ein Flugzeitmassenspektrometer verwendet (Abb. 12). Es konnte bereits gezeigt werden, dass die SFC sehr gut für den Nachweis von polaren bis sehr polaren Substanzen einsetzbar ist, aber zusätzlich auch un- bis mittelpolare Substanzen trennen kann.<sup>1</sup> Somit können sowohl die Spurenstoffe, die bislang mit Umkehrphasenchromatographie, wie auch deutlich polarere Stoffe nachgewiesen werden. Zur Erweiterung des nachweisbaren Spurenstoffspektrums in Gewässern eignet sich die SFC somit sehr gut. Das Wissen um die Grundlagen dieser Trenntechnik ist zurzeit allerdings noch nicht ausreichend um die Technik vollständig zu verstehen. Im Gegensatz zu Flüssigphasentrenntechniken gibt es in der SFC deutlich mehr Faktoren, die die Trennung der Substanzen beeinflussen. Um das Verständnis für den Zusammenhang und Einfluss dieser Faktoren zu verbessern, werden derzeit intensive Studien am Lehrstuhl durchgeführt. Die Dissertation wurde erfolgreich im Dezember 2017 verteidigt.

KOOPERATION:  
AGILENT  
TECHNOLOGIES



SOFIA VELOUTSOU  
(M.Sc.)

BIS 11/17  
089/28913707  
SOFIA.VELOUTSOU  
@TUM.DE

## Non-Target Screening Workflows Using RPLC-HILIC-MS

Die instrumentelle Analytik zur Untersuchung organischer Moleküle hat sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt, aber es bleibt nach wie vor sehr schwierig komplexe Umweltmatrices wie Oberflächen- oder Abwasser auf deren Bestandteile hin zu untersuchen. Dies zeigt sich nicht nur Anhand der Tausenden Chemikalien die von den Menschen eingesetzt werden, sondern erweitert sich noch durch deren Metaboliten sowie Transformationsprodukte aber auch durch Moleküle biogener Quellen.

Bis heute werden die meisten Wasser-Analysen zielgerichtet auf bekannte Moleküle hin untersucht. Seit jüngerer Zeit allerdings werden mittels akkurater und hochauflösender Massenspektrometrie auch sogenannte Non-Target Screenings durchgeführt, also die nicht zielgerichtete Analyse. Dabei kommt bisher überwiegend LC-MS(/MS) zum Einsatz, die über einen sogenannten Retentionszeit-Masse-Plot einen umfassenden Einblick in die Zusammensetzung der enthaltenen organischen Moleküle von Wasserproben geben kann.

Die darin enthaltenen -zunächst nicht bekannten- Moleküle werden neuerdings auch als "Hidden Targets" bezeichnet, da sie zwar in chemischen Stoffdatenbanken, Literatur oder analytischen Referenzdatenbanken hinterlegt sein können, dem/der Analytiker/in aber anfangs nicht bekannt sind. Somit bedarf es neuer Auswertestrategien die solche Datenbanken und Literatur zur Identifizierung nutzt. Es wurden unterschiedliche Proben mit RPLC-HILIC-API-MS vermessen und mittels der erwähnten Strategien konnten sehr polare bis unpolare Moleküle erfasst werden.

Anschließend wird zur unterstützenden Identifizierung die Stoffdatenbank STOFF-IDENT genutzt um anthropogen in die Umwelt eingebrachte Moleküle über ihre Molekularmasse und Hydrophobizität (d.h. dem log D- Wert) zuzuordnen. Mittels MS/MS-Daten können diese Ergebnisse zukünftig auch in der FOR-IDENT Plattform validiert werden.

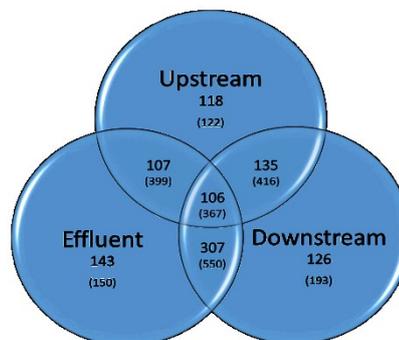


Abb. 17: Anzahl (sehr) polarer und unpolarer Moleküle erfasst mit der neuen Analysetechnik in unterschiedlichen Wasserproben.

FÖRDERUNG:  
PHD  
SCHOLARSHIP,  
BAYERISCHE  
FORSCHUNGSSTIF-  
TUNG



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 (siehe auch Abb. 18). 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.

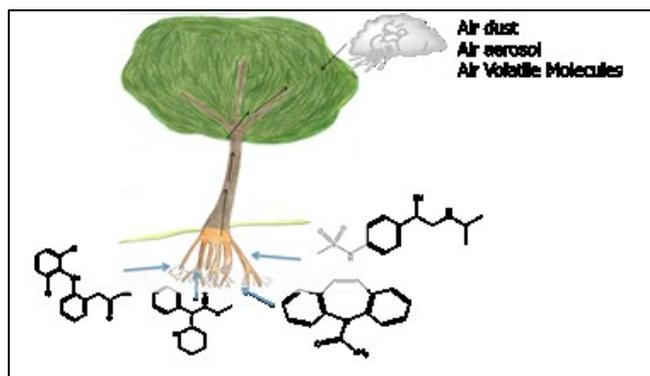


Abb. 18: Exposition von Pflanzen und Wechselwirkungen des Spurenstoffabbaus.

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



JÖRG E. DREWES  
(PROF. DR.-ING.)

089/28913713  
JDREWES@TUM.DE



JOHANNA  
GRABMANN  
(PD DR. HABIL.)

089/28913709  
J.GRASSMANN  
@TUM.DE



JULIA REICHEL  
(M.SC.)

089/28913711  
JULIA.REICHEL  
@TUM.DE

## Analytik und Umweltverhalten von Mikroplastik

Im Jahr 2017 starteten 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 Analysis 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 < 1 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 neuen 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. 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.

In dem Verbundprojekt sollen innovative Methoden erarbeitet werden, um Submikroplastik analytisch zu erfassen und toxikologisch zu bewerten, sowie als gesellschaftliches Problem aufzugreifen. Das Projekt gliedert sich in drei Schwerpunkte: Zunächst sollen Technologien entwickelt werden, die es erlauben, Submikroplastik zuverlässig zu analysieren. Dies umfasst die Etablierung und Validierung der Probennahme und Probenaufbereitung und die Entwicklung von analytischen

Verfahren zu Trennung, Größenbestimmung, Detektion und Identifizierung. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob und in welchem Ausmaß Submikroplastik Schadstoffe adsorbiert und welchen Einfluss dies auf die Umweltwirkung von Submikroplastik hat. Die Umweltwirkung wird umfassend im zweiten Schwerpunkt analysiert, der sich mit der toxikologischen Bewertung befasst. Submikroplastikpartikel werden hinsichtlich ihrer Effekte auf Mikroorganismen, die aquatische Umwelt und die menschliche Gesundheit untersucht. Ein dritter Schwerpunkt liegt auf sozialen, politischen und rechtlichen Aspekten. Hier werden gesellschaftliche Problemwahrnehmungen erforscht und Handlungsräume ausgelotet, sowie die Möglichkeiten neuer Rechtssetzungen eruiert. 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)

### **MiPAq – Forschungsprojekt zu Mikroplastik in Gewässern und Lebensmitteln**



Der Schwerpunkt dieses von der Bayerischen Forschungsförderung geförderten und vom Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie (Prof. Jürgen Geist/Dr. Sebastian Beggel) 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.



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. 19: Probenahme an einer Versuchsanlage.

Dezentralen Behandlungsanlagen für Metalldach- und Verkehrsflächenabflüsse werden hierfür entwickelt und evaluiert. In diesem Rahmen werden auch Prüfungen von Behandlungsanlagen von Metalldachabflüssen nach den „Prüfkriterien zur vorläufigen Beurteilung von Versickerungsanlagen zum Rückhalt von Metallionen aus Niederschlagsabflüssen von Metalldächern“ 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.



FLORIAN  
EBERTSEDER  
(M.Sc.)

089/28913797  
FLORIAN.  
EBERTSEDER  
@TUM.DE

## 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.



Abb. 20: Gefäßversuch im Gewächshaus mit unterschiedlichen Böden sowie den Kulturen Mais (*Zea mays*) und Raps (*Brassica napus*).

Ein ganz wesentlicher Aspekt ist hierbei die Nutzung der pH-Abhängigkeit des P-Angebotes in der Bodenlösung (optimal pH 5 bis 6,5).

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.

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



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.



Im urbanen Raum muss die natürliche Reinigungswirkung des bewachsenen Oberbodens aufgrund der oftmals beschränkten Flächen mit technischen Lösungen erwirkt werden. Hierdurch ist ein effizienter Schutz vor Kontamination des Boden-/Grundwassersystems erzielbar.

Abb. 21: Versuchsanlage zur Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen.

Außer zahlreiche 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 Antiklopffmittel (MTBE/ETBE), Cyaniden aus Streusalzen und Feinpartikeln (AFS63) integriert.

FÖRDERUNG:  
BAYERISCHES  
LANDESAMT FÜR  
UMWELT;  
LANDESHAUPTSTADT  
MÜNCHEN



BASTIAN HERZOG  
(DR. RER. NAT.)

BIS 11/17  
089/28913720  
B.HERZOG@  
TUM.DE

## Arbeitsgruppe Mikrobiologische Systeme

Mikroorganismen sind der Schlüssel zum Verständnis von Biotransformationsprozessen, die zum Abbau von Kontaminanten führen, und das nicht nur in natürlichen, sondern auch in künstlichen aquatischen Systemen. Aus diesem Grund beschäftigt sich die AG Mikrobielle Systeme mit biologischen Prozessen in ingenieurtechnischen Systemen, wie z.B. die biologische Abwasserreinigung oder die Anwendung von Biofiltern in der Trinkwasseraufbereitung. Durch die Verwendung von modernen molekularen Techniken können neue Einsichten in die Funktionen von mikrobiellen Gemeinschaften, sowohl auf zellulärer als auch enzymatischer Ebene, gewonnen werden. Ein Fokus liegt dabei auf der Identifikation von relevanten bakteriellen Gemeinschaften und deren spezifischer Aktivitäten in Bezug auf Stickstoffumwandlung (Nitrifikanten, ANAMMOX), anaerobe Prozesse (Sulfat-reduzierende Bakterien, Methanogene) und der mikrobiell induzierten Korrosion. Des Weiteren werden die taxonomische und funktionelle Vielfalt bakterieller Gemeinschaften mit speziellen Funktionen, z.B. Abbau von Mikroschadstoffen in der Abwasserreinigung und Trinkwasseraufbereitung, untersucht. Dazu kommen vor allem die quantitative real-time PCR (qPCR, Abb.22) als auch *next-generation sequencing* Technologien zum Einsatz.

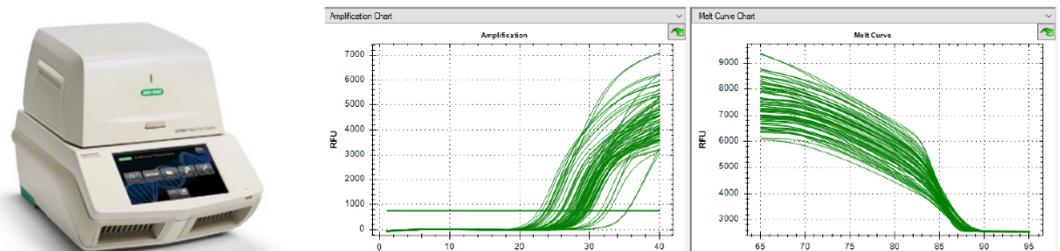


Abb. 22: qPCR Analyse im 96 well Format zum Nachweis verschiedener Antibiotika Resistenzgene.

Zusätzlich werden effiziente Wege zur Inaktivierung von Pathogenen Keimen und der Verhinderung der Ausbreitung von Antibiotika Resistenzgenen in verschiedenen aquatischen Systemen untersucht. Der Nachweis und die Quantifizierung von Indikatororganismen für fäkale Verunreinigungen (*E. coli*, Gesamtkoliforme und Enterokokken, Abb.23) oder von pathogenen Bakterien, z.B. *Pseudomonas* spp. und *Legionella* spp., werden routinemäßig durchgeführt.

FÖRDERUNG:  
BMW, ZIM, BMBF,  
EU JPI WATER

KOOPERATION:  
LFL, FREISING;  
LFU, AUGSBURG;  
KIT, KARLSRUHE;  
COLORADO SCHOOL  
OF MINES, GOLDEN,  
COLORADO, USA

Diese Techniken werden angewendet, um fäkale Verunreinigungen in Oberflächenwässern nachzuweisen, um den effektiven Rückhalt von biologisch aktiven Filtern zu bestimmen, oder auch um die Desinfektionseffizienz von weitergehenden Abwasserbehandlungsmethoden (UV, Ozonierung) zu ermitteln. Klassische mikrobiologische Methoden (Abb.4) werden mit molekularbiologischen Methoden (Abb.5) kombiniert, um die aktuellen Forschungsschwerpunkte effizient zu bearbeiten:



- Quantifizierung von Pathogenen und von Antibiotika Resistenzgenen in aquatischen Systemen mittels PCR-DGGE, real-time quantitative PCR (qPCR), Metagenom- und Metatranskriptomanalysen
- Evaluierung der Aktivität und des biologischen Abbaupotentials von Bakterien und bakteriellen Gemeinschaften in verschiedenen Systemen mittels Fluorescence *in situ* Hybridisation (FISH) gekoppelt mit Konfokaler Laser Scanning Mikroskopie (CLSM)
- Detektion und Beobachtung der Ausbreitung von Antibiotika Resistenzgenen in verschiedenen Abwasserbehandlungssystemen mittels (RT)-qPCR

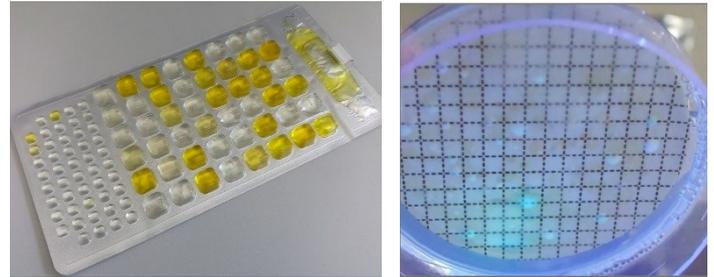


Abb. 23: Colilert-18 Analysesystem, um schnell und wiederholbar *E. coli* und Gesamtkoliforme Keime nachzuweisen (links). Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* auf speziellen Nährböden mittels UV Licht (rechts).

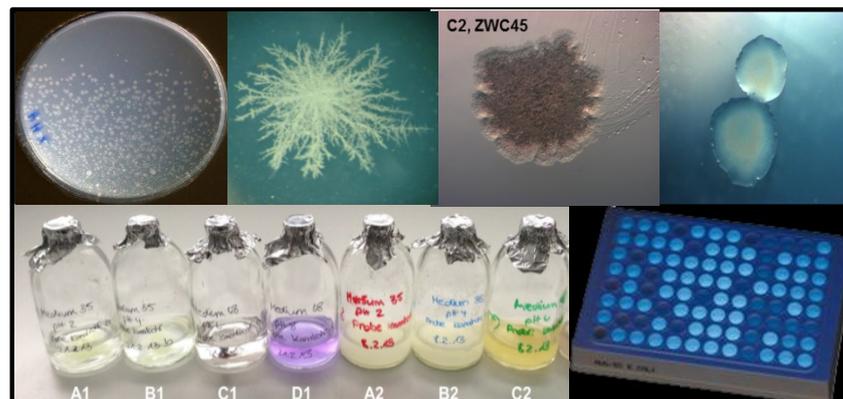


Abb. 24: Mikrobiologische Kultivierungstechniken auf Festnährböden und als Flüssigkulturen in Serumflaschen (aerob oder anaerob), Kulturfläschchen zur Bestimmung von z.B. *E. coli* über die MPN (most probable number) Methode oder in Mikrotiterplatten, um verschiedene Mikroorganismen quantifizieren zu können.

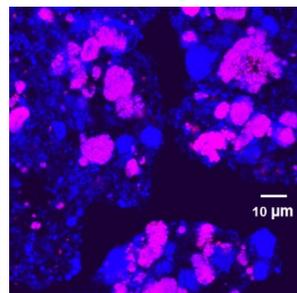


Abb. 25: CLSM Aufnahme einer Belebtschlammflocke nach FISH Färbung, um die Verteilung der Organismen zu ermitteln. *Nitrospirae* (magenta, Nitrit oxidierende Bakterien, NOB) und DAPI markierte Bakterien (blau).



UWE HÜBNER  
(DR.-ING.)

089/28913706  
U.HUEBNER  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Natürliche Aufbereitungsverfahren

Organische Spurenstoffe in Grund-, Oberflächen- und Trinkwässern und deren potentiell negative Auswirkungen auf aquatische Systeme und die menschliche Gesundheit sind von wachsender Bedeutung. Natürliche Aufbereitungsverfahren wie Uferfiltration, Grundwasseranreicherung und Biofiltration werden seit Jahrzehnten effektiv für die Wasseraufbereitung eingesetzt. Zu den Zielen der Arbeitsgruppe gehören:

- die Untersuchung des Einflusses wesentlicher Umweltfaktoren auf die Entfernung organischer Spurenstoffe in biologischen Systemen,
- die Steuerung und Optimierung der zumeist passiven natürlichen Verfahren, um eine effektive Entfernung organischer Spurenstoffe zu erreichen,
- die Entwicklung neuer technologischer Konzepte der Biofiltration,
- die Kopplung natürlicher Aufbereitungsverfahren mit anderen Technologien und
- die Integration natürlicher Aufbereitungsverfahren in Konzepte der Wasserwiederverwendung.

Für eine aktive Steuerung des Spurenstoffabbaus ist ein grundlegendes Verständnis der ablaufenden Prozesse notwendig. Bisherige Arbeiten zeigten eine optimierte Entfernung von Spurenstoffen unter oxidischen Bedingungen und bei geringerer Konzentration des biologisch verfügbaren DOCs. Die Rolle des refraktären Anteils am organischen Kohlenstoff beim Abbau der Spurenstoffe ist bisher jedoch nicht klar. In verschiedenen Systemen mit Bodensäulen wird der Einfluss von Charakter und Konzentration von Huminstoffen näher untersucht. Dabei werden modernste chemische und biomolekulare Methoden genutzt, um die Entfernung der Spurenstoffe zu quantifizieren, den Charakter des organischen Kohlenstoffs zu charakterisieren und wesentliche, am Abbau beteiligte Organismen und Enzyme zu identifizieren.



Abb. 26: Aufbau verschiedener Säulenexperimente.

KOOPERATION:  
HELMHOLTZ ZENT-  
RUM MÜNCHEN;  
UNIVERSITÄT TÜ-  
BINGEN; TÜBINGEN



KARIN HELLAUER  
(M.ED.)

089/28913714  
KARIN.HELLAUER  
@TUM.DE

## Untersuchung der Sequentiellen Grundwasseranreicherung (SMART)

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. Aktuelle Studien zum Abbau dieser Substanzen haben gezeigt, dass neben den Redoxbedingungen, die Konzentration, Zusammensetzung und Bioverfügbarkeit des gelösten organischen Kohlenstoffs im Wasser sehr wichtig für die Umsetzung sind.

Im innovativen 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. Dieses Konzept wurde bereits erfolgreich in den USA getestet und wurde nun im Rahmen eines Kooperationsprojekts mit der TU Berlin (TUB), der Universität Oldenburg (UO) und den Berliner Wasserbetrieben (BWB) erfolgreich auf den Standort Berlin übertragen (Abb. 27).

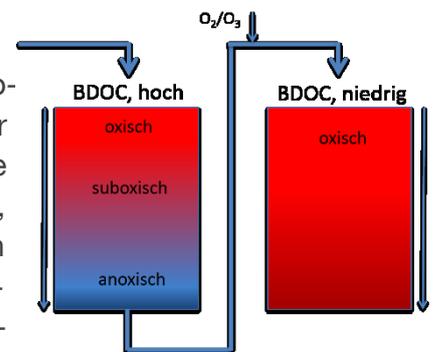


Abb. 27. Konzept der sequentiellen Grundwasseranreicherung (SMART).

Mit Hilfe neuer Sequenzierungstechniken konnte bereits gezeigt werden, dass die mikrobielle Gemeinschaft die unter kohlenstofflimitierten Bedingungen besonders divers ist. In einem neuen Ansatz sollen nun in Zusammenarbeit mit Prof. Mike Manfield von der University of New South Wales in Australien genetische Eigenschaften identifiziert werden, mit denen oligotrophe und copiotrophe Mikroorganismen unterschieden werden können. Das Ziel ist die Entwicklung eines mikrobiologischen Ansatzes, um die Einstellung optimaler Bedingungen für den Abbau von Spurenstoffen zu verifizieren.



Abb. 28: Versickerungsbecken auf der Insel Baumwerder, Tegeler See.

FÖRDERUNG:  
BERLINER  
WASSERBETRIEBE

KOOPERATION:  
TU BERLIN;  
UNIVERSITÄT  
OLDENBURG



JOHANN MÜLLER  
(DIPL.-ING.)

089/28913702  
JO.MUELLER  
@TUM.DE

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

Das seit Januar 2015 laufende Forschungsprojekt FRAME hat 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 Abwasser als Trinkwasserressource relevant sind.

Im Rahmen des Projekts entwickelt die TUM neue, innovative Verfahrenskombinationen, die geeignet sind, Schadstoffe effektiv aus dem Wasserkreislauf zu entfernen. Die Arbeitsgruppe „Natürliche Aufbereitungsverfahren“ führt hierzu Pilotstudien zur Evaluierung zuverlässiger und kosten-effizienter Strategien durch. Die weitergehende biologische Behandlung ist hierbei ein vielversprechender Ansatz zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen. Das Ziel besteht in der Entwicklung von Hochleistungsbiofiltern, die die Vorzüge hoher mikrobieller Diversität in Langsandsfiltern mit den hohen Durchsatzraten in klassischen Schnellfiltern verknüpfen. Durch die gezielte Einstellung oxidischer und oligotropher Bedingungen wird eine Elimination schwer abbaubarer Stoffe ermöglicht. Der experimentelle Aufbau mit vier voneinander unabhängigen Filtersystemen ermöglicht eine parallele Untersuchung verschiedener Behandlungsstrategien und Aufenthaltszeiten. Zusätzlich werden Möglichkeiten zur Kombination biologischer Filtrationssysteme mit Adsorptions- und Oxidationsverfahren getestet. Neben der Entfernung von biologisch nicht abbaubaren Stoffen werden auch potentielle Synergien zwischen verschiedenen angewandten Technologien untersucht.



Abb. 29: Aufbau der Biofilter.

Bisherige Ergebnisse zeigen, dass durch Einstellung oxidischer und oligotropher Bedingungen ein gegenüber konventionellen biologischen Filtersystemen höherer Abbau einer Reihe von Spurenstoffen erfolgen kann. Für eine Kombination aus Biofiltrations- und Adsorptionsverfahren konnte eine deutlich verbesserte Ausnutzung der Adsorptionskapazität für die Entfernung von Spurenstoffen festgestellt werden. Derzeit werden Möglichkeiten für die Integration oxidativer Verfahren untersucht.

FÖRDERUNG:  
BMBF JPI WATER

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



BRIGITTE  
HELMREICH  
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913719  
B.HELMREICH@  
TUM.DE



UWE HÜBNER  
(DR.-ING.)

089/28913706  
U.HUEBNER@  
TUM.DE

## Arbeitsgruppe Weitergehende Wasserbehandlung und Wasser Recycling

Die Arbeitsgruppe Weitergehende Wasserbehandlung und Wasser Recycling leiten Frau Professor Helmreich und Dr. Uwe Hübner gemeinsam. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit weitergehenden Behandlungsverfahren der Nährstoffentfernung (Deammonifikation; weitestgehende P-Entfernung), einschließlich oxidativer Verfahren zur Desinfektion und Entfernung organischer Spurenstoffe (Advanced Oxidation Processes; Ozon; elektrochemische Verfahren), Membranprozesse (Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose) sowie des Wasser Recyclings.

Im Vordergrund der Forschung stehen dabei Arbeiten zur verfahrenstechnischen Optionen der weitergehenden Wasseraufbereitung, insbesondere die Entfernung von Nährstoffen, organischen Spurenstoffen und pathogenen Keimen. Diese Hybridverfahren schließen modifizierte biologische technische Filter, weitergehende Oxidationsverfahren (UV/Peroxid; nanomodifizierte Diamantelektroden; Ozon), granuliert Aktivkohle sowie Membranverfahren (Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose) ein, die sowohl zentral wie dezentral eingesetzt werden können.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt sind Verfahren des Wasser Recyclings zur Stützung der Trinkwasserversorgung und Industrierwasserversorgung. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung von energieeffizienten Verfahren sowie der Integration der Energierückgewinnung bei Wasserrecyclingverfahren. Die messtechnische Überwachung dieser Installationen insbesondere für dezentrale Anwendungen mit neuen Messverfahren sind gemeinsame übergreifende Thematiken aller Arbeitsgebiete.

SEMA KARAKURT  
(M.Sc.)089/28913705  
SEMA.KARAKURT  
@TUM.DEVERONIKA  
ZHITENEVA  
(M.Sc.)089/28913705  
V.ZHITENEVA  
@TUM.DE

FÖRDERUNG:  
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG  
UND FORSCHUNG

KOOPERATION:  
UBA, BFG, BGS  
UMWELT,  
HYTECON,  
COPLAN AG,  
BWB, DHI  
WASY, TUB, UO,  
TZW

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

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 halbtechnischen 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 halbtechnischen Untersuchungen an der TUM. Die Ergebnisse sollen während einer Realisierung des SMARTplus Verfahrens (Abb. 30) im Demonstrationsmaßstab in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben validiert werden.

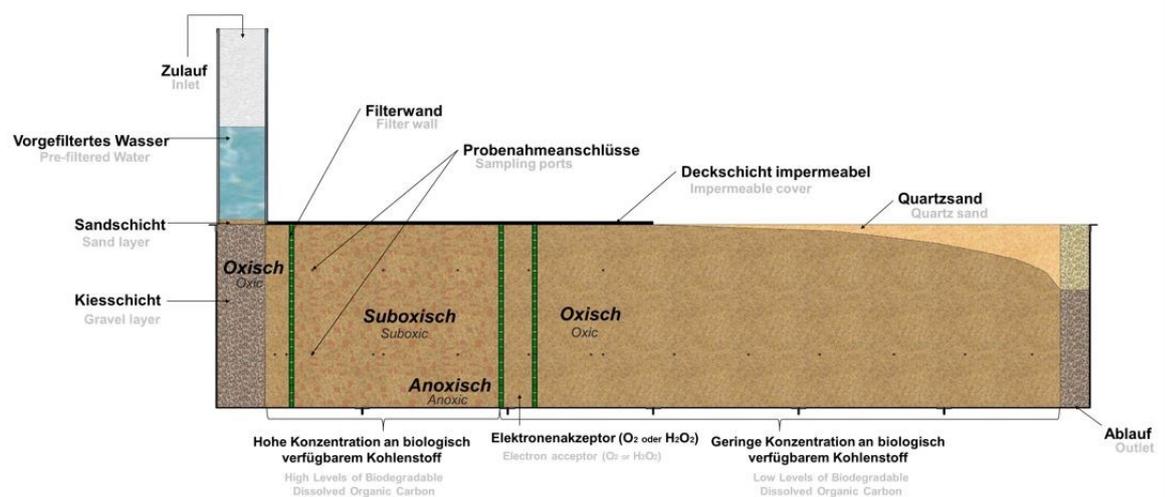


Abb. 30: Planungsmodell der halbtechnischen Versuchsanlage SMARTplus an der TUM.

SEMA KARAKURT  
(M.Sc.)089/28913705  
SEMA.KARAKURT  
@TUM.DEFÖRDERUNG:  
UMWELTBUNDES-  
AMTKOOPERATION:  
DHI WASY GMBH

## 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 (siehe Abb. 31). Wenn eine Entnahme unterhalb dieser Einleitungen bei substantiellen Abwasseranteilen im aufnehmenden Gewässer zum Zweck der Grundwasseranreicherung, zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen oder einer anderen Nutzung stattfindet, 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. 31. Ungeplante Wasserwiederverwendung.

Bei einer Trinkwassergewinnung über Uferfiltration oder künstliche Grundwasseranreicherung bestimmt der Grad der Belastung von Oberflächengewässern wesentlich die Qualität des Rohwassers. Obwohl bisher nicht eindeutig geklärt ist, ab welchem Abwasseranteil bei Standorten mit einer Trinkwassergewinnung über Uferfiltration und Grundwasseranreicherung ein erhöhtes Risiko besteht, weisen vorläufige Studien auf Herausforderungen bei der Entfernung organischer Spurenstoffe und resistenter Pathogene bei einer konventionellen Trinkwasseraufbereitung hin, gerade dort wo der Abwasseranteil in Oberflächengewässern über 10% liegt.

Im Rahmen einer Studie für das Umweltbundesamt werden der relative Abwasseranteil in Fließgewässern in Deutschland und deren Auswirkungen auf die Rohwasserqualität bei Direktentnahme sowie für die Uferfiltration und künstliche Grundwasseranreicherung dargestellt. Aufbauend auf diesen Daten erfolgt eine Abschätzung in verschiedene Belastungsklassen. Für ausgewählte Standorte und Wasserversorgungsunternehmen wird dann unter Berücksichtigung lokaler Bedingungen (Fließverhalten, Brunnenbetrieb, Art der Aufbereitung) eine Gefährdungsabschätzung für die Trinkwasserversorgung vorgenommen.



NILS HORSTMAYER  
(M.Sc.)

089/28913712  
NILS.HORSTMAYER  
@TUM.DE

FÖRDERUNG:  
TUM; OSWALD-  
SCHULZE-  
STIFTUNG

KOOPERATION:  
COLORADO SCHOOL  
OF MINES, USA;  
TU DELFT,  
DIE NIEDERLANDE;  
UNIVERSITÉ DU LU-  
XEMBOURG,  
LUXEMBURG;  
UNIVERSITY OF NEW  
SOUTH  
WALES, AUSTRALIA

## 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. 32). 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 entscheidende Schlüsselrolle.



Abb. 32: 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. 33) werden die hydrodynamischen Eigenschaften der Membranmodule durch optimierte Spacergeometrien sowie Reinigungsmechanismen durch gezielte Vibrationen der Membranen verfolgt.

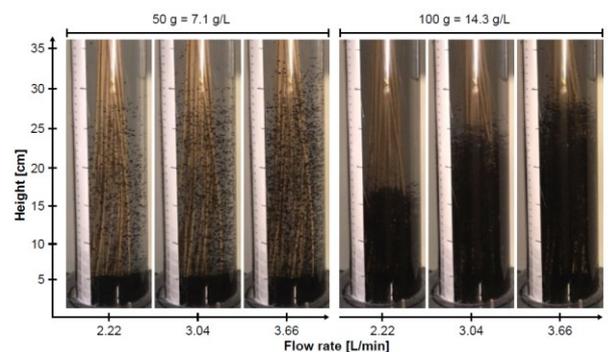


Abb. 33: Untersuchung des Reinigungseffektes von Ultrafiltrationsmembranen durch granuliert Aktivkohle.



NATALIE  
MAGALHÃES  
(M.Sc.)

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 34 dargestellt ist. Dies hängt damit zusammen, dass Biofouling zu höheren Betriebsdrücken, einem häufigem Bedarf an chemischen Reinigungen, einer verkürzten Lebenserwartung der Membrane und einer beeinträchtigter Wasserqualität führt.

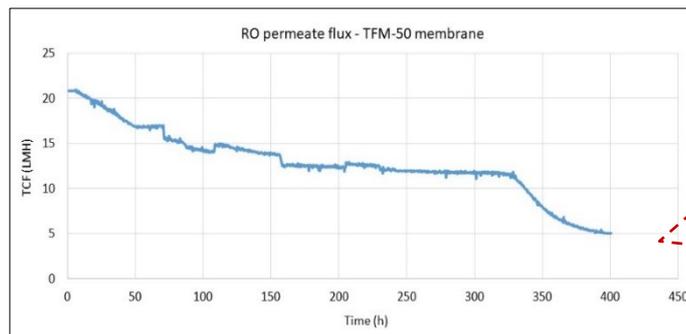


Abb. 34. Überwachung des UO-Permeatflusses über die Zeit während der kommunalen Abwasserbehandlung und der Membranoberfläche nach Auftreten von Biofouling.

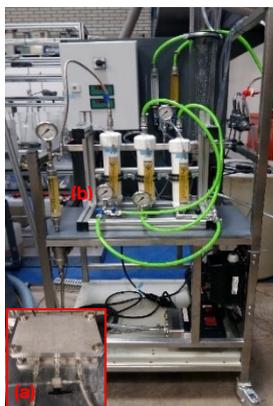


Abb. 35: Umsetzung des RO-Membransystems mit flexibler Konfiguration: (a) flaches Blech oder (b) spiralgewickeltes Modul.

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. 35) 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 eingesetzt.

FÖRDERUNG:  
DAAD-DEUT-  
SCHER AKADEMI-  
SCHER AUS-  
TAUSCHDIENST,  
DEUTSCHLAND

KOOPERATION:  
UFMG, BRASILIEN



PHILIPP MICHEL (M.Sc.)

089/28913797  
PHILIPP.MICHEL@TUM.DE

## Optimierung regulatoriver 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.

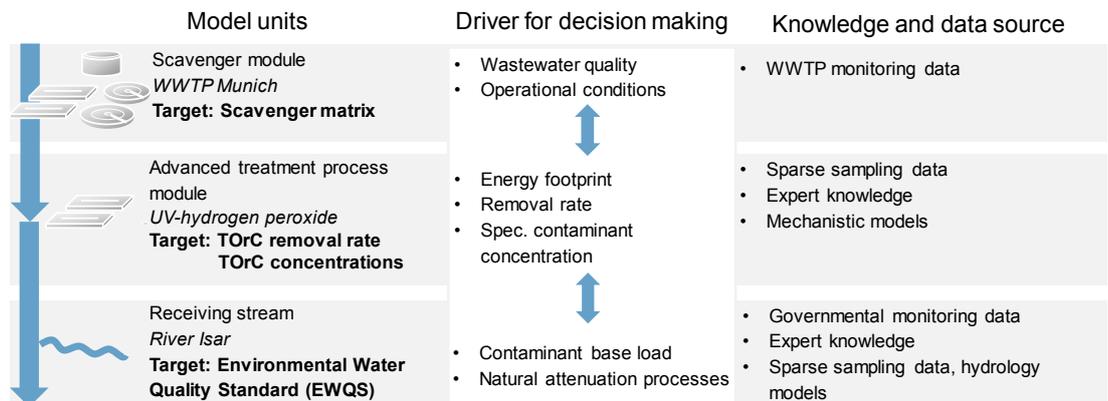


Abb. 36: Modellierungseinheiten zur Vorhersage unterschiedlicher Zielgrößen.

Wie in Abb. 36 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 2017 haben wir ein Programm entwickelt, um Daten vorzuerarbeiten und erweiterte multivariate Analysen durchzuführen. Hierbei wird die Eignung und Genauigkeit mehrerer Algorithmen für maschinelles Lernen (Klassifikation) evaluiert. Abbildung 37 zeigt einen Auszug der Modellierungsergebnisse für verschiedene maschinelle Lernalgorithmen zur Vorhersage einer Zielgröße (in diesem Fall des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC)). In Abb. 37 wird ersichtlich, dass unterschiedliche Lernalgorithmen ein weites Leistungsspektrum erfassen und eine differenzierte Analyse zielführend erscheint.

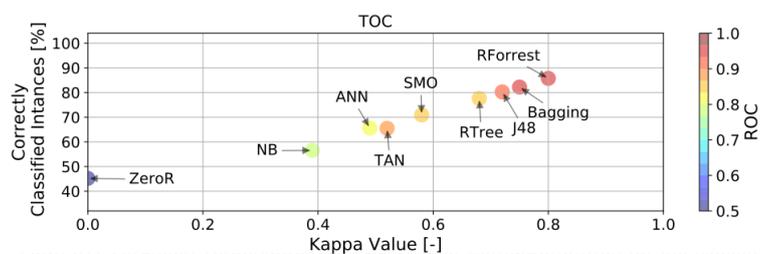


Abbildung 37: Differenzierte Vorhersage des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC). Verschiedene Algorithmen: ZeroR, Naive Bayes (NB), Baumverstärkte Naive Bayes (TAN), Künstliches Neuronales Netzwerk (ANN), Sequentielle Minimale Optimierung (SMO), Zufallsbaum (RTree), J48, Bagging (mit J48), Random Forest.

FÖRDERUNG:  
TUM-INSTITUTE  
OF ADVANCED  
STUDY;  
DAAD

KOOPERATION:  
UNIVERSITY OF  
NEW SOUTH  
WALES, AUSTRAL-  
IEN



DAVID MIKLOS  
(M.Sc.)

089/28913717  
D.MIKLOS@TUM.DE

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

Im Rahmen des TrinkWave BMBF-Verbundprojektes werden im innovativen Multi-Barrieren-Behandlungskonzept Licht emittierenden Dioden (LEDs) für die Wasserdesinfektion mit UV-Strahlung untersucht. UV-LED ist eine neue 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) (Abb. 38). Kombinationen verschiedener Peak-Wellenlängen-LEDs führten nicht zu synergistischen Effekten.

**FÖRDERUNG:**  
BUNDEMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**  
UMWELT BUNDES-  
AMT (UBA),  
HYTECON, TECH-  
NOLOGIE  
ZENTRUMWASSER  
(TZW)

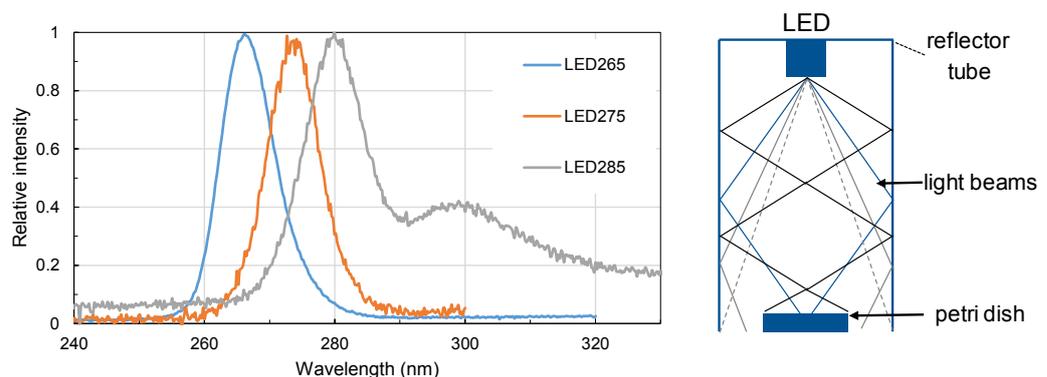


Abb. 38. Relative Emissionsspektren der angewandten LEDs (links) und schematische Darstellung des Strahlungsfelds im Collimator (PTFE-Rohr) (rechts),



DAVID MIKLOS  
(M.Sc.)

089/28913717  
D.MIKLOS@TUM.DE

## Nutzung alternativer Oxidationsverfahren für die Entfernung von organischen Spurenstoffen

In den letzten Jahren wird vermehrt der Eintrag von anthropogenen Spurenstoffen in den Wasserkreislauf diskutiert. Eine wesentliche Eintragsquelle sind kommunale Kläranlagen, die die Spurenstoffe in der Regel in konventionellen kommunalen Abwasserreinigungsverfahren nur unzureichend entfernen. Um mögliche zukünftige Qualitätsnormen einzuhalten, ist die Notwendigkeit einer weitergehenden Behandlung von Kläranlagenabläufen als vierte Reinigungsstufe nicht auszuschließen. In diesem Rahmen wurde an der TUM in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) und der Münchner Stadtentwässerung (MSE) die Oxidation mit UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> zur Entfernung von Spurenstoffen aus Kläranlagenabläufen als potentielle Alternative zur Oxidation mit Ozon für Kläranlagen in Bayern untersucht. Die Durchführung der Pilotversuche erfolgte an der Großkläranlage Gut Marienhof (München II; Münchner Stadtentwässerung) mit dem Ablauf des Sandfilters in einem Versuchscontainer (WEDECO) (Abb. 39).

Das Projekt wurde im März 2017 abgeschlossen und konnte aufzeigen, dass:

- die bestehende UV-Desinfektionsanlage an der Großkläranlage Gut Marienhof durch eine geänderte Betriebsführung, eine weitergehende Entfernung (ca. 70%) von photolytisch abbaubaren Stoffen erreichen könnte,
- mit technischen Veränderungen der bestehenden UV-Desinfektionsanlage (z.B. Nachrüstung leistungsfähigerer UV-Strahler) eine zusätzliche Entfernung photolytisch abbaubarer Substanzen (ca. 82%) möglich ist,
- aber auch, dass das UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Verfahren zur Oxidation photolytisch nicht abbaubarer Stoffe gegenüber Ozon weder ökonomisch noch betrieblich als sinnvolle Alternative zur weitergehenden Abwasserreinigung bewertet werden kann.



Abb. 39: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Pilotanlage im Klärwerk Gut Marienhof (München II).

*FÖRDERUNG:*  
BAYERISCHES  
STAATSMINISTERIUM  
FÜR UMWELT UND  
VERBRAUCHER-  
SCHUTZ

*KOOPERATION:*  
BAYERISCHES  
LANDESAMT FÜR  
UMWELT (LFU);  
MÜNCHNER STADT-  
ENTWÄSSERUNG  
(MSE)



JÜRGEN EDERER  
(B.Sc.)

## Entwicklung und Validierung eines energieeffizienten Ozoneintragsystems zur Reduzierung von anthropogenen Spurenstoffen in gereinigtem Abwasser

Die Ozonung ist ein vielversprechendes Verfahren zur Entfernung anthropogener Spurenstoffe aus dem Abwasser, zur Desinfektion von Trink- und Schwimmbadwasser und zur Behandlung von industriellen Wässern. Allerdings verursacht diese weitergehende Abwasserbehandlung durch den hohen Energieverbrauch für Ozonerzeugung und Gaseintrag ins Abwasser entsprechende Kosten. Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojekts wurde ein von der Firma Cavtec Systems neu entwickeltes Gaseintragsystem getestet, in dem ein effektiver Ozoneintrag durch gezielte Erzeugung von hydrodynamischer Kavitation erzielt werden sollte (Abb. 40). Dazu wurde gemeinsam mit den Partnern Sewec Ozon GmbH und Cavtec Systems eine Pilotozonanlage entwickelt und gebaut, in der das neue System im Vergleich zum etablierten Gaseintrag mit Venturi-Injektor untersucht werden konnte.

Der Gaseintrag wurde sowohl über das Blasenbild qualitativ als auch quantitativ über den Stoffübergangskoeffizienten bestimmt. Die Bestimmung des Stoffübergangskoeffizienten zeigte bei zwei ausgewählten Betriebspunkten keine Verbesserung des Gaseintrags (Sauerstoff) durch das neue Eintragsystem mittels Kavitation. Auch eine Erweiterung des Betriebsdrucks auf 3,0 bar führte zu keiner optischen Verbesserung des Blasenbildes. Aufgrund der Ergebnisse wird vermutet, dass höhere Drücke beziehungsweise Fließgeschwindigkeiten des Wassers im Eintragsystem notwendig sind, um effektiv eine Kavitation zu erzeugen. Da eine Erhöhung des Drucks über den Betriebsdruck des Ozongenerators von 0,5-1,0 bar im bestehenden System nicht möglich ist, sollen zunächst Untersuchungen zu optimalen Betriebsbedingungen an einer vereinfachten Anlage durchgeführt werden. Parallel arbeitet die Firma Cavtec Systems an einer Entwicklung von Kavitationsgeneratoren, die ähnlich zur Venturi-Injektion einen Unterdruck erzeugen und das Ozon/Sauerstoff-Gasgemisch ansaugen.

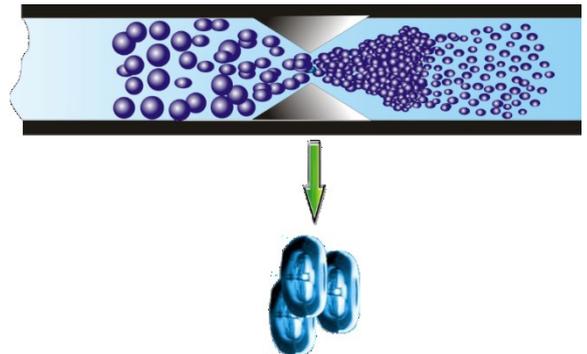


Abb.40: Schematische Darstellung der hydrodynamisch erzeugten Kavitation.

FÖRDERUNG:  
DEUTSCHE BUN-  
DESSTIFTUNG UM-  
WELT (DBU)

KOOPERATION:  
SEWEC OZON  
GMBH;  
CAVTEC SYSTEMS



MAXIMILIAN HUBER  
(DR.-ING.)

089/28913720  
MAXIMILIAN.HUBER  
@TUM.DE



MERIAM MUNTAU  
(M.SC.)

089/28913716  
MERIAM.MUNTAU  
@TUM.DE



BRIGITTE  
HELMREICH  
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913719  
B.HELMREICH  
@TUM.DE

FINANZIERUNG:  
BAYERISCHES LAN-  
DESAMT FÜR UM-  
WELT

## Analyse einer weitestgehenden Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen

Im Zuge der neuen Oberflächengewässerverordnung wurde ein Orientierungswert für Gesamtphosphor eingeführt. Zu hohe Konzentrationen an Phosphor in Oberflächengewässern können eine Eutrophierung bedingen und den aquatischen Lebensraum schädigen. Daher hat die Phosphorelimination in kommunalen Kläranlagen, seit Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Das technische Regelwerk weist an die Phosphorelimination mit Überwachungswerten unter 0,5 mg/l bisher Lücken auf.

Ziel eines vom Bayerischen Landesamt für Umwelt finanzierten Forschungsvorhabens (AZ: 67-0270-34797/2016) war die Durchführung einer Bestandsaufnahme bereits bestehender technischer Maßnahmen und Umsetzungen zur weitestgehenden Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen sowie eine Zusammenstellung und Analyse der Handlungsmöglichkeiten.

Zur Erreichung der Orientierungswerte für den „guten ökologischen Zustand“ für Fließgewässer von 0,1 mg  $P_{ges}$ /L können kommunale Kläranlagen durch eine weitere Reduktion der Phosphoremissionen einen relevanten Beitrag leisten. Die Auswertung des Ist-Zustandes aller bayerischen Kläranlagen ergab ein hohes Reduktionspotential der Gesamtphosphoremissionen bei Anlagen > 1.000 EW. Die detaillierte Bilanzierung von zehn Kläranlagen in Deutschland bestätigte, dass für die weitestgehende Elimination die bestehenden Verfahren (chemische Phosphatfällung, ggf. mit Filtration oder in Kombination mit biologischer Phosphorelimination) geeignet sind. Für Belebungsanlagen der Größenklasse 2 sind durch eine Simultanfällung mittlere Ablaufkonzentrationen  $\leq 0,8$  mg  $P_{ges}$ /L betriebsstabil möglich. Bei den größeren Kläranlagen sind mittlere Ablaufkonzentration von 0,5 mg  $P_{ges}$ /L grundsätzlich erreichbar, sofern die Nachklärung gemäß den aktuellen anerkannten Regeln der Technik bemessen ist und betrieben wird. Die spezifischen Investitions- und Betriebskosten für die Implementierung einer Simultanfällung liegen bei ca. 2-5 €/ (EW·a) für Anlagen der Größenklasse 2.

Das Forschungsvorhaben lief im Zeitraum Juli 2016 bis Juli 2017 und wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Dr.-Ing. Steinle Ingenieurgesellschaft für Abwassertechnik mbH, Weyern, bearbeitet.



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. 41: 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.

FINANZIERUNG:  
BAYERISCHES  
STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT  
UND VERBRAUCHERSCHUTZ



Abb. 42: Nexus Workshop in Delhi, Oktober 2017.

## 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 Herrn Nils Horstmeyer 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. Auf der 11. IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse in Long Beach, CA, USA wurde zudem Stevo Lavrnić als Mitglied des Managementkomitees der WRSG gewählt.



Abb. 43: TUM DoktorandInnen bei der 2017 IWA Int. Conference on Water Reuse in Long Beach, CA, USA.

Interessierte wenden sich bitte an Nils Horstmeyer: [nils.horstmeyer@tum.de](mailto:nils.horstmeyer@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 durch Professor Jörg Drewes und Dr.-Ing. 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 in 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 wird dafür die Entstehung und Ausbreitung von Kavitationsfeldern in hochviskosen Medien experimentell untersucht und mit dem Verhalten von Kavitationsfeldern in Wasser verglichen. Dies soll mit einem neuartigen akustischen Messverfahren zur Bestimmung der Kavitationsrauschzahl durchgeführt werden.

Basierend auf den Ergebnissen der Laborexperimente wird ein neues Reaktorkonzept entwickelt, das eine effiziente Vorbehandlung großer Schlammengen ermöglicht. Der neue Reaktor wird im Teststand auf seine Effizienz getestet und mit konventionellen Ultraschallsystemen hinsichtlich der Kavitationsintensität im Klärschlamm und der Erhöhung der Methanausbeute verglichen. Das System wird anschließend in einer Kläranlage installiert und 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  
(M.Sc.)

VASILIS.DANDIKAS  
@LFL.BAYERN.DE

**Vasilis Dandikas** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising. Im Rahmen seiner Doktorarbeit beschäftigt er sich mit der Frage, inwieweit Biogasertrag und -bildungsrate beliebiger landwirtschaftlicher Substrate mittels eines mathematischen Modells schnell und kosteneffektiv abgeschätzt und damit vorhergesagt werden können. Dazu werden die Substrate mittels Futtermittelanalytik (Weender Analyse mit van-Soest-Fraktion) untersucht und parallel dazu Batch-Gärversuche (in Anlehnung an die VDI 4630) durchgeführt. Mittels einer Hauptkomponentenanalyse werden Korrelationen zwischen Biogasertrag bzw. -bildungsrate und der chemischen Zusammensetzung der pflanzlichen Substrate identifiziert.

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 dagegen als Regressoren für die Vorhersage der Biogasbildungsrate dienen.

Da die zeitliche Änderung der Gasproduktion während eines Batch-Gärversuchs proportional zur Gasproduktion ist, kann diese in erster Näherung durch eine Kinetik erster Ordnung beschrieben werden. Somit kann die Biogasbildungsrate und die -ausbeute bei bekannter chemischer Zusammensetzung eines Substrates mit Hilfe der ermittelten Modelle schnell und zuverlässig vorhergesagt werden.



SEBASTIAN HIEN  
(DR.-ING.)

SEBASTIAN.HIEN@UNI.LU

**Sebastian Hien** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Wasserbau der Universität Luxembourg. Im Rahmen seiner Doktorarbeit bei Professor Joachim Hansen wird er durch Dr.-Ing. Konrad Koch der Arbeitsgruppe Anaerobtechnik und Energierückgewinnung der TU München mitbetreut. Im Juni dieses Jahres hat er seine Doktorarbeit mit dem Titel „Approaches for supportive prediction of biogas production rate and control strategies to provide flexible power production“ erfolgreich abgeschlossen.

In Rahmen seiner Arbeit untersuchte er verschiedene Möglichkeiten zur Vorhersage der Biogas- bzw. Methanproduktion auf Biogasanlagen und Kläranlagen mit Faulung als unterstützendes Werkzeug zur Einbindung dieser in das Konzept von virtuellen Kraftwerken. Er konnte verschiedene Messgrößen identifizieren, die einen überdurchschnittlichen Einfluss auf die Prognose der Biogasproduktion haben. Zu diesem Zweck wurden Daten von verschiedenen Kläranlagen aufgenommen und zur Modellierung im Rahmen dynamischer Simulationen genutzt. Diese Simulationsergebnisse wurden analysiert und mit Hilfe der identifizierten Messgrößen (hierzu zählen insbesondere die Biogasproduktion des Vortages sowie die organische Raumbelastung) und maschineller Lernansätze wie beispielsweise „Random Forest“ und „künstlicher neuronaler Netzwerke“ wurde das sog. BioTOOL zur kurzfristigen Vorhersage des zu erwartenden Biogasertrages entwickelt. Aufbauend auf den Vorhersagen von BioTOOL wurde eine Methodik zur bedarfsgerechten Erzeugung von Biogas entwickelt.



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 Entfernungsrates 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 Antibiotikaresistenz

genen verglichen. Anhand der Betriebsdaten der Membranfiltration der Versuchsanlagen sollen Bemessungsgrößen für eine Membranfilteranlage im Großmaßstab erstellt werden.



KATIE MACINTOSH  
(M.Sc.)

C.MACINTOSH  
@UQ.EDU.AU

**Katie Macintosh** ist eine Gastdotorandin des Advanced Water Management Center (AWMC) der Universität Queensland (UQ), Australien. Im Rahmen des UQ-TUM Student Exchange Programmes forscht sie zum Thema Co-Fermentation auf Kläranlagen in der Arbeitsgruppe Anaerobtechnik und Energierückgewinnung von Dr.-Ing. Konrad Koch. Die Anaerobe Co-Fermentation, also die gleichzeitige Vergärung von zwei oder mehr verschiedenen organischen Reststoffen, kann die erneuerbare Energieproduktion aus bestehenden Kläranlagen deutlich erhöhen. Es gibt jedoch auch Risiken und Kosten bei der Co-Fermentation. Eine erhöhte organische Raumbelastung oder ungünstig gewählte Mischungen können die mikrobiellen Gemeinschaften belasten, was zur Überlastung, Prozessinstabilität oder sogar zum Versagen des Gesamtprozesses führen kann. Auch sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Co-Fermentation auch Auswirkungen auf nachgelagerte Prozesse (z.B. Prozesswasserbehandlung) hat und damit auch Kosten verbunden sind, wozu es bisher kaum belastbare Daten gibt.

Die Dissertation befasst sich mit den Auswirkungen der Co-Fermentation auf die Leistungsfähigkeit der Gesamtanlage. In Laborversuchen wurden die Auswirkungen unterschiedlichster Mischungen untersucht und die daraus resultierenden kinetischen Parameter abgeleitet. Der Austausch an die TUM bietet nun die Möglichkeit, Laborexperimente mit Daten existierender Kläranlagen zu vergleichen, um die Auswirkungen auf den gesamten Anlagenbetrieb zu quantifizieren; denn Co-Fermentation spielt in Australien im Gegensatz zu Deutschland aktuell noch keine Rolle.

Die Verbundforschung an der TUM nutzt Betriebsdaten von großtechnischen Anlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen der Co-Fermentation von Lebensmittelabfällen auf den Biogasertrag und die damit verbundenen Behandlungskosten einschließlich der Änderung von Quantität und Qualität von Klärschlamm und Zentrat. Beispielhaft wurde dafür ein Verwertungsfachbetrieb für Lebensmittelabfälle in Oberding ausgewählt, der ein Produkt namens ProFermo hergestellt. ProFermo wird als Co-Substrat auf mehreren Kläranlagen in der Region eingesetzt. Im Rahmen der Studie werden die Betriebsdaten mehrerer Anlagen vor und nach der Co-Substratzugabe verglichen, um den Einfluss der Co-Fermentation auf den Gesamtbetrieb der Anlage zu quantifizieren. Die zu untersuchenden Parameter umfassen u.a. die Biogasausbeute, den Prozentsatz der selbst erzeugten Energie sowie die Verteilung der Nährstoffe (N, P) zwischen Zentrat und Klärschlamm. Die Ergebnisse dieser Studie zielen darauf ab, Anlagenbetreibern eine ganzheitlichere Sicht bezüglich Vor- und Nachteile, sowie Kosten und Risiken der anaeroben Co-Fermentation zu ermöglichen.

## Gastwissenschaftler



MIKE MANEFIELD  
(ASSOC. PROF.)

MANEFIELD@  
UNSW.EDU.AU

**Associate Professor Mike Manefield,  
University of New South Wales, Sydney, Australien**

**Prof. Dr. Mike Manefield** war im Jahre 2015 als August-Wilhelm-Scheer Gastprofessor am Lehrstuhl und setzte unsere Kooperation im Bereich der Beschreibung mikrobiologischer Strukturen und Funktionen in modifizierten Biofiltrationssystemen während mehrerer Kurzzeitbesuche in München fort. Mike Manefield ist Associate Professor in der School of Biotechnology and Biomolecular Sciences der University of New South Wales.



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 erhält 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.



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

**Prof. Dr. Jennifer Becker** unterstützte von August 2016 bis June 2017 als TUM Gastprofessorin die laufenden Forschungsarbeiten zur biologischen Spurenstoffentfernung am Lehrstuhl. Prof. Dr. Becker ist Associate Professor of Civil and Environmental Engineering an der Michigan Tech University, USA.

JENNIFER BECKER  
(ASSOC. PROF.)  
JGBECKER@  
MTU.EDU



**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 widmet er sich dem Aufbau eines Mentorenprogrammes für Wissenschaftlerinnen an der TUM und MTU (PhD Candidates, Post-docs), 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



**Wenlong Wang, M.Sc.  
Tsinghua University, China**

**Wenlong Wang** besuchte den Lehrstuhl von Oktober 2016 bis September 2017 als Visiting Researcher. Wenlong ist PhD Candidate an der School of Environment, Tsinghua University, China, wo er von Prof. Dr. Hong-Ying Hu betreut wird. Wenlong promoviert zum Thema "Einsatz von UV-LED für die Desinfektion und Oxidation von organischen Spurenstoffen". Er arbeitet eng mit den MitarbeiterInnen in der Arbeitsgruppe "Weitergehende Abwasserbehandlung und Wasser Recycling" am Lehrstuhl zusammen.

WENLONG WANG  
(M.Sc.)  
GA48TAQ@TUM.DE



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

**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

## Internationale Kooperationspartner

Letztes Jahr konnten wir unsere internationalen Kooperationen weiter ausbauen und durch Besuche vor Ort vertiefen (Abb. 44).

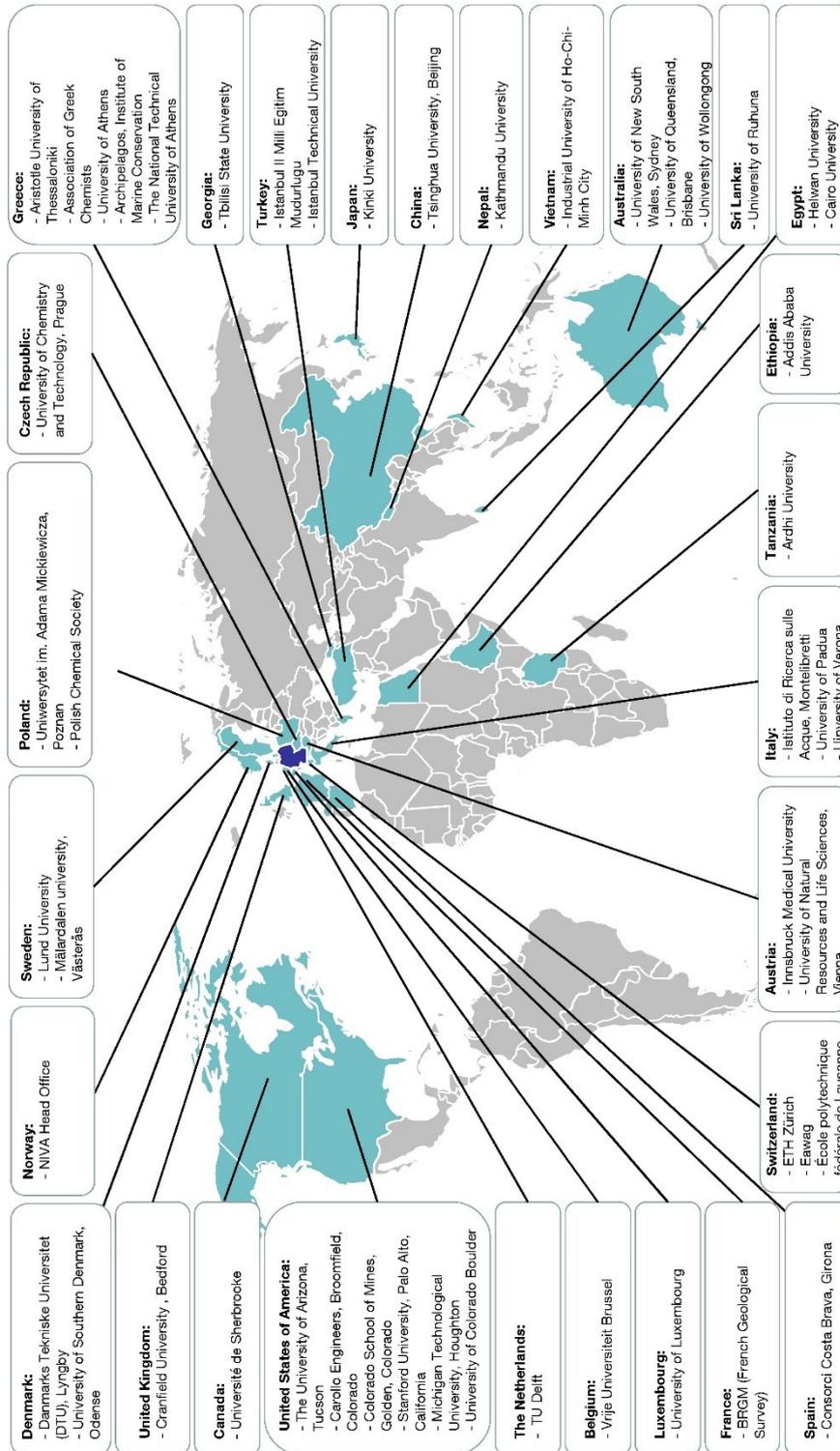


Abb. 44: Weltkarte mit internationalen Partnern des Lehrstuhls.



## 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 3.400 Mitgliedern die größte Fachgruppe innerhalb der IWA mit Fachleuten im Bereich Wasserwiederverwendung aus über 110 Ländern.

Vom 24.-27. Juli 2017 fand die 11. IWA Internationale Konferenz für Wasserwiederverwendung in Long Beach, Kalifornien, statt. Mit mehr als 650 Teilnehmer, einem spannenden technischen Programm, Besuchen von diversen weitergehenden Aufbereitungsanlagen bei Betreibern und Vorträgen internationaler Größen im Bereich der Wasserwiederverwendung war diese Konferenz ein Riesenerfolg (Abb. 43). Der Lehrstuhl war mit einer größeren Delegation vertreten (Abb. 44).



Abb. 45: Keynote Speakers der Eröffnungsveranstaltung der 11. IWA International Conference on Water Reuse in Long Beach, CA, USA.



Abb. 45: KonferenzteilnehmerInnen des Lehrstuhls bei einem Ausflug auf die Queen Mary I.

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

### 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“.

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

**Jörg E. Drewes** ist seit 2015 Editor der neuen 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://jwrд.iwaponline.com>

### Zeitschrift Water Solutions – Editor

**Jörg E. Drewes** ist seit 2016 Editor der neuen 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 finden Sie unter: <https://www.gwf-wasser.de/en/>

## Nachwuchsförderung / Workshops / Sonstige Aktivitäten

### Betriebsausflug im Sommer 2017



Abb. 47: Betriebsausflug nach Wolf-ratshausen.

Beim diesjährigen Betriebsausflug am 29. Mai 2017 wurden ausgehend vom Isar-Eingang des Tierparks Hellabrunn in München, mit einer Pause in der Gaststätte Brückenwirt, rund 30 km und 260 Höhenmeter mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt. Die Anstrengungen wurden mit einem gemeinsamen Essen im Wirtshaus Flößerei in Wolf-ratshausen belohnt.

### 45. Abwassertechnisches Seminar (ATS)

Am 28. Juni 2017, fand das 45. Abwassertechnische Seminar, mit dem Thema ‚Weitestgehende Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen – Möglichkeiten und Grenzen‘ im Oskar von Miller Forum statt. In dem Seminar wurden die Relevanz und rechtlichen Grundlagen einer weitestgehenden Phosphorelimination gegenübergestellt. In diesem Rahmen wurde eine Bestandsaufnahme bestehender technischer Möglichkeiten zur weitestgehenden Phosphorelimination sowie eine kritische Analyse der Handlungsmöglichkeiten vorgestellt. Dabei wurden sowohl chemische als auch biologische Verfahren und Verfahrenskombinationen wie auch mechanisch-physikalischer Abtrennverfahren ausgefallter Produkte berücksichtigt. Anhand von Beispielen kommunaler Kläranlagen wurde Ergebnisse und Betriebserfahrungen verschiedener Verfahren diskutiert.

### Forschungssymposium mit UCT Prag

Gefördert von der Bayerisch-Tschechische Hochschulagentur veranstaltete der Lehrstuhl am 12. Juli 2017 ein gemeinsames Forschungssymposium mit Professor Jiri Wanner und KollegInnen von der Chemisch-Technischen Universität Prag.



Abb. 48: DoktorandInnen und KollegInnen der TUM und UCT Prag – Juli 2017.

### Scienclisten

Im Jahr 2017 wurden auf dem Arbeitsweg insgesamt über 35.000 km durch die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft zusammen geradelt. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von rd. 5,2 Tonnen im Vergleich zum Auto bzw. 13,7 Tonnen im Vergleich zum Flugzeug (economy).



### Assistententreffen 2017 in Kaiserslautern

Doktoranden aus deutschsprachigen Wasserforschungsinstituten kommen einmal im Jahr zusammen, um Forschungsergebnisse vorzustellen, Ideen auszutauschen und Netzwerke zu knüpfen. Der 38. "Assistententreffen" fand vom 20. bis 23. September 2017 in Kaiserslautern statt.



Abb. 49: Lara Stadlmair, Carmen Leix, Johann Müller, Thomas Lippert und Florian Ebertseder am Assitrefen.

### Aufenthalt an der Universität Neusüdwaales in Sydney, Australien

Von September bis November hatte Karin Hellauer die Möglichkeit, Prof. Mike Manefield und seine Arbeitsgruppe an der UNSW in Sydney, Australien zu besuchen. Ziel dieses Aufenthalts war die Identifizierung von genomischen Markern in mikrobiellen Gemeinschaften mit unterschiedlichen Ernährungsstrategien in natürlichen Aufbereitungsverfahren. Dafür wurde ich in die Nutzung diverser bioinformatischer Tools eingearbeitet. Karin hatte die Möglichkeit, die Arbeit bei JAMS (Joint Academic Microbiology Seminars) vorzustellen und dabei Wissenschaftlicher aus diesem Forschungsbereich kennenzulernen.



Abb. 50: Mike Manefield, Karin Hellauer, Sabrina Beckmann in Australien.

Vielen Dank an den DAAD für die finanzielle Förderung im Rahmen des Kurzzeitstipendiums für Doktoranden. Ein herzliches Dankeschön an Mike und seinen Kollegen, insbesondere Sophie Holland, Sabrina Beckmann und Federico Lauro, für deren Unterstützung und dafür, dass sie Karins Aufenthalt in Sydney zu etwas ganz Besonderem gemacht haben. Es war eine tolle Erfahrung mit Mike's Kollegen zu arbeiten und für mehrere Wochen in Australien zu sein.



Abb. 51: Karin Hellauer, Sophie Holland in Australien.

## Veröffentlichte Bücher



**Brigitte Helmreich** und **Jörg Drewes** haben im Jahr 2017 jeweils einen Buchbeitrag verfasst. Die Beiträge ‚*Post-treatment for micro-pollutants*‘ von Brigitte Helmreich und ‚*Producing high-quality recycled water*‘ von Jörg Drewes wurden in ‚*Innovative Wastewater Treatment and Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment*‘ veröffentlicht.



WWW.WASSER.  
TUM.DE

## Der TUM Wasser Cluster

Der TUM Wasser Cluster ist das fakultätsübergreifende Schwerpunktprogramm zur Wasserforschung an der TUM. Seine Ziele sind die Koordination von Forschung und Lehre mit Bezug zum Thema Wasser, ein abgestimmter Informationsaustausch zu wasserbezogenen Themen sowie die Darstellung der Forschung nach außen.

### Forschungsprojekte

Im Jahr 2017 starteten zwei große Forschungsverbundprojekte zum Thema Mikro- und Submikroplastik an der Technischen Universität München (TUM) unter Leitung der Lehrstühle für Aquatische Systembiologie und Siedlungswasserwirtschaft.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsvorhaben „**Innovative Analysemethoden für Submikroplastik**“ (**Sub- $\mu$ Track**) hat zum Ziel innovative Analyse- und Bewertungsmethoden zu erarbeiten, die es erlauben, Plastikpartikel in unterschiedlichen Proben und Prozessen zu analysieren und deren Toxizität zu beurteilen, sowie als gesellschaftliches Problem aufzugreifen. Das Projekt grenzt sich von weiteren Forschungsvorhaben zu diesem Themenbereich durch die Betrachtung der Partikelgrößenklassen  $<1\mu\text{m}$  ab. Diese besitzen aufgrund ihrer möglichen Zellgängigkeit und ihrer im Vergleich größeren spezifischen Oberfläche potentiell höhere (öko)toxikologische Relevanz. Neben dem koordinierenden Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft (Prof. J. Drewes, PD Dr. J. Graßmann) ist das TUM Wasser Cluster mit dem Lehrstuhl für Analytische Chemie und Wasserchemie (Prof. M. Elsner, Dr. N. P. Ivleva) und dem Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie (Prof. J. Geist, Dr. S. Beggel) vertreten. Des Weiteren sind der Lehrstuhl für Tierphysiologie und Immunologie (Prof. M. Pfaffl) und die Professur für Wissenschafts- und Technologiepolitik (Prof. R. Müller) der TUM sowie sechs weitere Kooperationspartner aus Industrie und Behörden an dem Projekt beteiligt.

Ziel des interdisziplinären Forschungsverbundes "**Mikropartikel in der aquatischen Umwelt und in Lebensmitteln – sind biologisch abbaubare Polymere eine denkbare Lösung für das, Mikroplastik-Problem?**" (**MiPAq**), ist die Charakterisierung von Partikeln aus nicht abbaubaren erdölbasierten Kunststoffmaterialien im Gegensatz zu biologisch abbaubaren Materialien und im Vergleich mit natürlichen Sedimentpartikeln. Besonders die Betrachtung von Biopolymeren als denkbarer Ersatz für herkömmliche Kunststoffe ist dabei hervorzuheben.

Darüber hinaus zeichnet sich dieses Projekt durch eine ganzheitliche Betrachtung der Thematik (von der Umwelt bis zum Lebensmittel) aus.

Das Projekt wird geleitet von Prof. Jürgen Geist (Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie) und Prof. Jörg Drewes (Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft) als Co-Sprecher. Neben weiteren Mitgliedern des TUM Wasser Clusters (Prof. M. Elsner, Dr. N. P. Ivleva, IWC) sind die Lehrstühle für Lebensmittelverpackungstechnik (Prof. H.-C. Langowski) und der Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik (AG Wassertechnologie, Dr. K. Glas) sowie über 10 Industriepartner beteiligt. Gefördert wird das Vorhaben von der Bayerischen Forschungsförderung.

## Ringvorlesung

Auch im Jahre 2017 wurde die Ringvorlesung des TUM Wasser Clusters mit Vorträgen von Dr. Ulrike Pokorski da Cunha (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)) und von Prof. Torsten Schmidt (Universität Duisburg-Essen) erfolgreich fortgeführt.



### Lecture Series TUM Water Cluster

*WASH in Slums: Access to Water, Sanitation and Hygiene – Challenges and Solutions in Periurban Informal Settlements*



**Dr. Ulrike Pokorski da Cunha**  
February 01, 2017, 16:00

TUM Institute for Advanced Study  
Lichtenbergstraße 2 a  
85748 Garching

Since March 2012, Dr. Ulrike Pokorski da Cunha is Head of International Water Policy and Infrastructure at GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). The division addresses questions such as: What does human right to water and sanitation mean in practice? The lecture will first give an overview about the initial and global political situation. Moreover challenges and approaches regarding the topic will be addressed.

Registration is required until January 25 via [water@tum.de](mailto:water@tum.de).

Technische Universität München  
TUM Water Cluster  
Chair of Urban Water Systems Engineering  
Am Glockenberg 3  
85748 Garching  
www.water.tum.de

### Lecture Series TUM Water Cluster

*What shall we measure tomorrow? Needs and trends in future water analysis*



**Prof. Torsten C. Schmidt**  
University of Duisburg-Essen  
June 07, 2017, 16:00 h

TUM Institute for Advanced Study  
Lichtenbergstraße 2 a  
85748 Garching

Water analysis nowadays has achieved a remarkably mature status that safeguards quality of water for anthropogenic purposes and ecosystem health. However, there is still a broad range of challenges that should be addressed in the further development of analytical methods. These will be in the focus of the presentation and include widening of the scope of the analytical window and taking into account the evaluation of chemical stressor effects.

Registration is requested by May 31 via [water@tum.de](mailto:water@tum.de).

Technische Universität München  
TUM Water Cluster  
Chair of Urban Water Systems Engineering  
Am Glockenberg 3  
85748 Garching  
www.water.tum.de

## **Beteiligung an der Ausstellung „Ingenieure im Bauwesen: Erfinder, Unternehmer, Gestalter & Problemlöser“ im Oskar von Miller Forum**

Der TUM Wasser Cluster unterstützte die vom 09. November 2017 bis zum 07. Januar 2018 im Oskar von Miller Forum stattfindende Ausstellung zum Thema „Ingenieure im Bauwesen: Erfinder, Unternehmer, Gestalter & Problemlöser“ mit einem Beitrag zur Rolle von Ingenieuren in der Wasserwirtschaft. Ziel der Ausstellung war es den Beruf des Bauingenieurs in seiner gesamten Komplexität vorzustellen und die kulturelle und technologische Relevanz des Bauingenieurwesens zu vermitteln. Insbesondere sollte gezeigt werden, unter welchen Randbedingungen Ingenieure tätig waren und sind, und wie ihr Wirken im gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Kontext zu werten ist. In diesem Zusammenhang präsentierte der TUM Wasser Cluster die sich stetig, mit der Bedeutung von Wasser in Siedlungsgebieten, wandelnden Aufgaben für Ingenieure und die damit verbundenen vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen einer adäquaten Wasserversorgung und Abwasserentsorgung im städtischen Raum.

Als Wanderausstellung konzipiert, wird die Ausstellung im Frühjahr 2018 vom M:AI, Museum für Architektur und Ingenieurkunst, in Nordrhein-Westfalen präsentiert. Begleitend erscheint eine Publikation in deutscher Sprache.

## Publikationen

### Bücher und Buchbeiträge

- Drewes, J.E.: Wasserwandel in Städten und der Zukunft. In: Lang, W.; Hellstern, C.; (Hrsg.): Visionäre und Alltagshelden. Ingenieure - Bauen - Zukunft.. DETAIL Business Information, 2017
- Drewes, J.E., Horstmeyer, N., Michel, P., Khan, S.: Producing high-quality recycled water – Producing high-quality recycled water. In: Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment. IWA-Publishing, 2017, 285-295
- Helmreich, B., Metzger, S.: Post-treatment for micropollutants removal – Post-treatment for micropollutants removal. In: Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment. IWA-Publishing, 2017, 214-229
- Huber, M., Muntau, M.: Technische Möglichkeiten zur weitestgehenden Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen. In: 45. Abwassertechnisches Seminar: Weitestgehende Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen – Möglichkeiten und Grenzen. Technische Universität München, 2017, 55-69
- Huber, M., Welker, A., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Auftausalze im Straßenwinterdienst – Aufkommen und Bedeutung für dezentrale Behandlungsanlagen von Verkehrsflächenabflüssen zur Versickerung. In: Runge, H. (Hrsg.): Herausforderung Regenwasser. DIV Vulkan Verlag (1. Aufl.), 2017, 84-99
- Huber, M.; Welker, A.; Hilbig, H.; Wulff, M.; Helmreich, B.: Vergleich zweier Filtermaterialien zur Entfernung von Phosphat und Schwermetallen aus Verkehrsflächenabflüssen. In: Runge, H. (Hrsg.): Herausforderung Regenwasser. DIV Vulkan Verlag, 2017, 71-83
- Khan SJ, Walker T, Stanford BD and Drewes JE: Advanced Treatment for Potable Water Reuse – Advanced Treatment for Potable Water Reuse. In: Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: Fundamentals and Applications. IWA Publishing, 2017

### Wissenschaftliche Zeitschriften (Peer-reviewed)

- Bieber, S.; Letzel, T.: RPLC-HILIC und SFC - Polaritätserweiterte und orthogonale Trenntechniken für den Nachweis von organischen Spurenstoffen. Wasserforum-Sonderpublikation, 2017
- Ansari, A., Hai, F., Drewes, J.E., Price, W., Nghiem, L. (2017). Forward osmosis as a platform for resource recovery from municipal wastewater. *Journal Membrane Science* **529**, 195-206.
- Drewes, J.E.: Die Spurenstoffstrategie des Bundes – Einschätzung eines Beobachters. *GWF Wasser Abwasser* **158** (9), 2017, 30-34
- Hellauer, Karin; Mergel, Dorothea; Ruhl, Aki S.; Filter, Josefine; Hübner, Uwe; Jekel, Martin; Drewes, Jörg E.: Advancing Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART) Using Different Intermediate Oxidation Processes. *Water* **9** (3), 2017
- Herzog, Bastian; Dötsch, Andreas; Lemmer, Hilde; Horn, Harald; Müller, Elisabeth: Profiling 5-tolyltriazole biodegrading sludge communities using next-generation sequencing and denaturing gradient gel electrophoresis. *Systematic and Applied Microbiology* **40** (8), 2017, 508-515
- Huber, Bettina; Hilbig, Harald; Drewes, Jörg E.; Müller, Elisabeth: Evaluation of concrete corrosion after short- and long-term exposure to chemically and microbially generated sulfuric acid. *Cement and Concrete Research* **94**, 2017, 36 - 48
- Huber, M.: Bewertungsverfahren für dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung von Verkehrsflächenabflüssen. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* **64** (9), 2017
- Huber, M.: Bewertungsverfahren für dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung von Verkehrsflächenabflüssen. *Vom Wasser* **115** (2), 2017, 70-71
- Huber, M., Welker, A., Hilbig, H., Wulff, M., Helmreich, B.: Vergleich zweier Filtermaterialien zur Entfernung von Phosphat und Schwermetallen aus Verkehrsflächenabflüssen. *Wasser/Abwasser* (158 (3)), 2017, 74-87
- Huber, M.; Welker, A.; Drewes, J.E.; Helmreich, B.: Aktuelle Anforderungen an dezentrale Anlagen zur Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen. *Straße und Autobahn* **68**, 2017, 372–380
- Koch, K.; Helmreich, B.; Drewes, J.: Bedarfsgerechte Energiebereitstellung durch Kläranlagen als Baustein der Energiewende – 44. Abwassertechnisches Seminar der TU München. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* **62** (2), 2017
- Koch, K.; Post, M.; Auer, M.; Lebuhn, M.: Einsatzstoffspezifische Besonderheiten in der Prozessführung. *Biogas Forum Bayern III* **18**, 2017
- Koch, Konrad; Lippert, Thomas; Drewes, Jörg E.: The role of inoculum's origin on the methane yield of different substrates in biochemical methane potential (BMP) tests. *Bioresource Technology* **243**, 2017, 457 - 463

- Koch, Konrad; Lippert, Thomas; Sabadini, Natalia Hauck; Drewes, Jörg E.: Tube reactors as a novel ultrasonication system for trouble-free treatment of sludges. *Ultrasonics Sonochemistry* **37**, 2017, 464 - 470
- Leix, Carmen; Drewes, Jörg E.; Ye, Liu; Koch, Konrad: Strategies for enhanced deammonification performance and reduced nitrous oxide emissions. *Bioresource Technology* **236**, 2017, 174 - 185
- Letzel, T.; Drewes, J.: Neue Bücher. *TUM Campus* (3), 2017
- Muntau, Meriam; Schulz, Manoj; Jewell, Kevin S.; Hermes, Nina; Hübner, Uwe; Ternes, Thomas; Drewes, Jörg E.: Evaluation of the short-term fate and transport of chemicals of emerging concern during soil-aquifer treatment using select transformation products as intrinsic redox-sensitive tracers. *Science of The Total Environment* **583**, 2017, 10 - 18
- Müller, J.; Drewes, J.E.; Hübner, U.: Sequentielle Biofiltration zur Entfernung anthropogener Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen. *Mitt. Umweltchem Ökotox* **23** (3), 2017, 77-79
- Nghiem, Long D.; Koch, Konrad; Bolzonella, David; Drewes, Jörg E.: Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **72**, 2017, 354 - 362
- Oladoja, N. A.; Seifert, M. L.; Drewes, J. E.; Helmreich, B.: Influence of organic load on the defluoridation efficiency of nano-magnesium oxide in groundwater. *Separation and Purification Technology* **174**, 2017, 116 - 125
- Regnery, Julia; Lee, Jonghyun; Drumheller, Zachary W.; Drewes, Jörg E.; Illangasekare, Tissa H.; Kitanidis, Peter K.; McCray, John E.; Smits, Kathleen M.: Trace organic chemical attenuation during managed aquifer recharge: Insights from a variably saturated 2D tank experiment. *Journal of Hydrology* **548**, 2017, 641 - 651
- Stadlmair, Lara F.; Letzel, Thomas; Drewes, Jörg E.; Graßmann, Johanna: Mass spectrometry based in vitro assay investigations on the transformation of pharmaceutical compounds by oxidative enzymes. *Chemosphere* **174**, 2017, 466 - 477
- Weißbach, Max; Criddle, Craig S.; Drewes, Jörg E.; Koch, Konrad: A proposed nomenclature for biological processes that remove nitrogen. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* **3**, 2017, 10-17
- Bajón Fernández, Y.; Soares, A.; Koch, K.; Vale, P.; Cartmell, E.: Bioconversion of carbon dioxide in anaerobic digesters for on-site carbon capture and biogas enhancement – A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **47** (17), 2017, 1555-1580
- Bieber, Stefan; Greco, Giorgia; Grosse, Sylvia; Letzel, Thomas: RPLC-HILIC and SFC with Mass Spectrometry: Polarity-Extended Organic Molecule Screening in Environmental (Water) Samples. *Analytical Chemistry* **89** (15), 2017, 7907-7914
- Carvajal, Guido; Branch, Amos; Michel, Philipp; Sisson, Scott A.; Roser, David J.; Drewes, Jörg E.; Khan, Stuart J.: Robust evaluation of performance monitoring options for ozone disinfection in water recycling using Bayesian analysis. *Water Research*, 2017
- Gelhardt, Laura; Huber, Maximilian; Welker, Antje: Development of a Laboratory Method for the Comparison of Settling Processes of Road-Deposited Sediments with Artificial Test Material. *Water, Air, & Soil Pollution* **228** (12), 2017
- Gracia-Lor, Emma; Castiglioni, Sara; Bade, Richard; Been, Frederic; Castrignanò, Erika; Covaci, Adrian; González-Mariño, Iria; Hapeshi, Evroula; Kasprzyk-Hordern, Barbara; Kinyua, Juliet; Lai, Foon Yin; Letzel, Thomas; Lopardo, Luigi; Meyer, Markus R.; O'Brien, Jake; Ramin, Pedram; Rousis, Nikolaos I.; Rydevik, Axel; Ryu, Yeonsuk; Santos, Miguel M.; Senta, Ivan; Thomaidis, Nikolaos S.; Veloutsou, Sofia; Yang, Zhugen; Zuccato, Ettore; Bijlsma, Lubertus: Measuring biomarkers in wastewater as a new source of epidemiological information: Current state and future perspectives. *Environment International* **99**, 2017, 131-150
- Hellauer, Karin; Karakurt, Sema; Sperlich, Alexander; Burke, Victoria; Massmann, Gudrun; Hübner, Uwe; Drewes, Jörg 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*, 2017
- Regnery, Julia; Gerba, Charles P.; Dickenson, Eric R. V.; Drewes, Jörg E.: The importance of key attenuation factors for microbial and chemical contaminants during managed aquifer recharge: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **47** (15), 2017, 1409-1452
- Stadlmair, Lara F.; Letzel, Thomas; Graßmann, Johanna: Monitoring enzymatic degradation of emerging contaminants using a chip-based robotic nano-ESI-MS tool. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2017
- Strübing, Dietmar; Huber, Bettina; Lebhuhn, Michael; Drewes, Jörg E.; Koch, Konrad: High performance biological methanation in a thermophilic anaerobic trickle bed reactor. *Bioresource Technology* **245**, 2017, 1176-1183
- Smerdon, B.D., Drewes, J.E. (2017). Groundwater recharge: The interaction between humanity and hydrogeology. *J. Hydrology* **555**, 909-911
- Thaler, K., Berger, C., Leix, C., Drewes, J.E., Niessner, R., Haisch, C. (2017). Photoacoustic Spectroscopy for the Quantification of N<sub>2</sub>O in the Off-Gas of Wastewater Treatment Plants. *Analytical Chemistry* **89** (6), 3795-3801.
- Zhu, B., Bradford, L., Huang, S., Szalay, A., Weissbach, M., Leix, C., Tancsics, A., Drewes, J.E., and Lueders, T. (2017). Unexpected diversity and high abundance of putative nitric oxide dismutase (Nod) genes in contaminated aquifers and wastewater treatment systems. *Appl. Environmental Microbiology* **83**,4
-

## Konferenzen

### Präsentationen

- Drewes, J.E. and Bieber, S.: Strategien im Umgang mit Spurenstoffen. 50. Essener Tagung, 2017
- Drewes, J.E., Gondhalekar, D.: Urban Water-Energy-Food Nexus Workshop. Workshop TUM-Indian Institute of Technology Madras, 2017
- Drewes, J.E., Hellauer, K., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Regnery, J., Hübner, U.: Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART) For Enhanced Micropollutant Removal from Laboratory Studies to Full-scale Applications. IWA 10th Micropol & Ecohazard Conference, 2017
- Drewes, J.E., Koch, K. Hübner, U.: Opportunities to tackle the full potential of wastewater. Blue Planet Berlin Water Dialogues, 2017
- Drewes, J.E.: Opportunities and Challenges for Water Reuse in Europe – Lessons learned from international Experience. Circular Economy Stakeholder Conference, 2017
- Hellauer, K., Mergel, D., Ruhl, A.S., Filter, J., Hübner, U., Jekel, M., Drewes, J.E.: Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART) – Principles, Performance and Optimization Strategies. IWA 11th International Conference on Water Reclamation and Reuse, 2017
- Helmreich, B.: Erfahrungen zur stofflichen Belastung von Versickerungsmulden an Zinkdachabflüssen. 16. Regenwassertage, 2017
- Helmreich, B., Huber, M., Rempe, L.M., Drewes, J.E.: Development of a two-step decentralized stormwater treatment system with a low-cost filter material for space-limited ultra-urban traffic areas. 14th IWA/IAHR International Conference on Urban Drainage (ICUD), 2017, 1016-1018
- Helmreich, B., Huber, M., Rempe, L.M., Drewes, J.E.: Entwicklung einer zweistufigen Behandlungsanlage für Verkehrsflächenabflüsse unter Berücksichtigung urbaner und kommunaler Anforderungen. Aqua Urbanica, 2017
- Helmreich, B., Huber, H., Rempe, L.M., Drewes, J.E.: Development of a two-step decentralized stormwater treatment system with a low-cost filter material for space-limited ultra-urban traffic areas. 14th International Conference on Urban Drainage, 2017
- Huber, M.: Entwicklung und Anwendung eines Bewertungsverfahrens für dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung von Verkehrsflächenabflüssen. Wasser 2017, 2017, 25-32
- Huber, M.; Muntau, M.: Technische Möglichkeiten zur weitestgehenden Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen. 45. Abwassertechnisches Seminar: Weitestgehende Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen – Möglichkeiten und Grenzen (Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft 215), 2017, 55-69
- Hübner, U.: Transitioning from passive to active water treatment systems – Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART). German-American Frontiers of Engineering Symposium, 2017
- Hübner, U., Miklos, D., Müller, J., Fajnarova, S., Herzog, B., Drewes, J.E.: Evaluation of alternative concepts for removal of trace organic chemicals from secondary effluents. IWA 10th Micropol & Ecohazard Conference, 2017
- Hübner, U., Muntau, M., Müller, J., Schulz, M., Jewell, K., Ternes, T.A., Drewes, J.E.: Analysis of select transformation products as intrinsic tracers to characterize redox conditions during the initial phase of soil-aquifer treatment. IWA 11th International Conference on Water Reclamation and Reuse, 2017
- Karakurt, S., Sperlich, A., Hellauer, K., Hübner, U., Jekel, M., Drewes, J.E.: Großtechnische Validierung der sequentiellen Grundwasseranreicherung. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft, 2017
- Koch, K.; Drewes, J.: Impact of inoculum's origin on the methane yield in biochemical methane potential (BMP) tests. International Conference "Progress in Biogas IV, 2017
- Leix, C.; Koch, K.; Ebertseder, F.; Lindenblatt, C.; Drewes, J.: Alternative Verwertungsmöglichkeiten flüssiger Gärrückstände aus der anaeroben Abfall- und Schlammbehandlung. 11. Fachtagung „Anaerobe biologische Abfallbehandlung“, 2017
- Murgolo, S., Hübner, U. Helmreich, B., Drewes J.E., Mascolo, G.: Investigation of Electrochemical Process For Removal of emerging organic pollutants in Wastewater Treatment Plant Effluents by a Boron-doped Diamond Electrode. 5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes - EAAOP5, 2017
- Müller, J., Hübner, U., Drewes, J.E.: Introducing hybrid systems for enhanced removal of trace organic compounds during water reclamation. IWA 11th International Conference on Water Reclamation and Reuse, 2017
- Müller, J., Hübner, U., Drewes, J.E.: Introducing hybrid systems for enhanced removal of trace organic compounds during water reclamation. IWA 11th International Conference on Water Reclamation and Reuse, 2017
- Sperlich, A., Karakurt, S., Hellauer, K., Hübner, U., Gnirss, R., Drewes, J.E.: Sequential managed aquifer recharge (SMART): Results of demonstration-scale operation in Berlin, Germany. IWA 11th International Conference on Water Reclamation and Reuse, 2017
- Wang, W., Hübner, U., Miklos, D., Linden, K.G., Hu, H., Drewes, J.E.: Degradation of trace organic chemicals by LED-UV/chlorine for reclaimed water treatment: synergistic effects. IUVA 2017 World Congress & Exhibition, 2017

- Welker, A., Dierkes, C., Dierschke, M., Huber, M.: Evaluation of novel sorption media filter materials for the advanced treatment of stormwater runoff from highways. 14th IWA/IAHR International Conference on Urban Drainage (ICUD), 2017

### Poster

- Dandikas, V.; Heuwinkel, H.; Lichti, F.; Drewes, J.; Koch, K.: Comparing a global and a local modeling approach for the prediction of the biogas yield of energy crops. International Conference "Progress in Biogas IV", 2017

### Textbeiträge

- Bieber, S.; Letzel, T.;; SFC und RPLC-HILIC mit MS-Detektion - Polaritätserweitertes Spurenstoffscreening in Gewässerproben. APPLICA 2017, 2017
- Drewes, J.E., Koch, K. Hübner, U.: Opportunities to tackle the full potential of wastewater. Blue Planet Berlin Water Dialogues, 2017 (Wasser Berlin)
- Helmreich, B.: Erfahrungen mit der stofflichen >Belastung von Versickerungsmulden an Zinkdächern. 16. Regenwassertage, 2017
- Helmreich, B.; Huber, M.; Rempe, L.M.; Drewes, J.E.: Entwicklung einer zweistufigen Behandlungsanlage für Verkehrsflächenabflüsse unter Berücksichtigung urbaner und kommunaler Anforderungen. Aqua Urbanica 2017, 2017, U1-U12
- Hübner, U.: Transitioning from passive to active water treatment systems – Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART). 2017 German-American Frontiers of Engineering Symposium, 2017
- Miklos, D., Hartl, R., Linden, K.G., Drewes, J.E., Hübner, U.: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pilot-scale process validation and process reliability evaluation for TOC removal from WWTP effluents. IUVA 2017 World Congress & Exhibition, 2017
- Murgolo, S., Hübner, U. Helmreich, B., Drewes J.E., Mascolo, G.: Investigation of Electrochemical Process For Removal of emerging organic pollutants in Wastewater Treatment Plant Effluents by a Boron-doped Diamond Electrode. 5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes – EAAOP5, 2017

## Abschlussarbeiten

### Dissertationen

- Bieber, Stefan: International management strategies for trace organic compounds in waterbodies and supporting advanced analytical techniques
- Leix, Carmen: Innovative strategies for enhanced deammonification performance and reduced nitrous oxide emissions.

### Masterarbeiten

- Aniol, Jonas: Investigation of Membrane Fouling Mitigation with Fluidized Granular Activated Carbon in Ultrafiltration Membrane Treatment of Municipal Wastewater
- Arias Rodriguez, Leonardo Francisco: Performance Comparison of UV sources for disinfection of E. faecium and E. coli.
- Aron, Helen: Evaluation of a pilot plant for the treatment of municipal wastewater for irrigation of agricultural-economic areas in West Africa through the use of Biochar
- Berger, Elvira: Variantenuntersuchung beim Neubau der Kläranlage in Grafenwiesen
- Bo, Jin: Investigation of biological degradation for industrial wastewater (Master Sustainable Resource Management)
- Brkjaca, Florian: Improving the removal of trace organic compounds during sequential biofiltration by varying different key parameters
- Cao, Yannan: UV/Chlorine for TOCs removal: Pilot scale studies and influence factors
- Charoensiri, Jinjuta: Feasibility of oxygen releasing compounds (ORC) as an electron acceptor in SMART 2.0 application
- Dery, Alicia: Urban Water-Energy-Food Nexus: Case Study of Thiruvanmiyur Neighborhood, Chennai, India
- Dollinger, Florian: Aufbau der Entscheidungsmatrix und Variantenberechnung und –auswertung als Vorstufe für eine strategische Planung
- Eckl, Veronika: Dichtheitsprüfung nach der EÜV, Möglichkeiten der Umsetzung am Beispiel des Kanalnetzes der MSE
- Euba, Olivia: Domestic rainwater harvesting: Opportunities and Challenges
- Fettback, Tim: Methodology development to assess success and failure of decentralized small-scale sanitation systems in India
- Gessner, Verena: Characterization of solids in traffic area runoff: Continuous measurements and correlation with settling velocity

- Habel, Fabian: Pilotversuch zum Vergleich der Denitrifikationsqualität hinsichtlich der Nitritbildung während der nachgeschalteten Denitrifikation im Sandfilter bei voll- und unterstöchiometrischer Methanolzugabe
- Häring, Dominik: Phosphate recovery from secondary wastewater effluent with microalgae
- Hartl, Rebecca: UV-based advanced oxidation processes - Pilot process validation and process stability evaluation of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for trace organic chemical removal from WWTP effluents
- Högl, Lukas: Optimization and adaption planning of water supply networks
- Jakobi, Kristin: Alternative Rücknahmenetze für Altfahrzeuge der BMW Group mit dem Ziel der Rohstoffsicherung dargestellt am Beispiel von Deutschland
- Lindström, Sara: Development of a 2D BDD electrode reactor model in COMSOL Multiphysics to predict electrochemical oxidation of organic pollutants
- Luginer, Pascal: Entwicklung und Etablierung eines alternativen Probenaufgabensystems für SFC-Analysen
- Mayerlen, Sara: BDOC character and concentration and its influence on TOCs transformation
- Mayr, Rupert: Scientific assessment and evaluation of approaches to phosphorus recovery in its practical application
- Padel, Barbara: How many bacteria live in Bavarian groundwaters - first attempts for the definition of microbial natural background range
- Reichel, Julia: Immobilization of oxidative enzymes selected by Mass Spectrometric screening
- Rivas, Maria: Performance Assessment of Powdered Activated Carbon for the Removal of Benzene from Surface Waters
- Rosenwirth, Bianca: Deutsche Studie zum globalen Schutz gegen Plastikverschmutzung der Weltmeere - Eine monetäre und funktionale Gegenüberstellung zweier maritimer Abfallwirtschaftskonzepte
- Rupp, Marius: Untersuchung zur Optimierung der Aufbereitung von Gärrest zur Reduktion von Ablagerung
- Schmid, Felix: Chemical phosphorus removal - mass balance of the phosphorus removal of selected municipal wastewater treatment plants using operating data
- Schmid, Ludwig: Assessing competitive adsorption of dissolved organic matter during the removal of trace organic chemicals using activated carbon in different water matrices
- Schmidt, Florian: Entwicklung eines Verfahrens zur Kostenschätzung bei der Sanierung von Trinkwasserbehältern auf Grundlage der Zustandserfassung und Sanierungskonzeption
- Schmitz, Jan: Investigation of membrane fouling of NF/RO membrane applications to enhance efficiency of an integrated membrane system for potable water reuse
- Schneider, Roland: Historische Recherche zu Altlasten am Betriebsgrundstück der MAN Truck & Bus AG am Standort Nürnberg
- Schön, David: Impact of Feed Spacer Accuracy on Hydrodynamic Modeling of Pure Water Flow in Membrane Modules – A Modeling Approach by Using COMSOL Multiphysics™ and Geomagic Design™ X
- Schweiger, Daniela: Development of in-situ oxidation step for a pilot scale sequential managed aquifer recharged technology (SMART) system for indirect potable water reuse
- Sharmin, Rasna: Development of computational fluid dynamics (CFD) models for simulating foulant reduction by patterned RO and NF membranes
- Thalmann, Christian: Immisionsbetrachtungen am Beispiel eines Flusses
- Thiel, Paul: Application of Mechanically Pretreated Municipal Wastewater as Organic Reducing Equivalents for the Biological Production of Nitrous Oxide from Ammonia-rich Digester Centrate
- Thies, Cornelius: Investigation of the Effect of Air Supported Cleaning for Ultrafiltration Membranes
- Ziemendorf, Eric: Rapid Small-Scale Column Test to Enable Differentiation between Sorption and Biodegradation Rates of Trace Organic Chemicals in a Biological Activated Carbon Filter

## Studienarbeiten

- Arias Rodriguez, Leonardo Francisco: Performance Comparison of UV sources for disinfection of *E. faecium* and *E. coli*.
- Aron, Helen: The state of wastewater management in Global South Countries at the example of Ethiopia – a review.
- Bickert, Nadine: Assessment of water losses at house connections at the example of Stadtwerke München (SWM) (UI)
- Burger, Sandra: Evaluation of a stormwater management with regard to sustainability and development of water resources within the framework of technical possibilities.
- Dollinger, Florian: Sanierungskonzept für die Schmutzwasser-Kanalisation Olching
- Ganthaler, Sofia: Determination of the biodegradability of Terbutylazine, Metolachlor, Nicosulfuron and Prosulfuron in a maize field: a case study
- Herb, Frank: Optimized implementation of a Power-to-Methane plant into a wastewater treatment plant in Germany - Recommendation for core elements and cost target analysis
- Lahmouri, Mounia: Microbial methanation in a thermophilic anaerobic trickle bed reactor - process performance after extended standby periods

- Larasser, Martin: Design, Construction and Commissioning of a Partially Automated Multi-Optional Membrane Test-Skid (NF/RO)
- Little, Emily: Examining the economic potential of renewable energies through optimization for the Northeast region of the United States
- Rehlen, Laura: Determination of a reliable method to identify the irradiance of LED array systems for water disinfection
- Rizou, Zoi: Impact of ultrasonic treatment on the dewaterability and viscosity of waste activated and digested sludge
- Schmid, Felix: Chemical-phosphorus removal – mass balance of the phosphorus removal of selected municipal wastewater treatment plants using operating data
- Schwaller, Christoph: Installation and testing of a laboratory unit for conducting Biochemical Methane Potential tests at the Addis Ababa Institute of Technology, Ethiopia
- Stapelfeldt, Oliver: Technical feasibility study of Trace Organic Chemical removal in consideration of the existing UV System at the Wastewater Treatment Plant Gut Marienhof
- Sharmin, Rasna: Rapid Small Scale Column Tests to Observe the Breakthrough Behavior of Trace Organic Compounds in Granular Activated Carbon Filters
- Weiß, Franz: Druckregulierung durch Druckreduzierventile und Pumpen als Turbinen in Trinkwasserversorgungssystemen
- Wiese, Felix: Set up and start-up of a trickle bed reactor for microbial methanation

### *Bachelorarbeiten*

- Bieling, Nicolas: Literaturrecherche von Transformationsprodukten in der aquatischen Umwelt für das BMBF Verbundprojekt FOR-IDENT
- Bonas, Felix: Treatment Plant Design for Small-Scale Cosmetics Industry Effluent
- Eliasson, Ageir Björn: Application fields for stationary phases in supercritical fluid chromatography
- Erpf, Jakob: Einführung in die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metalldachabflüsse
- Gilger, Julia: Optimierung und Betreuung eines Feldversuchs zur Aufbereitung von Abwasser in Tamale, Ghana zur Bewässerung
- Heck, David: Vergleich der Anaerobstufen von Kläranlagen in Bayern
- Huber, Vincent: Relining-Verfahren von nicht begehbaren Kanälen und Rohrleitungen in der kommunalen Abwasserentsorgung
- Isildak, Eda: The combination of ozonation and biological post-treatment to improve the removal of trace organic chemicals during wastewater treatment
- Kührt, Annika: Optimierung der Entwässerung auf der Kläranlage Tegernseer Tal
- Noceti, Luca: Schadstoffe aus Dachabflüssen von Nicht-Metalldächern – Eine Literaturstudie
- Salvermoser, Kukas: Transformationsprodukte von Spurenstoffen in der wässrigen Umwelt - Datenakquise für das BMBF Verbundprojekt FOR-IDENT
- Stoiber, Alexander: Hydraulische Kanalnetzrechnung und Überstaubrechnung anhand eines Beispiels
- Schmidt, Nicolas: Belastung der Regenabflüsse von Kupfer- und Zinkdächern – Eine Literaturstudie
- Schott, Sebastian: Vergleichende Bewertung von erprobten Steuer- und Regelstrategien sowie neuen Möglichkeiten zur bedarfsgerechten Ozondosierung zur Spurenstoffelimination
- Stoll, Clara: Vergleichende Bewertung von Ozoneintragssystemen zur Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen
- Uchaikina, Anna: Literature study on water relevant biogenic molecules
- Walzik, Christine: Untersuchungen zum Anfahrbetrieb der Deammonifikation

## Dissertationen und Auszeichnungen



Abb. 52: Promotionskomitee Dr.-Ing. Carmen Leix.

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr.-Ing Carmen Leix** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 11. September 2017. Ihre Arbeit mit dem Titel „Innovative strategies for enhanced deammonification performance and reduced nitrous oxide emissions“ wurde von Frau Prof. Dr. Lackner (TU Darmstadt), Herrn Prof. Dr. Morgenroth (ETH Zürich) und Prof. Dr. Drewes (TUM) begutachtet.

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr. rer. nat. Stefan Bieber** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 18. Dezember 2017. Seine Arbeit mit dem Titel ‘International management strategies for trace organic compounds in waterbodies and supporting advanced analytical techniques’ wurde von Herrn Prof. Dr. Torsten Schmidt (Uni. Duisburg-Essen), PD Dr. Thomas Letzel (TUM), and Prof. Dr. Drewes (TUM) begutachtet.



Abb. 53: Dr. rer. nat. Stefan Bieber.



Abb. 54: Willy-Hager-Preis für Dr.-Ing M. Huber (Foto: Wasserchemische Gesellschaft)

Wir sind stolz, dass Herr **Dr.-Ing. Maximilian Huber** den Willy-Hager-Preis 2017 für hervorragende Arbeiten auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik der (industriellen) Wasser- oder Abwasseraufbereitung für seine Doktorarbeit bekommen hat. Das Thema der Doktorarbeit, die er am 15. Juni 2016 mit „mit Auszeichnung bestanden“ (summa cum laude) abgeschlossen hat, war „Development and Evaluation of an Assessment Method for Decentralized Treatment Systems for Runoff from Traffic Areas“.

Frau **Meriam Muntau**, M.Sc., ist mit dem diesjährigen Max-von-Pettenkofer-Preis des DWA-Landesverbandes Bayern für Ihre Masterarbeit „Assessment and management of emerging contaminants in indirect reuse systems: Surface spreading in Braunschweig“, die sie an unserem Lehrstuhl angefertigt hat, ausgezeichnet worden. Der Preis wurde zur Landesverbandstagung in Hof am 18. Oktober 2017 überreicht.



Herr **Lukas Högel**, M.Sc., hat den diesjährigen **H.P. Scholz-Preis** für besondere Studienleistungen und seine Masterarbeit mit dem Titel „Evaluation and Optimization of Water Distribution Networks Based on Computational Network Models“ bekommen. Herr Högel hat im April 2017 den Studiengang Umweltingenieurwesen (Master) als bester seines Jahrganges abgeschlossen. Seine Masterarbeit hat er unter der Betreuung von Frau Apl.-Prof. Brigitte Helmreich an unserem Lehrstuhl und Herrn Apl.- Prof. Steffen Krause und Frau Salomé Parra, M.Sc., vom Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München angefertigt.



Abb. 55: Lukas Högel (links) mit dem Dekan Prof. Dr. Christoph Gehlen (rechts) am Tag der Fakultät bei der Preisverleihung (Foto: Andreas Herddergott)

Wir sind stolz, dass Frau **Rofida Wahman**, M.Sc., den dritten Posterpreis am Langenauer Wasserforum 2017 (13./14.11.17) in Langenau erhalten hat. Das Thema war "Novel Analytical Strategies for Anthropogenic Compounds in Plants: Vegetable Biomonitors for Water Contaminations".



Herrn **David Miklos**, M.Sc., und **Wenlong Wang**, M.Sc., haben erfolgreich am IUVA-Weltkongress in Kroatien teilgenommen. Als besonderen Dank gratulieren wir David Miklos (1.) und Wenlong (2.) zum Gewinn des Studentenpräsentationspreises auf dieser Konferenz!

Abb. 56: Wenlong Wang, David Miklos, Prof. Dr. Karl Linden, and Natalie Hull in Croatia.

Wir freuen uns, dass die **Roland-Mall-Stiftung** erstmals 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 Studenten (von links: Herr Mario Gramm, Frau Marlies Prahtel und Herr Mohammed Al-Azzawi), wurden aufgrund ihres bisherigen Engagements und Werdegangs ausgesucht. Die Stipendien wurden persönlich durch Herrn Michael Mall, Vorsitzender des Stiftungsvorstands (rechts), überreicht.



Abb. 57: Foto: von links: Mario Gramm, Marlies Prahtel, Mohammed Al-Azzawi und Michael Mall am Tag der Fakultät bei der Stipendienverleihung (Foto: Andreas Herddergott)

## Lehre

---

Unser Lehrstuhl bietet Vorlesungen für die Bachelorstudiengänge *Umweltingenieurwesen* und *Bauingenieurwesen* sowie für die Masterstudiengänge *Environmental Engineering*, *Civil Engineering*, *Environmental Planning and Engineering* sowie *Sustainable Resource Management* an. In diesen Studiengängen werden neue Akzente im Bereich der weitergehenden Trink- und Abwasserbehandlung, der Energierückgewinnung aus Abwasser, dem Wasser Recycling sowie der Konzeption nachhaltiger Wasserver- und -entsorgungssysteme für urbane Räume gesetzt. Folgende Vorlesungen wurden 2017 angeboten:

### *Sommersemester*

- Advanced Water Treatment Engineering and Reuse: Drewes, Jörg
- Anaerobtechnik und Energierückgewinnung: Koch, Konrad
- Brauchwasser: Glas, Karl
- Hydrochemistry Laboratory: Helmreich, Brigitte; Heim, Carolin, Hübner, Uwe
- Industrial Wastewater Treatment and Reuse: Helmreich, Brigitte
- Modelling of aquatic systems: Koch, Konrad
- PhD Seminar SiWaWi: Drewes, Jörg, Koch, Konrad
- Projektkurs Siedlungswasserwirtschaft: Drewes, Jörg
- Prozesssimulation und Design von Kläranlagen: Becker, Jennifer
- Thermodynamik und Energietechnik Übung: Hübner, Uwe
- Thermodynamik und Energietechnik: Hübner, Uwe
- Umweltanalytik: Letzel, Thomas
- Umweltrecht: Spieler, Martin
- Urban Climate - Anwendungen: Katzschner, Lutz
- Wastewater Treatment: Koch, Konrad

*Wintersemester*

- Engineered Natural Treatment Systems: Hübner, Uwe
- Fundamentals of Urban Climate: Katzschner Lutz
- Gewässerschutz: Gschlößl, Tanja
- Ökologie und Mikrobiologie: Herzog, Bastian
- Grundlagen Verfahrenstechnik: Böhm, Bernhard; Koch, Konrad
- Hydrochemistry: Helmreich, Brigitte
- Hydrochemistry Laboratory: Heim, Carolin; Helmreich, Brigitte; Hübner, Uwe
- PhD Seminar Siedlungswasserwirtschaft: Koch, Konrad; Drewes, Jörg
- Planung und Betrieb von Kläranlagen: Böhm, Bernhard; Steger, Martin
- Planungs- und Genehmigungsverfahren nach deutschem und europäischem Wasserrecht: Spieler, Martin
- Practical Aspects of Engineered Natural Treatment Systems: Hübner, Uwe
- Siedlungswasserwirtschaft Grundmodul: Helmreich, Brigitte; Koch, Konrad
- Technical Communication Skills in Water and Wastewater Treatment: Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Water and Wastewater Treatment Engineering: 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



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



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



**Bastian Herzog**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13720  
b.herzog@tum.de



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



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



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

**Stefan Bieber**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13702  
s.bieber@tum.de



**Therese Burkhardt**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13711  
t.burkhardt@tum.de



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



**Carolin Heim**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13709  
c.heim@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.)  
+49.89.289.13705  
sema.karakurt@tum.de



**Carmen Leix**  
(Dr.-Ing.)  
+49.89.289.13797  
c.leix@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 Magalhaes**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13797  
nc.magalhaes@tum.de



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



**David Miklos**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13717  
david.miklos@tum.de



**Selamawit Mulugeta**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13707  
sg.mulugeta@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



**Lara Stadlmair**  
(Dipl.-LMChem.)  
+49.89.289.13711  
lara.stadlmair@tum.de



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



**Sofia Veloutsou**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13707  
sofia.veloutsou@tum.de



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



**Maximilian Weißbach**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13712  
max.weissbach@tum.de



**Veronika Zhiteneva**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13705  
v.zhiteneva@tum.de

### *GastwissenschaftlerInnen*



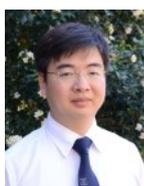
**Jennifer Becker**  
(Prof. Dr.)  
+49.89.289.13708  
jgbecker@mtu.edu



**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



**Long Nghiem**  
(Prof. Dr.)  
+49.89.289.13708  
longn@uow.edu.au



**Mike Manefield**  
(Prof. Dr.)  
+49.89.289.13708  
manefield@unsw.edu.au



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

*Technisches Personal*



**Andrea Boltner**  
+49.89.289.13733  
a.boltner@tum.de



**Sylvia Große**  
+49.89.289.13733  
s.grosse@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



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



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



**Nicole Zollbrecht**  
+49.89.289.13733  
nicole.zollbrecht@tum.de

*Auszubildende*



**Monika Meindl**  
+49.89.289.13715  
azubi\_sww@tum.de



**Carolin Kocur**  
+49.89.289.13732  
azubi\_sww@tum.de



**Felix List**  
+49.89.289.13715  
azubi\_sww@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

## Editorinnen

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Veronika Zhiteneva, M.Sc.; Meriam Muntau, M.Sc.