

# forum 87

Mitteilungsblatt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

# JAHRESBERICHT DES LEHRSTUHLS FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 2016



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

## Inhaltsverzeichnis

#### Inhalt

ORWORT	1
/ERSUCHSANSTALT DES LEHRSTUHLS	3
Optimierung der biologischen Abbaubarkeit von Produktionsabwässern der chemischen Industrie	4
CHEMISCH-PHYSIKALISCHES, ANALYTISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES LABOR	5
ARBEITSGRUPPE ANAEROBTECHNIK & ENERGIERÜCKGEWINNUNG	7
OPTIMIERUNG DER ABBAULEISTUNG UND REDUKTION DER LACHGASEMISSIONEN IN DER DEAMMONIFIKATION (PANOWA)  LACHGAS ALS INNOVATIVE QUELLE ZUR ENERGIERÜCKGEWINNUNG AUS ABWASSERSTRÖMEN (PANOWA)  MULTISEKTORALER ANSATZ FÜR DAS ABWASSERMANAGEMENT IN ADDIS ABEBA, ÄTHIOPIEN  BEDARFSGERECHTE ENERGIEBEREITSTELLUNG DURCH MIKROBIOLOGISCHE METHANISIERUNG VON H2 UND CO2 IN ANAEROBEN RIESELBETTREAKTOREN  STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ BEI DER ABWASSERREINIGUNG DURCH INNOVATIVE ULTRASCHALLDESINTEGRATION (ULTRAMETHAN)	9 . 10 . 11 . 12
ARBEITSGRUPPE ANALYTISCHE FORSCHUNGSGRUPPE (AFG)	. 13
PROJEKTABSCHLUSS: "ENTWICKLUNG EINER E-LEARNING PLATTFORM IM BEREICH DER ANALYTISCHEN CHEMIE (ANALYTIK	
FOR-IDENT – Neue Strategien und Workflows im Bereich des "Hidden-Target Screenings"	. 15 . 16 . 17 JND
ARBEITSGRUPPE KANALNETZ- UND REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG	
ERFAHRUNGEN ZUR STOFFLICHEN BELASTUNG VON VERSICKERUNGSMULDEN AN ZINKDACHABFLÜSSEN	
ARBEITSGRUPPE MIKROBIELLE SYSTEME	
ARBEITSGRUPPE NATÜRLICHE AUFBEREITUNGSVERFAHREN	
SEQUENTIELLE GRUNDWASSERANREICHERUNG (SMART)	. 25
ARBEITSGRUPPE WEITERGEHENDE WASSERBEHANDLUNG UND WASSER RECYCLING	. 27
Planungsoptionen und Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen (TrinkWave)	IG
Bewertung der Wasserwiederverwendung und Energie- und Salzrückgewinnung bei der Behandlung von Haushalts- und Industrieabwässern mit einer Kombination aus biologischen und Membran-Trennverfahren Optimierung regulativer und operativer Rahmenbedingung zum dynamischen Betrieb von Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung	130
Nutzung alternativer Oxidationsverfahren als vierte Reinigungsstufe für die Entfernung von organischei Spurenstoffen	N

### Inhaltsverzeichnis

Entwicklung und Validierung eines energieeffizienten Ozoneintragssystems zur Reduzierung von anthropogenen Spurenstoffen in gereinigtem Abwasser	33
ANALYSE EINER MÖGLICHST WEITESTGEHENDEN PHOSPHORELIMINATION BEI KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN	
WEITERE (FORSCHUNGS)AKTIVITÄTEN	35
NEXUS OF WATER, FOOD AND ENERGY	35
Young Water Reuse Professionals (YWRP)	
EXTERNE DOKTORANDEN	36
GASTWISSENSCHAFTLER	39
INTERNATIONALE KOOPERATIONSPARTNER	42
NATIONALE/INTERNATIONALE GREMIENARBEIT	43
Water Reuse Specialist Group (IWA)	43
EU-COST ACTION	
ESSEM-COST ACTION	
NEREUS-COST ACTION	
NORMAN NETWORK	
Wasser Recycling in Kalifornien, USA  DWA-Arbeitsgruppen	
Wasserchemische Gesellschaft	
,FA Non Target Screening' - Hauptausschuss II der Wasserchemischen Gesellschaft	
Zeitschrift Water – Gast-Editorin.	
ZEITSCHRIFT JOURNAL OF WATER REUSE AND DESALINATION – EDITOR	
ZEITSCHRIFT WATER SOLUTIONS – EDITOR	46
NACHWUCHSFÖRDERUNG / WORKSHOPS / SONSTIGE AKTIVITÄTEN	47
Assistententreffen 2016 in München	47
Universities Australia-DAAD Joint Research Cooperation Scheme	
Workshop China	
Betriebsausflug im Sommer 2016	
SCIENCLISTEN	
VERÖFFENTLICHTE BÜCHER	49
DER TUM WASSER CLUSTER	
PUBLIKATIONEN	52
DISSERTATIONEN UND AUSZEICHNUNGEN	59
LEHRE	61
FÖRDERGESELLSCHAFT DES LEHRSTUHLS FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT E.V	63
MITARBEITERINNEN	65
KONTAKT	69





JÖRG E. DREWES (PROF. DR.-ING.) 089/28913713 JDREWES@TUM.DE

#### Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls.

in Zeiten bedeutender politischer Veränderungen in unserem Land, Europa und der Welt sind wir dankbar für das Privileg, im vergangenen Jahr sehr fokussiert und produktiv gearbeitet haben zu können. Ich freue mich, Ihnen mit dieser Ausgabe unseren Jahresbericht 2016 überreichen zu können. Das vergangene Jahr war gekennzeichnet von einer beachtlichen Drittmitteleinwerbung des Lehrstuhls und einer konstant hohen Veröffentlichkeitstätigkeit unserer MitarbeiterInnen. Ganz besonders freuen wir uns für Frau Dr.rer.nat. Bettina Huber und Herrn Dr.-Ing. Max Huber über den erfolgreichen Abschluss ihrer Dissertationen im letzten Jahr und wünschen beiden alles Gute für ihre weiteren beruflichen Laufbahnen. Wir freuen uns auch mit Thomas Lippert über die Prämierung der besten Abschlussarbeiten der Deutschen Meerwasserentsalzung (DMW) e.V. für seine ausgezeichnete Masterarbeit.

Im vergangenen Jahr wurden wir durch sechs neue DoktorandInnen verstärkt, die sich Ihnen in diesem Jahresbericht vorstellen. Darüber hinaus ist München und die TUM ein attraktiver Standort für GastwissenschaftlerInnen, von denen wir im vergangenen Jahr KollegInnen aus Australien, China, Tschechien und den USA für jeweils mehrere Monate bei uns zu Besuch hatten. Dieser direkte Austausch war sehr bereichernd und wir freuen uns, diese Kontakte durch laufende und zukünftige Forschungsaktivitäten und Gegenbesuche weiter auszubauen.

Im Juli 2016 fand das 44. Abwassertechnische Seminar (ATS) mit dem Thema "Bedarfsgerechte Energiebereitstellung durch Kläranlagen als Baustein der Energiewende" statt, das federführend von Dr. Konrad Koch organisiert wurde. Für diese Veranstaltung konnten wir international ausgewiesene Experten aus Luxemburg, Österreich und Deutschland gewinnen. Das 45. ATS zum Schwerpunkt "Weitestgehende Phosphorentfernung auf kommunalen Kläranlagen" ist für den 28. Juni 2017 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). Über Ihr Interesse an der Veranstaltung würden wir uns sehr freuen. Vom 2. - 4. November 2016 richteten wir unter Federführung von Prof. Thomas Letzel das erste Mal einen internationalen Workshop mit dem Titel "Non-Target Screening and its Role in Various Disciplines" aus. Die Veranstaltung wurde mit mehr als 120 internationalen TeilnehmerInnen sehr gut angenommen und wir planen daher eine Folgeveranstaltung im Herbst diesen Jahres.

Mit der Einwerbung von neuen Vorhaben haben wir ein sehr produktives Jahr in der Forschung hinter uns, wie u.a. das BMBF Verbundprojekt *TrinkWave* (unter Dr. Uwe Hübners und meiner Leitung), das Vorhaben *UltraMethan* zur Verbesserung des anaeroben Abbaus durch Ultraschallbehandlung des BMWI (unter Leitung von



Dr. Konrad Koch) oder ein neues Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) zur Entwicklung und Validierung eines energieeffizienten Ozoneintragssystems zur Reduzierung von anthropogenen Spurenstoffen in gereinigtem Abwasser (unter Leitung von Dr. Uwe Hübner).

Der Lehrstuhl leistete auch im vergangenen Jahr wesentliche Beiträge in der Ausbildung der Studierenden in den Bachelorstudiengängen Umweltingenieurwesen und Bauingenieurwesen sowie in den Masterstudiengängen Environmental Engineering, Civil Engineering, Environmental Planning and Engineering sowie Sustainable Resource Management. Neben einer Vielzahl von Vorlesungen, Übungen und Praktika betreuten die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls mehr als 80 Masterarbeiten, Studien- und Bachelorarbeiten. Im vergangenen Jahr konnte die Fakultät auch eine komplette Revision des Masterstudienganges Environmental Engineering mit neuer Studienprüfungsordnung abschließen, die das Profil dieses Studienganges deutlich geschärft hat (mehr dazu auf www.umwelt.bgu.tum.de). Seit 2016 fungiere ich darüber hinaus als Studiendirektor für den Studiengang Umweltingenieurwesen an der TUM.

National engagierten sich unsere MitarbeiterInnen bei etlichen Arbeitskreisen der DWA und der Wasserchemischen Gesellschaft der GdCh sowie international in den NORMAN Arbeitskreisen auf europäischer Ebene und bei der International Water Association (IWA).

Im Namen meiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter möchte ich mich ganz herzlich für Ihre Unterstützung und 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. Besonders dankbar sind wir dem Förderverein für die Bereitstellung eines neuen Fahrzeuges im letzten Jahr! 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.

lhr,

Joff Jawa





BRIGITTE HELMREICH (PROF. DR. HABIL.)

089/28913719 B.HELMREICH@ TUM.DE



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

089/28913704 C.LINDENBLATT@ TUM.DE

#### Versuchsanstalt des Lehrstuhls

Die Versuchsanstalt des Lehrstuhls führt Prozessvalidierungen für Trinkwasser- und Abwasseraufbereitungen im Labor- und Pilotmaßstab durch und übernimmt Material-, Anlagen- und Verfahrensuntersuchungen sowie Auftragsarbeiten für Industrie, mittelständische Betriebe und Behörden in Forschung und Entwicklung. Sie verfügt über ein Technikum (400 m²) 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 (Abbildung 1).

Ebenso hat die Versuchsanstalt verschiedenste Möglichkeiten, Behandlungsanlagen für Dachund 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 Abbildung 1: Nanofiltrationspilotanlage Zuge dessen werden auch klassische Siebana-



(80 L/min)

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





CLAUS LINDENBLATT (DIPL.-ING.)

089/28913704 C.LINDENBLATT@ TUM.DE

#### Optimierung der biologischen Abbaubarkeit von Produktionsabwässern der chemischen Industrie

Zur Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit stehen in der Versuchsanstalt verschiedene Methoden zur Verfügung. Dazu gehören als aerobe statische Verfahren der "Hemmtest nach Offhaus", der "Zahn-Wellens-Test" (DEV L 25) sowie die Methoden der kontinuierlichen dynamischen Kläranlagensimulation nach DEV L 41 oder der zyklischen SBR-Technik. Für statische anaerobe Tests kommt ein Gerät zur Bestimmung des Bio-Methan-Potentials (AMPTS, VDI 4630) zum Einsatz.

Während eines Projekts zur Optimierung der biologischen Abbaubarkeit wurden Prozesswässer aus der chemischen Produktion mittels Ultraschall, sowie UV-Bestrahlung (OH-Radikale) und auch Ozonierung vorbehandelt und die Wirkung auf den biologischen Abbau bewertet. Es zeigte sich, dass bei den vorbehandelten hoch kohlenstoffhaltigen Industrieabwässern (CSB ~ 430 g/L), im statischen Test und in entsprechenden Verdünnungen, keine signifikanten Effekte nachweisbar waren. Der biologische Abbau nach der Ozonierung erfolgte sogar etwas verzögert. Aus wiederholten statisch aeroben Tests ergab sich, dass bei einem Substanzanteil von mehr als 1/100 der DOC auch ohne Vorbehandlung um mehr als 98 % abbaubar ist. Im statisch anaeroben Test konnte eine übliche, plausible Methanbildung erreicht werden, wobei das Optimum des Abbaus bei einem Co-Substrat-Anteil von 1/50 lag.

Die längerfristige Stabilität des biologischen Abbaus wurde in einem dynamischen Simulationstest während einer Dauer von 12 Wochen in einem SBR (~ 125 L Volumen) getestet. Als Trägermedium (Matrix) diente der Ablauf der Werkskläranlage, der in IPC-Containern angeliefert wurde. Das zu behandelnde Prozesswasser wurde im Verhältnis von etwa 1/140 in Intervallen dem SBR zugegeben. Mit den ergänzten Stickstoff-, Kalium- und Phosphorsalzen wurden die Nährstoffverhältnisse angehoben und mittels Dosierung von verschiedenen getesteten Fällmitteln konnte eine Ablaufkonzentration von weniger als 50 % des CSB-Grenzwertes gehalten werden. Aus den Bilanzierungen unterschiedlicher Messphasen ergaben sich die optimalen Betriebsbedingungen bei einer hydraulischen Verweilzeit von zwei Tagen mit Schlammbelastungen zwischen 0,6 bis 0,8 gcsB/(gTs d) und einem Schlammalter von ~ 5 d. Dieses untersuchte und hauptsächlich Essigsäure enthaltende Prozesswasser könnte bezüglich des CSB Abbaus in kleiner Dosierung der Werkskläranlage zugegeben werden.



CAROLIN HEIM (DR. RER. NAT.)
089/28913709



THOMAS LETZEL (PROF. DR. HABIL.)

089/28913780 T.LETZEL@ TUM.DE



BASTIAN HERZOG (DR. RER. NAT.)

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 Summenpara-meter wie CSB und BSB (Abbildung 2) können organische Verbindungen mittels 3-D Fluoreszenz und UV Spektroskopie genauer untersucht und über den TOC auch quantitativ erfasst werden. Für die Bestimmung von Anionen stehen sowohl photometrische Testmethoden als auch eine Ionenchromatographie zur Verfügung, die Analytik von Metallen erfolgt mittels Atomabsorptionsspektroskopie.

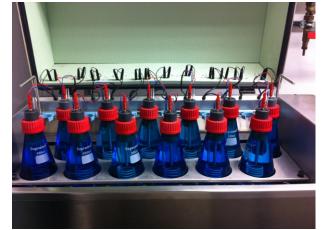


Abbildung 2: Bestimmung des biologischen Sauerstoffbedarfs im Sapromat

In der Spurenstoffanalytik stehen für nown Screening Messungen GC-MS, sowie LC-MS/MS Systeme zur Verfügung. 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 Moni-

In der Spurenstoffanalytik stehen für Target, Suspects, Hidden-Target und Unknown Screening Messungen GC-MS, (LC-)LC-TOF-MS (TOF-MS in Abbildung 3),



Abbildung 3: TOF-MS System für die organische Spurenstoffanalytik



toring von Abbau- und Transformationsprozessen in ingenieurtechnischen und natürlichen Wassersystemen und anderen molekularen Prozessen.

Das Mikro- und Molekularbiologische Labor ist sowohl spezialisiert auf klassische mikrobiologische Kultivierungsmethoden zur Wasseranalyse, als auch auf die An-

wendung moderner molekularbiologischer Techniken. Die Quantifizierung von fäkalen Indikatororga-nismen 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 werden molekularbiologische Techni-



Abbildung 4: PCR und qPCR Systeme zur Vervielfältigung und Quantifizierung von verschiedenen Genen

ken wie PCR und quantitative PCR (real-time PCR, qPCR, Abbildung 4) eingesetzt, um verschiedene Antibiotika-Resistenz-Gene zu detektieren, oder um bestimmte Bakteriengruppen quantitativ nachzuweisen. Des Weiteren wird die Fluoreszenz *insitu* 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 Bakte-

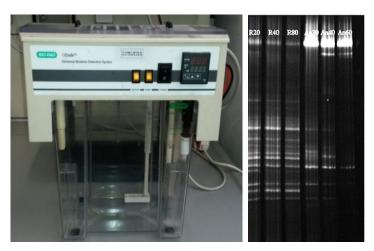


Abbildung 5: Denaturierende Gradientengelelektrophorese zur Analyse der Diversität von mikrobiellen Gemeinschaften

rien, methanogene und sulfatreduzierende Bakterien. Zur weitergehenden phylogenetischen Charakterisierung mikrobieller Gemeinschaften werden außerdem PCR-DGGE (PCR gekoppelt mit denaturierender Gradientengelelektrophorese, Abbildung 5) und next-generation sequencing Techniken angewendet.





KONRAD KOCH (DR.-ING.)

089/28913706 K.KOCH@TUM.DE

FÖRDERUNG: INTERNATIONAL GRADUATE SCHOOL OF SCI-ENCE AND ENGI-**NEERING:** BAY. STAATS-MI-NISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND MEDIEN, ENERGIE & TECHNOLOGIE; BUNDESMINISTE-RIUM FÜR WIRT-SCHAFT UND ENERGIE; DEUTSCHER AKA-DEMISCHER AUS-**TAUSCHDIENST** 

KOOPERATION:
EAWAG, SCHWEIZ;
STANFORD UNIVERSITY, USA;
THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND,
AUSTRALIEN;
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 kommunalen Elektrizität 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 Entwicklung und Erprobung neuer energiesparender Verfahren in der Abwasserreinigung, wie beispielsweise der Stickstoffentfernung aus Zentratabwässern mittels Deammonifikation. Die Energieeinsparung wird mitunter jedoch mit der möglichen Emission klimarelevanter Spurengase (z.B. Lachgas) erkauft, welche sich negativ auf den Fußabdruck des gesamten Verfahrens auswirken können. Daher werden Verfahren nicht nur energetisch optimiert, sondern auch bezüglich ihrer Emissionen beurteilt.

Auch die Steigerung der Effizienz des anaeroben Abbaus von Reststoffen steht im Fokus. Dabei werden innovative Verfahren (Abbildung 6 zeigt einen Versuchsstand

zur Klärschlammbehandlung mittels Ultraschall) auf ihre Eignung getestet, wobei explizit die Übertragbarkeit vom Laborin den Praxismaßstab eine zentrale Rolle spielt. In konkreten Fall werden final drei ausgewählte Kläranlagen mit den Ultraschallmodulen ausgestattet und dieser Zeitraum wissenschaftlich begleitet.



Abbildung 6: Klärschlammbehandlung mittels Ultraschall

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 ortsund zeitunabhängig im Gasnetz speichern. Bisherige Erfahrungen deuten darauf hin, dass dies unter thermophilen Bedingungen im Rieselbettreaktor schnell und effizient möglich ist.





CARMEN LEIX (DIPL.-ING.)

089/28913797 C.I FIX@TUM.DF

FÖRDERUNG:
INTERNATIONAL
GRADUATE
SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING (IGSSE);
DEUTSCHER AKA-

**DEMISCHER AUS-**

LANDSDIENST

(DAAD)

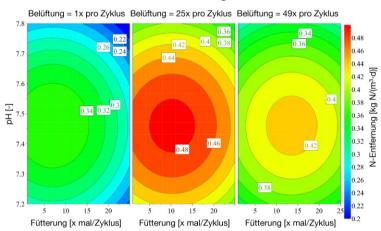
KOOPERATION:
LEHRSTUHL FÜR
ANALYTISCHE
CHEMIE, TUM;
EAWAG, SCHWEIZ;
THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND
(UQ), AUSTRALIEN

## Optimierung der Abbauleistung und Reduktion der Lachgasemissionen in der Deammonifikation (PANOWA)

Aus der Entwässerung des Klärschlammes anfallendes, stark ammoniumhaltiges Zentrat kann im Seitenstrom mit Hilfe der Deammonifikation vorbehandelt werden, um die Stickstoffrückbelastung der Kläranlage zu reduzieren. Weitere Vorteile im Vergleich zur Nitrifikation/Denitrifikation sind deutlich reduzierte Kosten für Energie, Additive sowie die Schlammentsorgung.

Allerdings kann während des Prozesses Lachgas (N<sub>2</sub>O) entstehen und mit der Abluft emittiert werden. Auf Grund des 298-mal höheren Treibhausgaspotenzials im Vergleich zu Kohlenstoffdioxid und der Ozonschicht-zerstörenden Wirkung sollten diese Emissionen weitestgehend vermieden werden. Für einen möglichst ökologischen sowie ökonomischen Prozess ist daher die Entwicklung von effektiven N<sub>2</sub>O-Vermeidungsstrategien und Möglichkeiten zur Optimierung der Abbauleistung von großer Bedeutung.

Dazu wurden Versuche durchgeführt, um den Einfluss dreier Einflussfaktoren



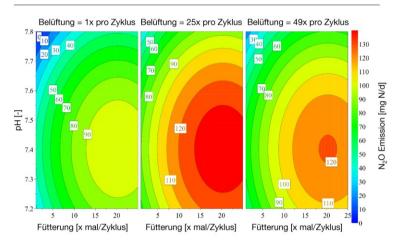


Abbildung 7: Response contour plot für die Einflussfaktoren pH-Wert, Fütterungs- und Belüftungsstrategie auf die Stickstoffentfernung (oben) und die N<sub>2</sub>O-Emissionen (unten)

Belüftungs-(pH-Wert. und Fütterungsstrategie) der einstufigen Deammonifikation im Hinblick auf die Stickstoffentfernung sowie die Lachgasemissionen mit Hilfe eines experimentellen Versuchsplans zu untersuchen. Basierend auf diesen Ergebnissen konnten Modelle entwickelt werden, die die Stickstoffentfersowie die nuna N<sub>2</sub>O-Emission vorhersagen können und dadurch eine Optimierung Prozesses ermöglichen (z.B. kontinuierliche Befür reduzierte lüftung N<sub>2</sub>O-Emissionen). Die Ergebnisse zeigten zudem, dass sich die optimalen Bedingungen für beide Zielgrößen unterscheiden (Abbildung 7).





MAX WEIBBACH (M. Sc.)

089/28913712 MAX.WEISSBACH@ TUM.DF

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

Lachgas (N<sub>2</sub>O) ist ein natürliches Intermediat des biologischen Stoffwechsels und wird daher auch in biologischen Verfahren als Nebenprodukt der Abwasserreinigung imitiert. Durch seine CO<sub>2</sub>-Äquivalenz von 298 ist N<sub>2</sub>O ein sehr potentes Treibhausgas, welches außerdem die Zersetzung des stratosphärischen Ozons katalysiert. Zum Klimaschutz sind daher gegenwärtig Vermeidungsstrategien Gegenstand der Forschung (Leix et al., 2016). Da aber N<sub>2</sub>O durch geringe Aktivierungsenergie

exotherm zu molekularem Stickstoff zerfällt, besteht alternativ die Möglichkeit der aktiven Erzeugung, Abtrennung und energetischer Nutzung in Verbrennungsprozessen, beispielsweise mit Klärgasen aus der anaeroben Stabilisierung von Klärschlämmen. Strategien zur effizienten biologischen Lachgasproduktion, technische Prozessintegration und Messtechniken werden daher mit dem Fokus auf ein mögliches Upscaling untersucht. Dazu wurde zunächst der von



Abbildung 8: Automatisierte Bioreaktor zur Untersuchung des CANDO Prozesses

den Kollegen an der Stanford University entwickelte "Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation" (CANDO) Prozess am Lehrstuhl in einem zweitstufigen Bioreaktorsystem etabliert (Abbildung 8). Aufbauend auf die bisherigen Arbeiten der Kollegen in den USA wurde im kontinuierlichen Betrieb mit kommunalem Abwasser gearbeitet, wobei in zwei unterschiedlichen Betriebsstrategien gezeigt werden konnte, dass eine Umsetzung von etwa 50% bis 70% der eingehenden Stickstofffracht zu Lachgas möglich ist.

FÖRDERUNG:
INTERNATIONAL
GRADUATE
SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING (IGSSE);
BAYRISCH-KALIFORNISCHES
HOCHSCHULZENTRUM (BACATEC)

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

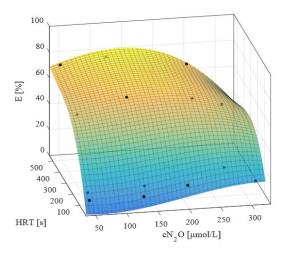


Abbildung 9: N₂O-Desorptionseffizienz einer Gasmembran unter verschiedenen Betriebseinstellungen

Aufgrund der guten Löslichkeit von N<sub>2</sub>O werden zur energetischen Nutzbarmachung integrierbare Desorptionstechniken zur Überführung des N<sub>2</sub>O in die Gasphase untersucht. Ein vielversprechender Ansatz besteht in der Nutzung von Gasmembranen, mit denen 99% der umgesetzten Frachten in die Gasphase überführt werden konnten (Abbildung 9). In den jeweiligen Untersuchungen wird ein photoakustisches Messsystem mit hoher zeitlicher Auflösung des Lehrstuhls für Analytische Chemie zur Online-Messung von N<sub>2</sub>O erprobt.





SELAMAWIT MULUGETA (M Sc.)

089/28913707 SG.MULUGETA@ TUM.DE

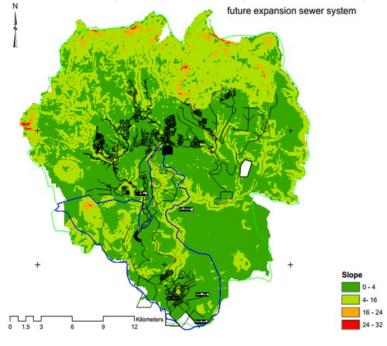
## Multisektoraler Ansatz für das Abwassermanagement in Addis Abeba, Äthiopien

Addis Abeba hat derzeit 3,5 Millionen Einwohner und erstreckt sich über eine Fläche von 540 km². 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 m³/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 m³/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 dazugehöriger Kläranlage. Diese fünf Kläranlagen sollen zukünftig eine Behandlungs-

kapazität von insgesamt 366.000 m³/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.

Im Rahmen einer Umfrage wurde die Bereitschaft der Bevölkerung bezüglich dezentralem



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 resilienter Systeme zur dezentralen Abwasserbehandlung wird hoffentlich dazu beitragen, die Lebensbedingungen in diesem afrikanischen Land weiter zu verbessern.

FÖRDERUNG:
ETHIOPIAN MINISTRY OF EDUCATION;
DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCHDIENST

KOOPERATION: ADDIS ABABA SCI-ENCE AND TECH-NOLOGY, UNIVER-SITY, ÄTHIOPIEN





DIETMAR STRÜBING (DIPL.-ING.)

089/28913717 D.STRUEBING@ TUM.DE Bedarfsgerechte Energiebereitstellung durch mikrobiologische Methanisierung von H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> in 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. Industrie, Biogasanlagen, BHKW).

Die mikrobiologische Methanisierung wird im Projekt *MikMeth* in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren im halbtechnischen Maßstab (58 I) untersucht (Abbil-

dung 10). Auf Grund der deutlich vergrößerten Kontaktfläche zwischen Gas- und Wasserphase, findet in diesen Reaktoren bereits ohne energieaufwändige Gaseinpressung ein verbesserter Gasübergang in die Flüssigphase, insbesondere für den schwer löslichen Wasserstoff, statt. Es konnten bereits ein stabiler Langzeitbetrieb unter thermophilen Bedingungen sowie im Vergleich mit anderen Reaktorkonzepten hohe Methanbildungsraten bei Methangehalten größer 95 Vol.% demonstriert werden. Für die praktische Anwendbarkeit und die Effizienz des Verfahrens werden derzeit der Mikro- und Makronährstoffbedarf der methanogenen Archaeen sowie die flexible Betriebsweise des Rieselbettreaktors und die Auswirkungen potentieller längerer Ruheperioden ohne Gaszufuhr untersucht. Eine besondere Herausforderung stellt insbesondere die Verdünnung des Mediums durch die reaktionsbedingte Wasserproduktion dar.

Die parallelen mikrobiologischen Untersuchungen an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 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 Ansied
Abbildung 1 im halbtechnicken im halbtechnicken der Archaeen als Biofilm im Rieselbett wurde beobachtet.

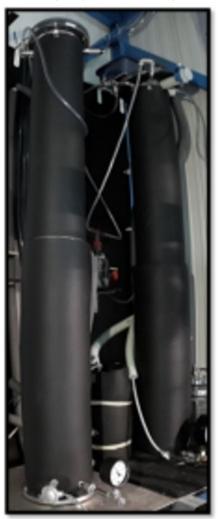


Abbildung 10: Rieselbettreaktoren im halbtechnischen Maßstab

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
STAATS-MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND MEDIEN, ENERGIE
UND TECHNOLOGIE

KOOPERATION:
BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR
LANDWIRTSCHAFT





THOMAS LIPPERT (M.Sc.)

089/28913716 THOMAS.LIPPERT@ TUM.DE

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND
ENERGIE

KOOPERATION:
BANDELIN
ELECTRONIC;
GFM BERATENDE
INGENIEURE

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

Kläranlagen sind die größten kommunalen Energieverbraucher. Obwohl im Abwasser theoretisch ausreichend Energie für den gesamten Reinigungsprozess vorhanden wäre, wird häufig nur ein Bruchteil der chemischen Energie der Abwasserinhaltsstoffe zurückgewonnen. Die Energierückgewinnung erfolgt in der Regel über die anaerobe Behandlung des bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlammes. Typische Abbaugrade ohne eine Schlammvorbehandlung liegen jedoch nur bei etwa 50% bis 60%.

Zentrales Ziel des Projektes UltraMethan ist daher die Verbesserung des anaeroben Abbaus durch den Einsatz von Ultraschall. Durch ultraschall-induzierte Kavitation

können Klärschlammflocken zerkleinert, Mikroorganismenzellen aufgebrochen und intrazelluläre Enzyme freigesetzt werden. Dies führt zu einem verbesserten mikrobiologischen Abbau und in der Folge zu einer gesteigerten Faulgasausbeute bei reduzierten Restschlammmengen. Betriebserfahrungen jedoch zeigen, dass derzeit am Markt befindliche Ultraschalleinheiten vergleichsweise störanfällig sind. Im Projekt UltraMethan wird daher die Nutzung eines innovativen Spaltreaktors mit geringerer Störanfälligkeit untersucht. Das Ziel des Projektes ist dabei die Maximierung der Methanausbeute bei gleichzeitiger Minimierung des Strombedarfs durch Optimierung des Reaktordesigns als auch der Prozessparameter (z.B. Beschallungsintensität, und -amplitude, Schlammcharakteristika).



-dauer Abbildung 11: Kontinuierlich betriebene Biogasreaktoren mit Ultraschall-Testsystemen

Die Effektivität der Behandlung wird sowohl in BMP Tests, als auch in einem kontinuierlich betriebenen Reaktorsystem (Abbildung 11) untersucht. Basierend auf den Versuchen im Labormaßstab, werden mehrere ausgewählte Kläranlagen mit dem Ultraschallsystem ausgestattet, um belastbare Daten aus der Praxis zu erhalten. Mit Ende des Projektes werden die wichtigsten Ergebnisse in einem Leitfaden zusammengefasst.





THOMAS LETZEL (PROF. DR.)

089/28913780 T.LETZEL@TUM.DE



JOHANNA GRABMANN (PD DR. HABIL.)

089/28913709 J.GRASSMANN@ TUM.DE

## Arbeitsgruppe Analytische Forschungsgruppe (AFG)

Die Analytische Forschungsgruppe (AFG) besteht momentan - einschließlich externer Doktoranden - aus 10 Mitarbeitern (sowie typischerweise Forschungspraktikanten, Bachelor- und Masterstudenten) und finanziert sich dabei aus Drittmitteln (wie BMBF, EU, BFS, AiF/BMWi, Stiftungen und Industrieforschung).

Die Arbeitsschwerpunkte umfassen derzeit 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 liegt hierbei auf der chemischen Analyse durch massenspektrometrische Detektion bei gleichzeitiger Funktionsanalyse.

Ausgewählte Forschungsschwerpunkte im vergangenen Jahr 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 Biofunktionalitiät bei der Wasserbehandlung sowie in pflanzlichen Extrakten und in Getränken.

Abschließend seien noch die Projekte in der ehrenamtlichen Initiative "Wissenschaft vermitteln" erwähnt, die das Konzept der jugendbezogenen Wissensvermittlung verfolgt -nicht um zu lehren, sondern um Interesse zu wecken (http://www.sww.bgu.tum.de/wissenschaft-vermitteln/).





CHRISTINE
KAUFMANN
(DIPL.-BIOL.)
089/28913716
C.KAUFMANN@
TUM.DE



JOHANNA GRABMANN (PD DR. HABIL.) 089/28913709 J.GRASSMANN@ TUM.DE



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

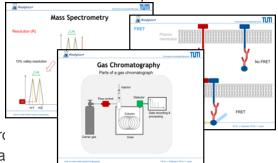
FUNDING: TUM-Lehrfond

KOOPERATION: HSWT

## Projektabschluss: "Entwicklung einer e-learning Plattform im Bereich der Analytischen Chemie (Analytik+)"

Das bereits in den Jahresberichten 2014 und 2015 vorgestellte Projekt "Analytik+" konnte sich die zweimalige Unterstützung des TUM Lehrfond sichern und wurde im September 2016 erfolgreich abgeschlossen. Analytics+ richtet sich an Studierende, Schüler und Auszubildende von Universitäten und Berufsschulen mit Interesse an (Bio-) Analytik. Voraussetzung für einen Zugang ist derzeit eine TUM oder LMU Kennung oder die Einrichtung eines Gastzugangs für externe Interessenten. **Level 1** der Plattform behandelt chemisches Grundlagenwissen und enthält Inhalte zu (bio-) analytischen Techniken, übersichtlich und verständlich in Graphik- und Textform

dargestellt. Es umfasst neben der Beschreibung diverser chromatographischer Trennmethoden ebenfalls Material zu Elektrophorese und Immunoassays sowie vieles mehr. Die Einbindung verschiedener Workflows, z.B. zur Identifizierung unbekannter Moleküle in Umweltproben, gibt zusätzlich einen Einblick in reale a



tische Arbeit. Durch die Erweiterung mit externen Inhalten, wie "The Virtual Laboratory" von Dr. Stefan Asam [1] oder Tutorials von Firmen wie Agilent Technologies, GE Healthcare Life Sciences oder Knauer Wissenschaftliche Geräte, kann ein ganz-



heitliches und selbstständiges Lernen erreicht werden. Level 2 dient der Wiederholung und Vertiefung angeeigneten Wissens. Die geschieht u.a. in Form eines Wörterbuches mit den wichtigsten Begrifflichkeiten. In Zusammenarbeit mit Informatikern der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf wurden außerdem Tools, wie der "HPLC Simulator" [2] oder ein Entscheidungsschema zur Festphasen-

extraktion, für die Plattform etabliert. Diese erlauben dem Nutzer das spielerische Kennenlernen von Chromatographie und Probenaufbereitung. In **Level 3** wird das Gelernte in Form von Quizfragen abgefragt. Der Lernende erhält außerdem die Möglichkeit Chromatographie und Festphasenextraktion virtuell durchzuführen. Das in Level 2 erlangte Wissen wird hierzu in Form einer Testsituation nochmals aufgegriffen. Unmittelbares Feedback bei jedem Schritt erlaubt eine sofortige Anpassung der Einstellungen bzw. Auswahl und verstärkt so den Lerneffekt.

- [1] http://vimp.wzw.tum.de/videos
- [2] http://www.hplcsimulator.org





THOMAS LETZEL (PROF. DR.)

089/28913780 T.LETZEL@TUM.DE



Sylvia Grosse

089/28913733 S.GROSSE@ TUM.DE

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

Das Projekt FOR-IDENT ist ein zweijähriges 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 mittelbis unpolare Moleküle (RPLC).

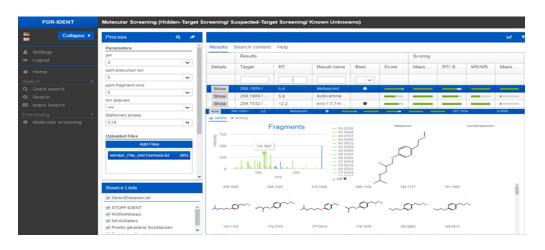


Abbildung 12: Darstellung der FOR-IDENT Plattform mit Scoring Angaben und MSMS Fragmentvergleich (mit dem MetFrag Tool)

Die Anwendung der im RISK-IDENT Projekt entwickelten Stoffdatenbank STOFF-IDENT spielt dabei eine zentrale Rolle. Hiermit können - durch verschiedene Filtermöglichkeiten - Vorschläge möglicher Analyten in einer Wasserprobe vorgenommen werden. Weiterhin sind auf der Arbeitsplattform derzeit analytische MS/MS Datenbanken wie MassBank und Vorhersagewerkzeuge, wie MetFrag integriert. Dies erlaubt in einem Zuge die Nutzung von chemischen bzw. physiko-chemischen sowie analytischen Metadaten. In dem Projekt FOR-IDENT sind weitere Anbindungen wie ökotoxikologische Datenbanken geplant.

Im November 2016 wurde von dem Konsortium in Zusammenarbeit mit internationalen Partnern der SWEMSA16 Workshop ausgerichtet. Die über 100 Teilnehmer erörterten und diskutierten dabei bewährte und neue Strategien und Workflows im Bereich des Non-Target Screenings.

FÖRDERUNG: BMBF- RISKWA (02WRS1354)

KOOPERATION: BWB, HSWT, LFU, LW, TUM





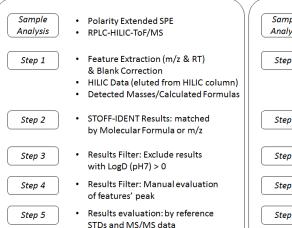
Sofia Veloutsou (MSc.)

089/28913707 SOFIA.VELOUT-SOU@TUM.DE

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

Die instrumentelle Analytik zur Untersuchung organischer Moleküle hat sich in den letzten Jahren sehr stark entwickelt, 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.

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. Oberflächengewässer, wie die in unserer derzeitigen Studie verwendeten saisonalen Wässer aus 13 Probenahmestellen der Isar und deren Zuläufe, werden beispielsweise mit RPLC-HILIC-API-MS vermessen. So können 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.



Polarity Extended SPF Analysis RPLC-HILIC-ToF/MS Feature Extraction (m/z & RT) & Blank Correction RP Data (eluted from RPLC column) Detected Masses/Calculated Formulas STOFF-IDENT Results: matched Step 2 by Molecular Formula or m/z Results Filter: Use of RTI Step 3 Results Filter: Manual evaluation Step 4 of features' peak Results evaluation: by reference Step 5 STDs and MS/MS data

Abbildung 13: Hidden Target Screening Workflows für HILIC und RPLC Datensätze

PHD SCHOLAR-SHIP: BAYERISCHE FOR-SCHUNGSSTIF-TUNG





STEFAN BIEBER (M.Sc.)

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. Der Nachweis polarer bis sehr polarer Substanzen ist mit Umkehrphasenchromatographie nur schwer möglich. Da aber auch sehr polare Substanzen in Gewässern vorhanden sind und diese verstärkt Bedeutung für die Gewässerqualität haben, müssen neue Techniken entwickelt und bewertet werden, die den Nachweis dieser Substanzen ermöglichen.

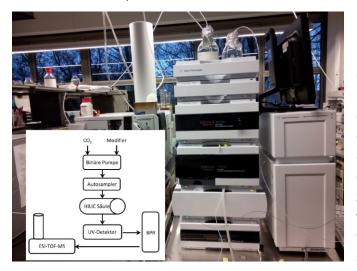


Abbildung 14: SFC Anlage mit massenspektrometrischer Detektion

Eine solche Technik ist die superkritische Fluid-chromatographie (SFC). Zur Trennung von Substanzen wird hierbei als Laufmittel 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 (Abbildung 14). Es konnte bereits gezeigt werden, dass die SFC sehr

zusätzlich auch un- bis mittelpolare Substanzen trennen kann. 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. Um das Verständnis für den Zusammenhang und Einfluss unterschiedlicher Faktoren zu verbessern, werden derzeit intensive Studien am Lehrstuhl durchgeführt.

gut für den Nachweis von polaren bis sehr polaren Substanzen einsetzbar ist, aber

KOOPERATION:
AGILENT TECHNO-LOGIES;
DIVERSE SÄULEN-HERSTELLER





LARA STADLMAIR (DIPL.-LMCHEM.)

089/28913711 LARA.STADLMAIR@ TUM.DE



THERESE BURKHARDT (M.Sc.)

089/28913711 T.BURKHARDT@ TUM.DE

# Die massenspektrometrische Detektion enzymatischer Reaktionen – Charakterisierung, Miniaturisierung und die Anwendung in umweltrelevanten Proben

Organische Spurenstoffe (TOrC) sind kohlenstoffhaltige Verbindungen, die in Konzentrationen zwischen 10 und 100 ng/L vorkommen und ubiquitär in der Umwelt insbesondere in aquatischen Ökosystemen vorhanden sind. Zu diesen Stoffen zählen vor allem Substanzen anthropogenen Ursprungs, wie Pharmazeutika, Pestizide oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs). Aufgrund der unvollständigen Entfernung während der Abwasserbehandlung und bedingt durch Persistenz, Bioakkumulation sowie Human- und Ökotoxizität besteht die Notwendigkeit ökonomische Techniken zur effektiven Minderung bzw. vollständigen Entfernung zu entwickeln. Enzyme, die aufgrund ihres breiten Substratspektrums sowie der Diversität der katalysierenden Reaktionen geeignete Biokatalysatoren darstellen, bieten die Möglichkeit zur Entwicklung umweltrelevanter Technologien, insbesondere biologischer Abwasserbehandlungsprozesse. Dabei wurden Peroxidasen oder Laccasen bereits erfolgreich zum Abbau von Spurenstoffen eingesetzt. Es wird zudem angenommen, dass auch Monooxygenasen, Amidasen oder Carboxylesterasen in der Lage sind, solche Stoffe zu metabolisieren.

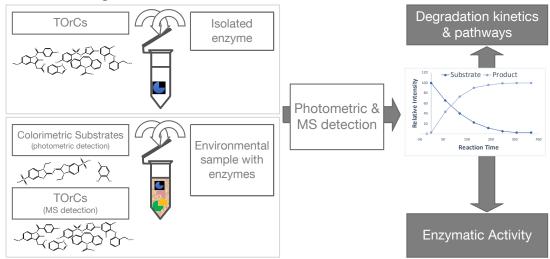


Abbildung 15: Untersuchung enzymatischer Reaktionen in Modelsystemen und Umweltproben

Zusätzlich zur Nutzung spektroskopischer Methoden, wie z. B. Photometrie und Fluoreszenz besteht die Möglichkeit enzymatische Reaktionen einer direkten Kopplung mit der Massenspektrometrie. Diese Technik ermöglicht eine kosteneffiziente Messung unter Verwendung physiologischer Substrate und erlaubt die simultane Detektion aller ionisierbaren Assay-Komponenten.

## Bestimmung der Enzymaktivität in Umweltproben (Therese Burkhardt)

Um die Vorteile enzymatischer Reaktionen zu nutzen, muss zunächst eine Methode zur Bestimmung der Enzymaktivität etabliert werden. Aus diesem Grund wurden



zwei verschiedene Ansätze – *in situ* Messung und Extraktion - mit anschließender photometrischer Detektion der Substratumsetzung untersucht. Um dabei zwischen realer Enzymaktivität und der durch andere Faktoren hervorgerufener Substratoxidation zu unterscheiden, ist eine entsprechende Negativ-Kontrolle notwendig. Zusätzlich soll die enzymatische Umsetzung von TOrCs in biologischen Filtrationssystemen mittels direkter Kopplung mit massenspektrometrischer Detektion untersucht werden.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Substratoxidation von Faktoren wie der verwendeten Methode, pH-Wert, Substrat und dem verwendeten Co-Substrat abhängig ist. Aufgrund der Komplexität des untersuchten Systems, kann zum jetzigen Zeitpunkt keine generelle Aussage bezüglich einer optimalen Negativ-Kontrolle gemacht werden. Die Methode zur Untersuchung der Transformation von TOrCs nach Extraktion mittels Massenspektrometrie wurde bereits erfolgreich etabliert.

Eine optimierte photometrische Methode in Kombination mit einer entsprechenden Negativ-Kontrolle soll die Basis für die Beurteilung der enzymatischen Aktivität in biologischen Filtrationssystemen darstellen und bietet weitergehend die Möglichkeit, die Transformation von Spurenstoffen in diesen Systemen zu untersuchen.

## Enzymatische Transformation umweltrelevanter organische Spurenstoffe (Lara Stadlmair)

Die Fähigkeit isolierter Enzyme TOrCs abzubauen wird in *vitro* Enzymassays mittels massenspektrometrischer Technologien untersucht. Zur Detektion der enzymatischen Reaktionen (Abbau und Produktbildung) werden zwei verschiedene Injektionsmethoden verwendet. In einer konventionellen Spritzenpumpeninjektion werden Aliquote der Enzym(e)-TOrC(s)-Mischung in bestimmten Zeitintervallen genommen und die Reaktion mittels organischem Lösungsmittel gestoppt. Die simultane Zugabe eines isotopenmarkierten Referenzstandards dient zur Korrektur möglicher Geräteschwankungen. Zum anderen wird ein NanoESI-Pipettierroboter eingesetzt, der eine Automatisierung und Miniaturisierung der Massenspektrometrie basierten Enzymassays ermöglicht. Die TriVersa NanoMate® dient als externe Ionisationsquelle und kann Reaktionsparameter wie Temperatur und Reaktionszeit automatisiert steuern.

Die Reaktionen werden sowohl im Einzelkomponentensystem, als auch in Mehrkomponentensystemen analysiert. Die Verwendung von mehreren Enzymen kann zum einen eine höhere Abbaueffizienz ermöglichen. Zum anderen liefert der Einsatz einer Vielzahl von Spurenstoffen wichtige Hinweise zu kompetitive Effekte. Die hier erhaltenen Ergebnisse über die Abbaueffizienz und Transformationsmechanismen können zur Entwicklung geeigneter Technologien und zum Verständnis des chemischen Verhaltens von Spurenstoffen insbesondere in der Abwasserbehandlung beitragen.





BRIGITTE
HELMREICH
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913719 B.HELMREICH@ TUM.DE

## Arbeitsgruppe Kanalnetz- und Regenwasserbewirtschaftung

In diesem Jahr hat sich die Arbeitsgruppe schwerpunktmäßig mit stofflichen Belastungen aus den Regenabflüssen von Verkehrsflächen und Metalldächern sowie deren Möglichkeit einer dezentralen Behandlung beschäftigt. In diesem Zusammenhang war die Arbeitsgruppe sehr erfolgreich im Publizieren von Ergebnissen aus der Promotionsarbeit von Dr. Maximilian Huber. Insbesondere mit einem kritischen Review zum Thema Belastung von Verkehrsflächenabflüssen mit Schwermetallen konnte eine weltweite Zusammenstellung zu Aufkommensrelevanz, Einflussfaktoren und Verteilung gemacht werden. Der kritische Review wird bereits als häufig zitierter Artikel gehandelt. Die Höhe der Belastung von Verkehrsflächenabflüssen hängt insbesondere von ortsspezifischen Faktoren, die sich aus den kontinuierli-



Abbildung 16: Einbau einer Behandlungsanlage für Verkehrsflächenabflüsse

chen Eigenschaften des Einzugsgebiets und den klimatischen Bedingungen zusammensetzen, und methodikspezifischen Einflussfaktoren ab. Diese bestimmen auch die ermittelte Verteilung der Schwermetalle zwischen der gelösten und der partikulären Phase. Diese Unterscheidung ist besonders für die Beurteilung der Toxizität des Niederschlagsabflusses sowie für dessen Behandlung in weitergehenden Behandlungsanlagen entscheidend.

Ob Oberböden in Versickerungsmulden einen ausreichenden Schutz für das Grundwasser bieten, wenn die Regenwasserabflüsse von Metalldächern versickert werden, wurde im Rahmen einer umfangreichen Beprobung an vier Versickerungsmulden geklärt.





BRIGITTE HELMREICH (PROF. DR. HABIL.)

089/28913719 B.HELMREICH@ TUM.DE

#### Erfahrungen zur stofflichen Belastung von Versickerungsmulden an Zinkdachabflüssen

Die Niederschlagsabflüsse von Zinkdächern sind stofflich belastet und müssen vor einer Einleitung in das Grundwassersystem behandelt werden. Als dezentrale Vorbehandlung sind in Deutschland Oberböden von Versickerungsmulden nach DWA-A138 und DWA-M 153 anerkannt. In der Regel werden die Oberböden trotz langjährigem Betrieb jedoch nicht ausgetauscht oder unsachgemäß gepflegt. Ebenso ist zu erwarten, dass die Versickerungsmulden ungleichmäßig mit den Niederschlagsabflüssen und damit mit den Schwermetallkonzentrationen beaufschlagt werden, da das Fallrohr i.d.R. an einem Punkt der Mulde (meist der tiefste Punkt) entwässert. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen der Projektarbeit von Frau Vanessa Ebert, B.Sc., vier fünfzehn Jahre alte Versickerungsmulden an einem Zinkdach beprobt. Alle Versickerungsmulden entwässern die gleiche Dachfläche des symmetrischen Daches, das in vier Teilbereiche geteilt ist. Es wurden Bodenroben in Abhängigkeit von der Entfernung vom Fallrohr entnommen und bezüglich ihres Zinkgehaltes analysiert. Dabei wurden die Proben auch in verschiedenen Tiefenfraktionen unterteilt. Bei der Probenahme hat sich gezeigt, dass die in der Planung vorgesehenen 30 cm Schichtdicke in vielen Bereichen - insbesondere in den kriti-



dachabfluss

schen Bereichen am Einlauf der Mulde - nicht vorhanden war; in einigen Zonen waren es sogar weniger als 5 cm. Es zeigt sich, dass die Zinkgehalte im Oberboden mit bis zu 25 g/kg Trockenmasse direkt am Zulauf am höchsten sind. Dort kann sich auch kein Grünbewuchs mehr etablieren, was zu einer Verringerung der Durchlässigkeit führt. Im Zulaufbe-Abbildung 17: Versickerungsmulde an einem Zink-reich ist die Oberbodenschicht mit Zink gesättigt und kann ihre Behand-

lungsfunktion nicht mehr wahrnehmen. Insbesondere in Hinblick auf den Grundwasserschutz sollte ein stärkerer Fokus auf die richtige bauliche Ausführung und die Wartung solcher Anlagen an Metalldachabflüssen gelegt werden, auch in Hinblick auf eine mögliche Einführung der Mantelverordnung in Deutschland, die die Beurteilungswerte drastisch senken wird.

Belasteter Oberboden muss zudem regelmäßig ausgetauscht werden, jedoch ist das nach der gemachten Erfahrung nur in bestimmten Teilbereichen der Mulden notwendig. Insgesamt ist zu diskutieren, ob die Passage über Oberböden von Versickerungsanlagen eine ausreichende Wirksamkeit zur Vorbehandlung von Metalldachabflüssen vor dem Einleiten in das Grundwasser hat. Nicht zuletzt, weil es eine wenig nachhaltige Verlagerung des Problems darstellt, da der Boden als Schadstoffsenke verwendet wird.





BASTIAN HERZOG (DR. RER. NAT.)

089/28913720 B.HERZOG@ TUM.DE

## **Arbeitsgruppe Mikrobielle 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, Abbildung 18) als auch next-generation sequencing Technologien zum Einsatz.



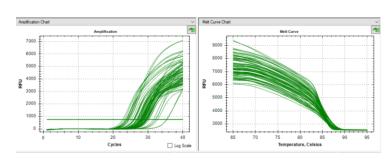


Abbildung 18: qPCR Analyse im 96 well Format zum Nachweis verschiedener Antibiotika Resistenzgene

FÖRDERUNG: BMWI, ZIM, BMBF, EU JPI WATER

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

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, Abbildung



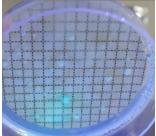


Abbildung 19: Colilert-18 Analysesystem, um schnell und wiederholbar E. coli und Gesamtkoliforme Keime nachzuweisen (links). Nachweis von Pseudomonas aeruginosa auf speziellen Nährböden mittels UV Licht (rechts)



19) oder von pathogenen Bakterien, z.B. Pseudomonas spp. und Leginella spp., werden routinemäßig durchgeführt.

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 (Abbildung 20) werden mit molekularbiologischen Methoden (Abbildung 21) 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 Metatranskriptomanaysen
- Evaluierung der Aktivität und des biologischen Abbaupotentials von Bakterien und bakteriellen Gemeinschaften in verschiedene Systemen mittels Fluorescence in situ Hybridisation (FISH) gekoppelt mit Konfokaler Laser Skanning Mikroskopie (CLSM)
- Detektion und Beobachtung der Ausbreitung von Antibiotika Resistenzgenen in verschiedenen Abwasserbehandlungssystemen mittels (RT)-qPCR

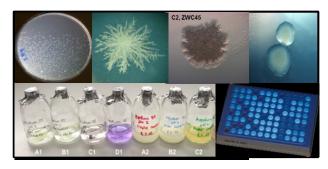


Abbildung 20: Mikrobiologische Kultivierungstechniken auf Festnährböden und als Flüssigkulturen in Serumflaschen (aerob oder anaerob), Kulturfläschchen zur Bestimmung von z.B. E. coli über die MPN (most probable number) Methode oder in Mikrotiterplatten, um verschiedene Mikroorganismen quantifizieren zu können.

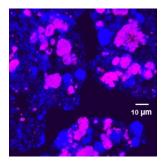


Abbildung 21: CLSM Aufnahme einer Belebtschlammflocke nach FISH Färbung, um die Verteilung der Organismen zu ermitteln. Nitrospirae (magenta, Nitrit oxidierende Bakterien, NOB) und DAPI markierte Bakterien (blau)





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 "Natürliche Aufbereitungsverfahren" gehören:

- die Untersuchung des Einflusses wesentlicher Umwelt- und Betriebsfaktoren 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 oxischen 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 auf den Spurenstoffabbau 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.



Abbildung 22: Aufbau verschiedener Säulenexperimente

KOOPERATION:
HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN;
UNIVERSITÄT TÜBINGEN





KARIN HELLAUER (M.Ed.)

089/28913714 KARIN.HELLAUER@ TUM.DE

#### **Sequentielle 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 (Abbildung 23). 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 wird nun im Rahmen des im Mai 2015 gestarteten Kooperationsprojekts mit der TU Berlin (TUB), der Universität Oldenburg (UO) und den Berliner

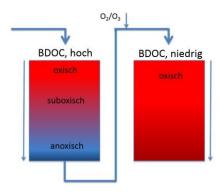


Abbildung 23. Konzept der sequentiellen Grundwasseranreicherung (SMART)

Wasserbetrieben (BWB) auf den Standort Berlin übertragen und validiert.

Neben Untersuchungen mit Säulenversuchen, wurde in Berlin eine Pilotierung in Betrieb genommen. Dazu wurde ein Infiltrationsbecken auf der Insel Baumwerder im Tegeler See mit Uferfiltrat aus den umliegenden Brunnen beschickt (Abbildung



Abbildung 24. Versickerungsbecken auf der Insel Baumwerder, Tegeler See

24). Bei der Infiltration können Redoxbedingungen, die Entfernung von Spurenstoffen und verschiedene Summenparametern über eingebaute Sensoren und Saugkerzen bestimmt werden. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen bestätigen, dass unter anderem vom UBA als gesundheitsrelevant eingestufte Spurenstoffen wie Gabapentin durch die sequentielle Fahrweise besser entfernt werden können als bei der konventionell betriebenen Grundwasseranreicherung.

FÖRDERUNG: BERLINER WAS-SERBETRIEBE

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 kosteneffizienter 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 Langsamsandfiltern mit den hohen Durchsatzraten in klassischen Schnellfiltern verknüpfen. Durch gezielte Einstellung oxischer und oligotropher Bedingungen soll eine Elimination schwer abbaubarer Stoffe ermöglicht werden. Der experimentelle Aufbau mit vier voneinander unabhängigen Filtersystemen ermöglicht eine parallele Untersuchung verschiedener Behandlungsstrategien. 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.



Abbildung 25: Aufbau der Biofilter

FÖRDERUNG: EU JPI WATER

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

Bisherige Ergebnisse zeigen, dass durch Einstellung oxischer 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. Weitere Versuche haben zum Ziel, Möglichkeiten für die Integration oxidativer Verfahren zu untersuchen.





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), granulierte 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 Industriewasserversorgung. 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.DE



VERONIKA ZHITENEVA (M.Sc.)

089/28913705 V.ZHITENEVA@ TUM.DE

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG
UND FORSCHUNG

KOOPERATION: UBA, BFG, BGS UMWELT, HYTECON, CO-PLAN AG, BWB, DHI WASY, TUB, UO, TZW

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

Das vom BMBF geförderte TrinkWave-Verbundvorhaben 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.

Die Schwerpunkte des Verbundvorhabens sind die Inaktivierung von Pathogenen (insbesondere Viren) und Antibiotikaresistenzen, die Entfernung von gesundheitsrelevanten Indikatorchemikalien und Transformationsprodukten, die Entwicklung neuer Leistungsparameter für biologische Aufbereitungsverfahren, sowie sozialwissenschaftliche Ansätze zur Risikokommunikation bei einer Wasserwiederverwendung. Aufbauend auf dem Konzept sequentieller Redoxbedingungen stehen die weitere Effizienzsteigerung für die Etablierung eines Multi-Barrierensystems, die Verkleinerung des physischen Flächenbedarfs, die betriebliche Optimierung, sowie die Etablierung einer adäquaten Prozessüberwachung im Vordergrund. Ergebnisse der halbtechnischen Realisierung an der TUM werden in die Realisierung des SMART 2.0 Verfahrens (Abbildung 26) im Demonstrationsmaßstab in Berlin integriert.

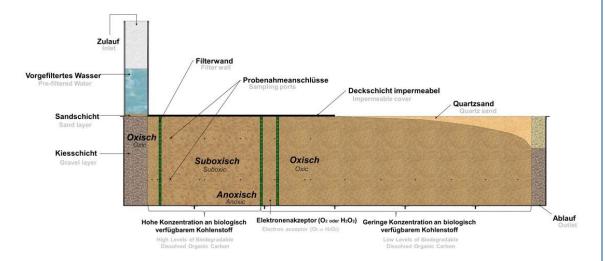


Abbildung 26. Planungsmodell der halbtechnischen Versuchsanlage SMART 2.0 an der TUM.





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

089/28913712 NILS.HORST-MEYER@TUM.DE

FÖRDERUNG: **TECHNISCHE UNI-**VERSITÄT MÜN-CHEN; OSWALD-SCHULZE-STIF-**TUNG** 

KOOPERATION: **COLORADO** SCHOOL OF MINES, USA; TU DELFT, DIE NIEDERLANDE; Université du LUXEMBOURG, LU-XEMBURG; **UNIVERSITY OF NEW SOUTH** WALES, AUSTRAL-**IFN** 

#### **Energieeffiziente Verfahrenskombinationen beim Wasserrecyc**ling 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 loka-

len 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 Abbildung 27:Ultrafiltrationsteststand zur sind alternative Verfahrenskombinationen



Behandlung kommunalen Rohabwassers

des Wasserrecyclings notwendig, die entwickelt und anschließend im Labor-/Pilotmaßstab untersucht werden (Abbildung 27). 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 enthaltene Stickstoff durch den gekoppelten aeroben-anoxischen Stickstoffabbau (CANDO) in Lachgas als Energieträger umgewandelt werden. Membranprozesse übernehmen bei den Alternativkonzepten eine entscheidende Schlüsselrolle. Insbesondere das Fouling und Scaling Verhalten der Membranen

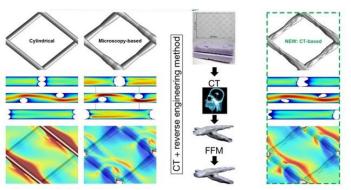


Abbildung 28: Verbesserung der Genauigkeit der "feedspacer" Geometrie und der Einfluss auf die Hydrodynamik und den Stofftransport in Membranmodulen

muss dabei detailliert untersucht werden. Durch den Einsatz von Modellierungssoftware werden zunächst die hydrodynamischen und stofftransportrelevanten Mechanismen abgebildet (Abbildung 28) und daraus Ansätze zur Verminderung der Fouling und Scaling Eigenschaften der Membranen entwickelt und untersucht.





NATALIE MAGALHÃES (M.Sc.)

089/28913797 NC.MAGALHAES@ TUM.DE Bewertung der Wasserwiederverwendung und Energie- und Salzrückgewinnung bei der Behandlung von Haushalts- und Industrieabwässern mit einer Kombination aus biologischen und Membran-Trennverfahren

Die nachhaltige Entwicklung der Welt stellt durch Wasserknappheit - bedingt durch Bevölkerungswachstum, Verstädterung, Klimawandel und Umweltverschmutzung - eine Herausforderung dar. Diese Problematik erfordert den Einsatz von neuartigen Technologien, welche die Wasserversorgung durch den Einsatz alternativer Wasserquellen, beispielsweise aus Haus- und Industrieabwässer, verbessern können.

In der Abwasserbehandlung und Wasserrückgewinnung sind Membrantrennverfahren in den entwickelten Ländern weit verbreitet. Auch in Brasilien gewinnen sie immer mehr an Bedeutung. Folgende Membranverfahren werden am häufigsten im Wassersektor verwendet: Umkehrosmose (RO), welche vorwiegend zur Meerwasserentsalzung und Brackwasseraufbereitung eingesetzt wird; Nanofiltration (NF), angewandt in der Wasseraufbereitung, in der Bleichmittelindustrie und zur Beseitigung von Mikroschadstoffen; Ultrafiltration (UF) und Mikrofiltration (MF), angewandt in Bioreakto-



(MBR) zur Behandlung von Haushalts- und Industrieabwässern, die auf die Wiederverwendung von behandeltem Wasser abzielen.

Ziel dieses Projektes ist es, die technische Realisierbarkeit eines anaeroben MBR in Verbindung mit anschließenden Membrantrennverfahren (Ultrafiltration, Nanofiltration und Elektrodialyse) zu bestätigen und Strategien zur Wasserwiederverwendung, Energieund Salzrückgewinnung bei der Behandlung von zwei Abwasserströmen (kommunales Abwasser Vinasse) zu entwickeln. Die Kombination dieser Prozesse kann als eine versprechende Technologie angesehen werden, durch die häusliche und industrielle Abwasserströme in wertvolle Produkte umgewandelt werden können. Dieses Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Bundesuniversität von Minas Gerais in Brasilien entwickelt.



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

FÖRDERUNG:

KOOPERATION: UFMG, BRASILIEN

Abbildung 30: Anaerober MBR im Pilotmaßstab mit zwei in Reihe gestalteten Reaktoren zur Behandlung von Vinasse

Abbildung 29: RO Membransystem im Labormaßstab zur

Herstellung von Trinkwasser

aus häuslichem Abwasser,

mit flexiblem Aufbau: (a) flat

sheet oder (b) Spiral-Wickel





PHILIPP MICHEL (M.Sc.)

089/28913797 PHILIPP.MICHEL@ TUM.DE

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

Anthropogene Spurenstoffe geraten zunehmend in den Fokus regulativer Organe. Eine Entfernung dieser Stoffe wird in Form einer sogenannten vierten Reinigungsstufe diskutiert und erprobt, wobei die technischen Ansätze dieser Stufe vielfältig sind. Allen Ansätzen gemein ist jedoch der Bedarf eines erhöhten Energieverbrauches. Diese Doktorarbeit befasst sich mit einem neuen Ansatz zur ganzheitlichen Optimierung der Bewertung der Entfernungsrate von Spurenstoffen und der Eintragssituation in den Vorfluter. Ebenso stehen die momentan verfügbaren regulativen Werkzeuge zur Spurenstoffbemessung auf dem Prüfstand.

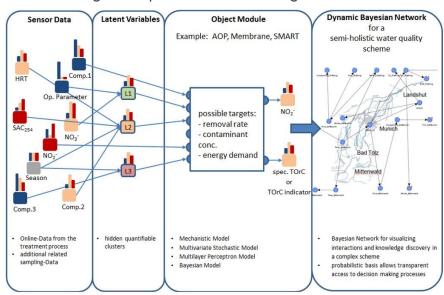


Abbildung 31: Surrogat-Modelle

Im traditionellen Modellierungsansatz werden mittels Surrogatparametern und "Fate-Model" deterministisch die Konzentrationen der Kontaminanten oder die Entfernungsrate in einem System bestimmt. Gerade in Hinblick auf Spurenstoffe

wäre ein solcher Ansatz jedoch oftmals von geringer Aussagekraft, da die individuellen Surrogatparameter nicht leistungsfähig genug sind. Im Modelansatz dieser Arbeit werden die Surrogatparameter statistisch mit zusätzlich generierten Clustern analysiert. Anschließend können mit teils statischen und teils dynamischen Datensätzen Ableitungen zu Entfernungsraten oder Konzentrationen statistisch in Echtzeit abgebildet werden. Hierbei repräsentieren die Cluster noch unbekannte aber quantifizierbare Faktoren die z.B. Eintragssituationen, Bevölkerungsverhalten und Abbauszenarien darstellen können. Dieses Konzept bietet ein großes Potential zur energetischen Optimierung energieintensiver Aufbereitungsverfahren, da die dynamische Steuerung an die individuelle Kontaminationsfracht gebunden ist.

Im Jahr 2016 lag der Hauptfokus in der Erarbeitung eines Reviews zum Thema der regulativen Werkzeuge in Hinblick auf die Umsetzung eines dynamischen und statistischen Ansatzes im Wasserqualitätsmanagement. Neben der Methodenentwicklung wurde eine große Probenahmekampagne auf der Kläranlage München durchgeführt. Diese Messkampagne dient als Grundlage für die weitere Datenanalyse und die Umsetzung stochastische Methode.

FÖRDERUNG: TUM-INSTITUTE OF ADVANCED STUDY; DAAD

KOOPERATION: UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES, AUSTRAL-IEN





DAVID MIKLOS (M.Sc.)

089/28913717 D.MIKI OS@TUM.DF

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT
UND VERBRAUCHERSCHUTZ

KOOPERATION:
BAYERISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT (LFU);
MÜNCHNER
STADTENTWÄSSERUNG (MSE)

#### Nutzung alternativer Oxidationsverfahren als vierte Reinigungsstufe 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. Aus diesen Gründen ist in absehbarer Zeit mit einer EU-Qualitätsnorm für Spurenstoffe, wie z. B. Diclofenac zu rechnen. Um diese zukünftigen Qualitätsnormen einzuhalten, ist die Notwendigkeit einer weitergehenden Behandlung von Kläranlagenabläufen als vierte Reinigungsstufe nicht auszuschließen.

Im Rahmen dieses Projekts untersucht die TUM in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt und der Münchner Stadtentwässerung 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. Das Projekt un-

tersucht im Speziellen i) ob und inwieweit bestehende UV-Anlagen zur Desinfektion für eine Spurenstoffentfernung umgerüstet werden können, ii) ob vergleichbare Entfernungsleistungen wie bei Ozon erreicht werden können und iii) ob das Verfahren UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eine ökonomisch und betrieblich sinnvolle Alternative zu bisherigen Verfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung darstellt.

Die Durchführung der Pilotversuche erfolgt an der Großkläranlage Gut Marienhof (München II; Münchner Stadtentwässerung) mit dem Ablauf des Sandfilters in einem Versuchscontainer (XYLEM-WEDECO, Herford). Die Pilotanlage besteht aus zwei UV-Reaktoren



Abbildung 32: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Pilotanlage im Klärwerk Gut Marienhof (München II).

(LBX 90e und LBX 10), die jeweils mit Hochleistungs-Hg-Niederdruckstrahlern ausgestattet sind. Es können UV-Fluenzen von 400-45.000 J/m² angewendet werden.





JÜRGEN EDERER (B.Sc.)

# Entwicklung und Validierung eines energieeffizienten Ozoneintragssystems 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. Durch den von der Firma Cavtec Systems entwickelten Kavitationsgenerator kann Ozon sehr effizient ins Abwasser eingetragen werden, wodurch eine Reduzierung des produzierten Ozons möglich ist. Zudem erfolgt der Gaseintrag bei wesentlich geringeren Drücken als die häufig insbesondere bei hohen Wasserdrücken für die Ozonung verwendete Venturi-Injektion, wodurch eine erhebliche Energieeinsparung erzielt werden kann.

In der ersten Phase eines DBU-Forschungsprojektes soll eine Ozonanlage mit einem Gaseintrag durch hydrodynamisch erzeugte Kavitation entwickelt und im Vergleich zur Venturi-Injektion getestet werden. Ziel ist eine Untersuchung der Machbarkeit und Energieeffizienz des neu entwickelten Eintragssystems für die Anwendung zur Trinkwasserdesinfektion und zur Entfernung von Spurenstoffen in gereinigtem Abwasser. Im Falle eines positiven Abschlusses der ersten Projektphase sollen die verschiedenen Anwendungen in einer zweiten Phase näher untersucht werden. Wesentliches Ziel ist neben einer genaueren Untersuchung und Optimie-

runa von Reiniaunasund Desinfektionsleistungen die Bestimmung relevanter Neben- und Transformationsprodukte. Zudem soll in der zweiten Proiektphase das Konzept für ein Anlagendesign basierend auf dem Ozoneintrag über hydrodynamisch erzeugte Kavitation erstellt und entsprechend größere Kavitationsgeneratoren entwickelt werden.

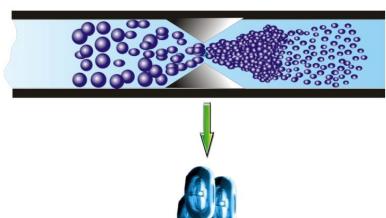


Abbildung 33: Schematische Darstellung der hydrodynamisch erzeugten Kavitation

FÖRDERUNG:
DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU)

KOOPERATION: SEWEC OZON GMBH; CAVTEC SYSTEMS





MERIAM MUNTAU (M.Sc.)

089/28913716 MERIAM.MUNTAU@ TUM.DE



BRIGITTE
HELMREICH
(PROF. DR. HABIL.)

089/28913719 B.HELMREICH@ TUM.DE

FINANZIERUNG: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT

KOOPERATION:
DR.-ING. STEINLE
INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR ABWASSERTECHNIK
MBH

# Analyse einer möglichst weitestgehenden Phosphorelimination bei kommunalen Kläranlagen

Im Zuge der neuen Oberflächengewässerverordnung wurde ein neuer 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, deren Abläufe als punktuelle Eintragsquelle gelten, 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) ist die Durchführung einer Bestandsaufnahme bereits bestehender technischer Maßnahmen und Umsetzungen zur weitestgehenden Phosphorelimination auf kommunalen Kläranlagen und eine Zusammenstellung und Analyse der Handlungsmöglichkeiten. Dies beinhaltet sowohl chemische wie auch biologische Verfahren und Verfahrenskombinationen inklusive mechanisch-physikalischer Abtrennverfahren ausgefällter Produkte.

Hierzu wird im ersten Schritt eine umfassende Literaturrecherche erstellt. Im zweiten Schritt wird eine Bestandsaufnahme bestehender Anlagen im deutschsprachigen Raum durchgeführt und Betriebserfahrungen ausgewählter Kläranlagen (inkl. Ortseinsicht) erhoben und ausgewertet. Anschließend wird die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf andere kommunale Kläranlagen, insbesondere in Bayern, überprüft. Spezifische Investitions- und Betriebskosten werden in Abhängigkeit zu Kläranlagentypen und -größen bei den ausgewählten Kläranlagen erhoben und für zukünftige Implementierungen auf kommunalen Kläranlagen abgeschätzt. Zu den üblichen Datenerfassungen wird überprüft, ob die weitestgehende Phosphorelimination auch sinnvoll kombinierbar mit potentiellen Behandlungsstufen zur Elimination organischer Spurenstoffe ist. Ebenso wird ein großer Wert auf die Erfassung von Betriebsproblemen, beispielsweise durch die Bildung von Magnesiumammonium-phosphat (MAP), gelegt.

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



# 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.

## 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 "Jungwissenschaftlern" 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. Im WRSG Newsletter wird jeweils ein Doktorand von verschiedenen Universitäten weltweit vorgestellt. Mehr Informationen unter: www.iwa-connect.org/.

Interessierte wenden sich bitte an Nils Horstmeyer: nils.horstmeyer@tum.de



# **Externe Doktoranden**



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, inwiefern die Biogasausbeute und die Biogasrate unterschiedlicher Energiepflanzen anhand deren chemischen Zusammensetzung vorhergesagt werden kann. Dazu werden die Pflanzen mittels einer Futtermittelanalyse (sog. Weender Analyse mit van-Soest-Fraktion) charakterisiert. Zudem wird in einem Batch-Gärtest der Biogasertragspotenzial bestimmt. In seiner Arbeit widmet er sich den folgenden Hypothesen:

- a) Die unterschiedlichen Biogasausbeuten basieren auf der chemischen Zusammensetzung der Pflanzen,
- b) Das Biogaspotenzial kann mathematisch durch die chemischen Komponenten der Pflanzen beschrieben werden und
- c) Für eine hohe Schätzgenauigkeit werden arten- oder sortenspezifischen Modelle benötigt.

Durch eine Hauptkomponentenanalyse sollen bei der statistischen Auswertung jene Parameter identifiziert werden, die sich für die Vorhersage des Biogasertrages am besten eignen. Anhand derer werden dann entsprechende globale (erlaubt die Vorhersage über unterschiedliche Pflanzenspezies hinweg) und lokale (ist nur für eine bestimmte Pflanzengruppe oder -spezies gültig, aber mit höherer Genauigkeit) Modelle entwickelt. Anhand der Parameter Lignin (ADL) und Hemizellulose (HC) kann die Biogasausbeute der Energiepflanzen vorhergesagt werden, jedoch mit einem Schätzfehler von 10 %. Die Biogasausbeute von Grünlandsorten kann durch Lignin (ADL), Hemizellulose (HC) und Rohprotein (XP) mit einer Genauigkeit von 5 % vorhergesagt werden. Die Modelle können zur Vorhersage des Biogasertragspotenzials eines Substrates bei bekannter chemischer Zusammensetzung dienen.



SEBASTIAN HIEN (M.Sc.)

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.

Die Doktorarbeit untersucht 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. Im Besonderen wird hierbei versucht Messgrößen zu identifizieren, welche einen überdurchschnittlichen Einfluss auf die Prognose der Biogasproduktion haben. Zu diesem Zweck werden Daten von verschiedenen Kläranlagen aufgenommen und zur Modellierung im Rahmen dynamischer Simulationen genutzt. Diese Simulationsergebnisse wurden analysiert und mit Hilfe der identifizierten Messgröße(n) und maschineller Lernansätze wie beispielsweise "Random Forest" und "künstlicher neuronaler Netzwerke" wurde ein Tool zur kurzfristigen Vorhersage des zu erwartenden

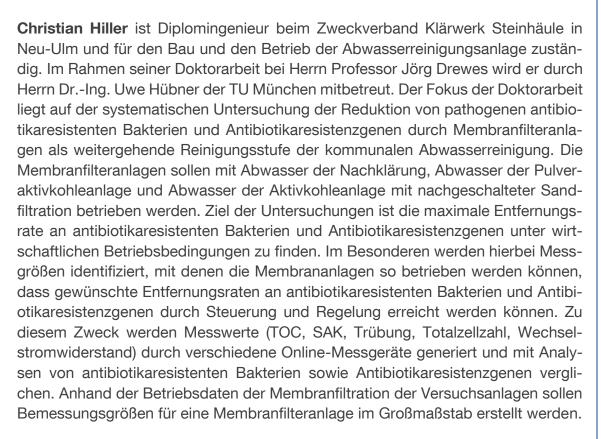


Biogasertrages entwickelt. Aufbauend auf den Vorhersagen des Tools wird daraufhin eine Methodik zur bedarfsgerechten Erzeugung von Biogas entwickelt.



CHRISTIAN HILLER (DIPL.ING.)

CHRIS.HILL@ GMX.NET





JOCHEN BANDELIN (DIPL.ING.)

JOCHEN.BANDELIN @BANDELIN.COM

**Jochen Bandelin** ist als Verfahrenstechnik-Ingenieur für die Entwicklung hocheffizienter Ultraschallsysteme zur Klärschlammbeschallung im Unternehmen BANDE-LIN electronic GmbH & Co.KG zuständig.

Im Rahmen seiner Doktorarbeit bei Herrn Professor Jörg Drewes wird er durch Dr.-Ing. Konrad Koch der Arbeitsgruppe Anaerobtechnik und Energierückgewinnung der TU München mitbetreut.

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 der Form 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 von anaeroben Schlämmen 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.



Im Rahmen von zwei Forschungsprojekten werden sowohl die Beschallung von Schlämmen im Durchflussverfahren, als auch der vollständig neue Ansatz einer fermenter-internen Beschallung, mit anwendungsspezifischen Tauchschwingern untersucht. Bei diesem Ansatz werden die Ultraschallsysteme unmittelbar im Gärsubstrat positioniert und mittels Rührwerken kontinuierlich angeströmt. Die Messung der erwarteten Gasertragssteigerung soll sowohl in Laborversuchen als auch im Technikums- und großtechnischen Maßstab erfolgen. Abschließend sollen bei der verfahrenstechnischen Betrachtung der verschiedenen Ultraschallkonzepte auch die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die Herstellungskosten und Lebensdauer untersucht werden.



# 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 (ASSOC. PROF.)

S.KHAN@ UNSW.EDU.AU

### Associate Professor 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.





JENNIFER BECKER (ASSOC. PROF.)

JGBECKER@

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

**Prof. Dr. Jennifer Becker** ist ein TUM Visiting Professor am Lehrstuhl. Seit August 2016 unterstützt sie laufende Forschungsarbeiten zur biologischen Spurenstoffentfernung am Lehrstuhl. Prof. Dr. Becker ist Associate Professor of Civil and Environmental Engineering an der Michigan Tech University, USA.



ERIC SEAGREN (PROF.)

ESEAGREN@ MTU.EDU

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

**Prof. Dr. Eric Seagren** ist ein TUM Visiting Professor. Seit August 2016 widmet er sich gemeinsam mit Prof. Drewes für den 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.



LONG NGHIEM (PROF.)

LONGN@ UOW.EDU.AU

## Professor Dr. Long Nghiem, University of Wollongong, Wollongong, Australien

**Prof. Dr. Long Ngheim** besuchte den Lehrstuhl ebenfalls im Mai 2016 als ein August-Wilhelm-Scheer Visiting Professor. In enger Zusammenarbeit mit Dr. Konrad Koch wurden gemeinsame Arbeiten im Bereich der Energierückgewinnung aus Abwasser sowie der Co-Vergärung vorbereitet. Prof. Dr. Nghiem ist Professor in der School of Civil, Mining and Environmental Engineering an der Wollongong University, USA.





WENLONG WANG (M.Sc.)

GA48TAQ@TUM.DE

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

Herr Wenlong Wang besucht den Lehrstuhl seit Oktober 2016 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.



SONA FAJNOROVA

SON.FAJN@ GMAIL.COM

WICKLUNG

HEIMAT

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
STAATSMINISTERIUM FÜR FINANZEN, LANDESENT-

UND

# Sona Favronova, M.Sc. University of Chemistry and Technology, Prag

Frau Sona Favronova besucht den Lehrstuhl seit August 2016 als Visiting Researcher. Sona ist PhD Candidate an der University of Chemistry and Technology in Prag und wird dort von Prof. Dr. Jiri Wanner betreut. Sona promoviert zum Thema "Advanced Water Treatment Processes for Trace Organic Chemical Removal for Water Reuse Applications". Sie arbeitet eng mit den MitarbeiterInnen in der Arbeitsgruppe "Weitergehende Abwasserbehandlung und Wasser Recycling" am Lehrstuhl zusammen.



# Internationale Kooperationspartner

Letztes Jahr konnten wir unsere internationalen Kooperationen weiter ausbauen und durch Besuche vor Ort vertiefen (Abbildung 34).

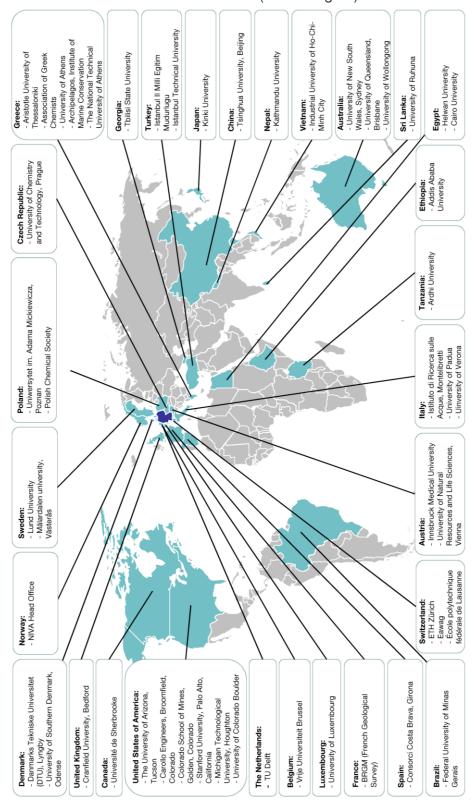


Abbildung 34: Weltkarte mit internationalen Partnern des Lehrstuhls



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

Im Rahmen des IWA World Water Congress in Brisbane, Australien vom 9.-14. Okt. 2016 veranstaltete die WRSG mehrere Workshops und Podiumsdiskussionen zum Thema "Direct Potable Water Reuse", die sehr gut besucht wurden (Abbildung 35). Momentan laufen die Vorbereitungen für die 11. IWA Internationale Konferenz für Wasserwiederverwendung in Long Beach, Kalifornien, die für den Zeitraum vom 24.-27. Juli 2017 geplant ist.



Abbildung 35: IWA Specialist Group Leader Meeting, Brisbane, Australien im Oktober 2016

#### **EU-COST Action**

Brigitte Helmreich ist Mitglied der EU-COST Action "Conceiving wastewater treatment in 2020. Energetic, environmental and economical challanges" (http://www.water2020.eu/) und hier in der Arbeitsgruppe 3 "Environmental and economic impact" aktiv. "COST" steht für "Intergovernmental framework for European Cooperation in Science and Technology". Es handelt sich hier um ein von der EU finanziertes Netzwerk, das die Koordination national finanzierter Forschung auf europäischem Niveau ermöglicht. Die COST-Arbeitsgruppen treffen sich regelmäßig, um beispielsweise gemeinsame Forschungsanträge vorzubereiten, aber auch



gemeinsame Veröffentlichungen in Hinblick auf Vorgehensweisen zu speziellen Themen in den verschiedenen EU-Ländern zu vergleichen und zu diskutieren.

#### **ESSEM-COST Action**

Thomas Letzel ist Mitglied der **ESSEM-COST Action ES1307** "Sewage biomarker analysis for community health assessment" und wurde für Deutschland 2013 in das Management Committee berufen. Er leitet die 2015 gegründete analytische Untergruppe 'Non-target screening strategies' und ist ein aktiver Teilnehmer der Gruppe "Finding biomarkers and stability of these biomarkers in wastewater". Die Action erarbeitet und erweitert das bestehende gesamteuropäische interdisziplinäre Netzwerk und bringt Experten aus relevanten Disziplinen zusammen, um quantitative Ansätze für menschliche Biomarker in Kläranlagen zu finden, die den Lebensstil, die Gesundheit und die Belastung in der Gesellschaft wiederspiegeln können. In 2016 organisierten wir zusammen mit der Medizinischen Universität Innsbruck einen LC-MS/MS Ringersuch. Aktuelle Ergebnisse (u.a. vom Jahrestreffen an der TUM und dem SWEMSA16 Workshop in Garching) sind zu finden unter http://scorecost.eu/.

#### **NEREUS-COST Action**

Jörg Drewes ist als Mitglied der NEREUS-COST Action ES1403 "New and emerging challenges and opportunities in wastewater reuse" (http://www.nereus-cost.eu) aktiv und fungiert als Vermittler zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen. Im vergangenen Jahr fanden zwei Arbeitstreffen in Malta und Sarajevo statt. Weitere Informationen finden sich unter http://nereus-cost.eu.

#### **NORMAN Network**

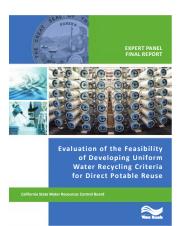
Thomas Letzel ist als Vertreter des Lehrstuhls Mitglied der NORMAN Initiative und repräsentiert in dieser überwiegend umweltpolitischen europäischen Gruppierung u.a. die wissenschaftliche Expertise der deutschen Forschung im Bereich der Analyse von wässrigen Umweltproben auf organische Bestandteile. Hierbei sind wir aktiv im Themengebiet der Retentionszeitnormierung bei der Nutzung von HPLC, der Einführung der HILIC-Technik zur Bestimmung sehr polarer Moleküle und der Durchführung von europäischen Ringversuchen.

Aktuelle Informationen (u.a. vom Internationalen NTS Workshop in Ascona am 29.05.-03.06.16, dem SWEMSA16 Workshop und der Generalversammlung in Wien am 30.11.-02.12.16) sind zu finden unter http://www.norman-network.net.



## Wasser Recycling in Kalifornien, USA

Jörg Drewes war als Mitglied des Beratergremiums "Development of Water Recycling Criteria for Indirect Potable Reuse through Surface Water Augmentation and the Feasibility of Developing Criteria for Direct Potable Reuse" für den Bundesstaat Kalifornien (USA) aktiv. Diese Aktivitäten sollen den weiteren Ausbau der Nutzung alternativer Wasserressourcen einschließlich der Wasserwiederverwendung zur Trinkwasserversorgung in Kalifornien erleichtern. Der Abschlussbericht wurde Ende 2016 an das State Water Resources Control Board übermittelt und kann unter folgendem Link heruntergeladen werden:



http://www.waterboards.ca.gov/drinking\_water/certlic/drinkingwater/documents/rw dpr criteria/app a ep rpt.pdf

## **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"*.

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

**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.

# ,FA Non Target Screening' - Hauptausschuss II der Wasserchemischen Gesellschaft

**Thomas Letzel** ist aktives Mitglied in dem Fachausschuss der LC-MS Strategien im Bereich der deutschen Wasseranalytik harmonisieren und angleichen wird. In der dritten Stufe wurde im Jahr 2016 ein Ringversuch durchgeführt, der unterschiedliche analytische LC-MS(/MS) Systeme erfasst. Unser Lehrstuhl ist dabei für die Normalisierung der Retentionszeiten zuständig und steuerte in dem Ringversuch eigene Standardmaterialien bei.



Unser Lehrstuhl vertreten durch Thomas Letzel organisierte in allen drei erwähnten Gremien bzw. Konsortien einen Ringversuch mit, die u.a. die Normalisierung und Harmonisierung von flüssigchromatographischen Retentionszeiten zum Ziel hat. Diese Initiative starteten wir 2012 und sie wird in 2017 auf europäischer Ebene seinen Abschluss finden.

#### Zeitschrift Water - Gast-Editorin

**Prof. Dr. Helmreich** war Gast-Editorin der Zeitschrift "Water" für eine Spezialausgabe zum Thema "Urban drainage and 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://jwrd.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

#### Assistententreffen 2016 in München

Unter dem Thema "Engineering under Climate Change Impacts & Water Reuse" fand das diesjährige Assistententreffens der deutschsprachigen siedlungswasserwirtschaftlichen Institute am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft an der TU München statt. Über 70 junge Wissenschaftler aus ganz Deutschland, Österreich, Luxemburg und der Schweiz nahmen an der dreitägigen Tagung teil. Dabei gaben Sprecher wie Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel und PD Dr. Thomas Kluge im Rahmen des Fachprogramms eine spannende Grundlage für interessante Diskussion Abbildung 36). Weiterführende Workshops und die Exkursion zur Trinkwasserge-

winnung im Mangfalltal der Stadtwerke München sorgten für ein abwechslungsreiches Rahmenprogramm. Auch dieses 37. Assistententreffen bot den Doktoranden, wie auch schon in den Jahren davor, die Möglichkeit zum Fach- und Erfahrungsaustausch. Wir freuen uns auf das Assistententreffen 2017- dann in Kaiserslautern!



Abbildung 36: Das 37. Assistententreffen der deutschsprachigen siedlungswasserwirtschaftlichen Institute in München

# Universities Australia-DAAD Joint Research Cooperation Scheme

Das Programm "Universities Australia-DAAD Joint Research Cooperation Scheme" ist ein bilaterales Forschungsförderungsprogramm, das 2014 zwischen dem DAAD und den Universities Australia vereinbart wurde. Ziel des Programms ist die Intensivierung der Kooperation zwischen australischen und deutschen Forschungsgruppen, die gemeinsam an einem spezifischen wissenschaftlichen Vorhaben arbeiten.



Abbildung 37: Austausch mit UQ

Im Rahmen dieses Abkommens wurden 2016 insgesamt drei Projekte gefördert, wodurch Philipp Michel ein Aufenthalt an der University of New South Wales (UNSW), Konrad Koch an der University of Wollongong (UOW) und Jörg E. Drewes und Carmen Leix an der University of Queensland (UQ) ermöglicht wurde (Abbildung 37).



### **Workshop China**

In Zusammenarbeit mit der Tsinghua Universität, Peking, China wurde vom 08.-12.05.2016 ein Workshop mit dem Thema "Status and Opportunities to Introducing Potable Water Reuse Practices in Europe and China" in Peking durchgeführt.





Abbildung 38: Hauptteilnehmer des 3. Workshops in Peking, China an der Tsinghua Universität

Hierbei handelte es sich bereits um den dritten wissenschaftlichen Austausch der beiden Forschungsgruppen (Tsinghua Universität, School of Environment and Research Center for Eco-Environmental Sciences / TUM, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft) seit Juli 2015, der abwechselnd in München oder Peking stattgefunden hat. Ziel ist es, geeignete Konzepte und Technologien für eine nachhaltige energieeffiziente Abwasserbehandlung zu entwickeln, die auch eine Wiederverwendung (Wasserrecycling) des gereinigten Abwassers zulässt, z.B. zur Stützung der Trinkwassergewinnung via Grundwasseranreicherung. Insbesondere die Etablierung energieeffizienter Verfahrenskombinationen mit dem Ziel des Wasserrecyclings in Europa und China steht dabei im Fokus sowie ein neuer Ansatz der Beurteilung der Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung neuer Wasserqualitätsanforderungen und dem damit verbundenen Risiko. Seitens des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft nahmen Jörg E. Drewes, Uwe Hübner, Konrad Koch, Johann Müller und Nils Horstmeyer teil. Der Workshop wurde durch einen Reisekostenzuschuss vom Bayerischen Hochschulzentrum für China (BayCHINA) unterstützt.

# Betriebsausflug im Sommer 2016



Abbildung 39: Betriebsausflug zur Hochries

Der diesjährige Betriebsausflug fand am 21. Juni 2016 statt. Dabei erklommen wir den Gipfel der Hochries (1.560 m ü. NN) und wurden mit einem wunderbaren Panoramablick über die Alpen belohnt (Abbildung 39).

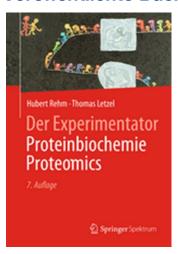


#### **Scienclisten**

Im Jahr 2016 wurden auf dem Arbeitsweg insgesamt über 30.000 km durch die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft zusammen geradelt. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von rd. 4,4 Tonnen im Vergleich zum Auto bzw. 11,6 Tonnen im Vergleich zum Flugzeug (economy).

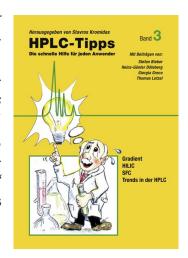


#### Veröffentlichte Bücher



**Thomas Letzel** hat im Jahr 2016 zwei Bücher (mit)veröffentlicht.

Das erste Buch war die 7. Ausgabe des "Experimentators Proteinbiochemie/Proteomics" zusammen mit Hubert Rehm, das Zweite die Erstveröffentlichung von den "HPLC-Tipps 3" u.a. zusammen mit Stavros Kromidas.







Jörg E. Drewes and Thomas Letzel

Eine gemeinsames Buch von Jörg E. Drewes und Thomas Letzel mit dem Titel "Assessing Transformation Products of Chemicals by Non-Target and Suspect Screening and Workflows" wurde im Dezember 2016 in zwei Bänden im Rahmen der American Chemical Society Book Series 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 2016 wurden verschiedene gemeinsame Anträge vorbereitet und eingereicht, etwa im Förderprogramm "Forschung für Nachhaltige Entwicklung" (FONA) des BMBF oder bei der Bayerischen Forschungsstiftung.

#### Ringvorlesung

Die Ringvorlesung wurde mit Beiträgen internationaler Vortragender erfolgreich fortgeführt:

- "At the Confluence: nutrients, trace chemicals, and sustainability in the urban water sector"; AEESP Distinguished Lecturer Prof. Nancy Love (University of Michigan)
- "Floods in a Changing World"; Prof. Günter Blöschl (TU Wien), Träger der Horton Medaille
- "Advanced Wastewater Treatment Systems and Upgrade to High Quality Process Water for Reuse Purposes"; Dipl.-Ing. Heribert Möslang, Veolia
- "From Science To Policy in the Water World Work at the German Environment Agency"; Dr. Lilian Busse, Umweltbundesamt
- "Seeing Things Differently: Rethinking the Relationship Between Data, Models, and Decision-Making"; Darcy Lecturer Prof. Ty Ferre (University of Arizona).

Am 6. Juli 2016 fand außerdem ein interaktiver Workshop zur Diskussion und Entwicklung gemeinsamer Forschungsziele statt.

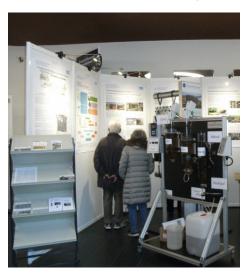
# Ausstellung zur Wasserforschung im Rahmen der Eröffnung des TUM Science & Study Center Raitenhaslach

Mit einem großen Festakt mit Ministerpräsident Horst Seehofer wurde am 4. Juni 2016 das neue Akademiezentrum der TUM im historischen Kloster Raitenhaslach eröffnet. Der TUM Wasser Cluster bereicherte die Eröffnungsveranstaltung mit einer Posterausstellung zum Thema Wasser, die sich den Schwerpunkten "Wasser als lebenswichtiges Element", "Gefahren für und durch das Wasser" und "Wasser als Energieträger" widmete. Das Akademiezentrum und die Posterausstellung waren am 5. Juni für die Öffentlichkeit geöffnet. Ausstellung und Führungen durch das Akademiezentrum stießen bei über 4.000 Besuchern auf großes Interesse.



#### Beteiligung an den Münchner Wissenschaftstagen

Der TUM Wasser Cluster organisierte einen Marktstand der Wissenschaften auf den



Münchner Wissenschaftstagen, die 2016 unter dem Motto "Wasser – Ressource des Lebens" standen. Besucher konnten sich über neueste Forschungsergebnisse zur naturnahen Trinkwasseraufbereitung, Wassergewinnung aus Nebel, die energieeffiziente Aufbereitung von Abwasser, über invasive Arten und über den Gewässer- und Artenschutz informieren. Weitere Themen waren Verunreinigungen des Wassers, der Hochwasserschutz und die Energiegewinnung aus Wasser.

Darüber hinaus wurden von Beteiligten des TUM Wasser Cluster verschiedene Vorträge angeboten, die einem breiten Publikum wissen-

schaftliche Themen auf verständliche Weise vermittelten.

#### Mitausrichtung des Workshops ,SWEMSA 16'

Der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft organisierte im November 2016 als Vertreter des TUM Wasser Cluster zusammen mit dem BMBF-finanzierten FOR-IDENT Konsortium sowie der europäischen NORMAN Initiative und mit Teilnehmern aus drei europäischen COST-Initiativen einen internationalen Workshop zum Thema "Non-Target Screening embedded in (Open Access) Platforms and its role in various disciplines". Die über hundert Teilnehmer diskutierten 20 Vorträge und in vier Podiumsdiskussionen die derzeitigen Strategien und zukünftige Ausrichtungen.



# **Publikationen**

## Bücher und Buchbeiträge

- 44. Abwassertechnischen Seminar "Bedarfsgerechte Energiebereitstellung durch Kläranlagen als Baustein der Energiewende", Band 214 (ISSN 0942-914X).
- Drewes, J.E., Horstmeyer, N. (2016) Strategien und Potenziale zur Energieoptimierung bei der Wasserwiederverwendung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. DOI 10.1007/s00506-016-0298-3. © Springer-Verlag Wien 2016.
- H. Rehm und T. Letzel; 'Der Experimentator: Proteinchemie/Proteomics'. Springer Spektrum; 7. Edition (03. Juni 2016), ISBN: 978-3-662-48850-8
- Helmreich, B.: Umgang mit Metalldachabflüssen. Ratgeber Regenwasser (Hrsg. König, K.W.), Eigenverlag Mall, ISBN-13: 978-3-9803502-2-8, 6. Auflage 2016, S.36-37.
- Water Science and Technology Board; Division on Earth and Life Studies; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine: Using Graywater and Stormwater to Enhance Local Water Supplies: An Assessment of Risks, Costs, and Benefits. National Academy of Sciences ISBN: 978-0-309-38835-1.

## Wissenschaftliche Zeitschriften (Peer-reviewed)

- Branch, A., Trinh, T., Carvajal, G., Leslie, G., Coleman, H.M., Stuetz, R.M., Drewes, J.E., Khan, S.J., Le-Clech, P.: Hazardous events in membrane bioreactors Part 3: Impacts on microorganism log removal efficiencies. Journal of Membrane Science 497, 2016, 514-523.
- Drewes, J.E.; Horstmeyer, N.: Strategien und Potenziale zur Energieoptimierung bei der Wasserwiederverwendung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 2016, 1—9.
- Heim, C., Rajab, M., Letzel, T., Drewes, J. E., Helmreich, B.: Ozone III: Application of Boron-Doped Diamond Electrodes for Inactivation of Microbial Contaminants in Different Water Matrices. Brewing Science 30 (8), 2016, 21-25.
- Horstmeyer, N., Helmreich, B., Drewes, J.E.: Zustandsanalyse der bayerischen Kanalisation Teil 1: Vorgehensweise und allgemeine statistische Angaben des Kanalnetzes. KA Abwasser, Abfall 63 (5), 2016, 378-387.
- Horstmeyer, N., Helmreich, B., Drewes, J.E.: Zustandsanalyse der bayerischen Kanalisation (Teil 2): Zustandserfassung, Sanierungsbedarf und Gesamtinvestitionsvolumen. KA Abwasser, Abfall. 2016 (63), 2016, 510-520.
- Horstmeyer, N., Huber, M., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Evaluation of site-specific factors influencing heavy metal contents in the topsoil of vegetated infiltration swales, Science of the Total Environment 560-661, 2016, 19-28.
- Huber, B., Herzog, B., Drewes, J.E., Koch, K., Müller, E.: Characterization of Microbial Communities related to Biogenic Sulfuric Acid Corrosion Potential within Full-Scale Digesters. BMC Microbiology 16, 2016, 153.
- Huber, B., Hilbig, H., Mago, M., Drewes, J.E., Müller, E.: Comparative analysis of biogenic and chemical sulfuric acid attack on hardened cement paste using Laserablation-ICP-MS. Cement and Concrete Research 87, 2016, 14-21.
- Huber, C., Preis, M., Harvey, P.J., Grosse, S., Letzel, T., Schröder, P.: Emerging pollutants and plants Metabolic activation of diclofenac by peroxidases. Chemosphere 146, 2016, 435-441.
- Huber, M., Badenberg, S.C., Wulff, M., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Evaluation of Factors Influencing Lab-Scale Studies to Determine Heavy Metal Removal by Six Sorbents for Stormwater Treatment. Water 8 (2), 2016, 62:1-19.
- Huber, M., Helmreich, B.: Stormwater Management: Calculation of Traffic Area Runoff Loads and Traffic Related Emissions.
   Water 8 (7), 2016, 294.
- Huber, M., Hilbig, H., Badenberg, S. C., Fassnacht, J., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Heavy metal removal mechanisms of sorptive filter materials for road runoff treatment and remobilization under de-icing salt applications. Water Research 102, 2016, 453 – 463.
- Huber, M., Welker, A., Dierschke, M., Drewes, J.E., Helmreich, B.: A Novel Test Method to Determine the Filter Material Service Life of Decentralized Systems Treating Runoff from Traffic Areas, Journal of Environmental Management 179 (9), 2016, 66-75.
- Hübner, U., Kuhnt, S., Jekel, M., Drewes, J.E.: Fate of bulk organic carbon and bromate during indirect water reuse involving ozone and subsequent aquifer recharge, Journal of Water Reuse and Desalination, 6 (3), 2016, 413-420.
- Kaufmann, C. M., Grassmann, J., Letzel, T.: HPLC method development for the online-coupling of chromatographic Perilla frutescens extract separation with xanthine oxidase enzymatic assay. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 124, 2016, 347 357.
- Kaufmann, C.M., Letzel, T., Grassmann, J., Pfaffl, M.W.: Effect of Perilla frutescens extracts on cell physiology in porcine jejunal epithelial cells. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2016, in press.
- Koch, K., Huber, B., Fernández, Y. B.; Drewes, J.E.: Methane from CO2: Influence of different CO2 concentrations in the flush gas on the methane production in BMP tests. Waste Management 49, 2016, 36 39.



- Koch, K., Plabst, M., Schmidt, A., Helmreich, B., Drewes, J.E.: Co-digestion of food waste in a municipal wastewater treatment plant: Comparison of batch tests and full-scale experiences. Waste Management 47 (A), 2016, 28-33.
- Krappmann, M., de Boer, A. R., Kool, D.R.W., Irth, H., Letzel, T.: Mass spectrometric real-time monitoring of an enzymatic phosphorylation assay using internal standards and data-handling freeware. Rapid Communications in Mass Spectrometry 30 (8), 2016, 1019-1030.
- Leix, C., Drewes, J.E., Koch, K.: The role of residual quantities of suspended sludge on nitrogen removal efficiency in a deammonifying moving bed biofilm reactor. Bioresource Technology 219, 2016, 212 218.
- Leix, C., Hartl, R., Zeh, C., Beer, F., Drewes, J.E., Koch, K.: Performance and N2O-formation of deammonification by suspended sludge and biofilm systems A pilot-scale study. Water 8 (12), 2016, 578.
- Li, L., Stoiber, M., Wimmer, A., Xu, Z., Lindenblatt, C., Helmreich, B., Schuster, M.: To What Extent Can Full-Scale Wastewater Treatment Plant Effluent Influence the Occurrence of Silver-Based Nanoparticles in Surface Waters? Environmental Science & Technology 50 (12), 2016, 6327-6333.
- Maruja, K.A., Dodder, N.G., Sengupta, A., Smith, D.J., Lyons, J.M., Heil, A.T., Drewes, J.E.: Multimedia screening of contaminants of emerging concern (CECS) in coastal urban watersheds in southern California (USA). Environmental Chemistry 35 (8), 2016, 1986–1994.
- Oladoja, N.A., Helmreich, B., Bello, H.A.: Towards the development of a reactive filter from green resource for groundwater defluoridation. Chemical Engineering Journal 301, 2016, 166 – 177.
- Oladoja, N.A., Hu, S., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Insight into the defluoridation efficiency of nano magnesium oxide in ground-water system contaminated with hexavalent chromium and fluoride. Separation and Purification Technology 162, 2016, 195 202.
- Oladoja, N.A., Liu, Y., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Preparation and characterization of a reactive filter for groundwater defluoridation. Chemical Engineering Journal 283, 2016, 1154-1167.
- Oladoja, N.A., Siefert, M.L., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Influence of organic load on the defluoridation efficiency of nanomagnesium oxide in groundwater. Separation and Purification Technology 174, 2017, 116-125.
- Rajab, M., Heim, C., Letzel, T., Drewes, J.E., Helmreich, B.: Electrochemical oxidation of Bisphenol A by a boron-doped diamond electrode in different water matrices: Transformation products and evaluation of inorganic by-products. Int. J. Environ. Sci. Technol. 13, 2016, 2539–2548.
- Regnery, J., Wing, A. D., Kautz, J., Drewes, J. E.: Introducing sequential managed aquifer recharge technology (SMART) From laboratory to full-scale application. Chemosphere 154, 2016, 8 16.
- Rodolfo S., Le, H. A., Koch, K.: Feasibility assessment of anaerobic digestion technologies for household wastes in Vietnam. Journal of Vietnamese Environment (7), 2016, 1-8.
- Schröder, P., Helmreich, B., Skrbic, B., Carballa, M., Papa, M., Pastore, C., Emre, Z., Oehmen, A., Langenhoff, A., Molinos, M., Dvarioniene, J., Huber, C., Tsagarakis, K. P., Martinez-Lopez, E., Pagano, S. M., Vogelsang, C., Mascolo, G.: Status of hormones and painkillers in wastewater effluents across several European states---considerations for the EU watch list concerning estradiols and diclofenac. Environmental Science and Pollution Research 23 (13), 2016, 12835—12866.
- Tyteca, E., S. Bieber, T. Letzel, G. Desmet: Possibilities and limitations of computer-assisted method development in HILIC: a case study. Chromatographia 2016, doi:10.1007/s10337-016-3127-8.
- Trinh, T., van den Akker, B., Coleman, H. M., Stuetz, R. M., Drewes, J.E., Le-Clech, P., Khan, S. J.: Seasonal variations in fate and removal of trace organic chemical contaminants while operating a full-scale membrane bioreactor. Science of The Total Environment 550, 2016, 176 183.
- Vuono, D. C.; Munakata-Marr, J.; Spear, J. R.; Drewes, J.E.: Disturbance opens recruitment sites for bacterial colonization in activated sludge. Environmental Microbiology 18 (1), 2016, 87-99.
- Vuono, D., Regnery, J., Holloway, R., Li, D., Jones, Z.L., Drewes, J.E.: rRNA gene expression of abundant and rare activated sludge microorganisms and growth-rate induced micropollutant removal. Environmental Science and Technology 50(12), 2016, 6299-6309
- Weissbach, M., Criddle, C.S., Drewes, J., Koch, K.: A proposed nomenclature for biological processes that remove nitrogen. Environmental Science: Water Research & Technology, 2016.
- Zucker, I., Avisar, D., Mamane, H., Jekel, M., Hübner, U.: Determination of oxidant exposure during ozonation of secondary effluent to predict contaminant removal, Water Research, 100, 2816, 508-516.

#### Konferenzen

#### Präsentationen

• Drewes, J.E. (2016). Expert panel recommendations regarding the feasibility of direct potable resue in the State of California, USA. International Water Association World Water Congress, Brisbane, Australien. 12.10.2016 (invited).



- Drewes, J.E. (2016). Reinventing the urban water infrastructure. TEDxTUM Vortrag. München. 28.7.2016.
- Drewes, J.E. (2016). The importance of water reuse in cities of the future. Xylem Water Matters Conference. Bad Oeynhausen. 8.-9.9.2016.
- Drewes, J.E. (2016). Was kann Deutschland aus internationalen Projekten zur Wasserwiederverwendung lernen? 88. Darmstädter Seminar Abwassertechnik. Darmstadt. 25. Mai 2016.
- Drewes, J.E. and Olivieri, A. (2016). Feasibility of Direct Potable Reue in California Recommendations of an Expert Panel. International Desalination Association Reuse and Recycling Conference. 25.-27.9.2016 (invited).
- Drewes, J.E., Bieber, S., Michel, P. (2016). Addressing multiple objectives while meeting water quality standards A need for innovative concepts. Water Horizon Conference. Dessau. 28.-29.6.2016.
- Drewes, J.E., Geist, J., Disse, M., Grassmann, J. (2016). TUM Wasser Cluster. 10. Weihenstephaner Seminar f
  ür Wassertechnologie. 15.9.2016.
- Drewes, J.E., Regnery, J., Hübner, U., Hellauer, K., Müller, J., Li. D. (2016). Revisiting the design and operation of biofiltration in water treatment. Seminar Series. Eawag, Dübendorf, Schweiz. 15.04.2016.
- Drewes, J.E., Regnery, J., Hübner, U., Müller, J., Li, D. (2016). Revisiting the design and operation of biofiltration in water treatment. Seminar, Scholl of Environment, Tsinghua University, Peking, China. 9.5.2016.
- Drewes, J.E. (2016). Herausforderungen an die Wasserver- und -entsorgung in Städten der Zukunft. Jahresseminar der Verwaltungsführung, Bayerische Staatskanzlei, 8.4.16, Irsee.
- Tyteca, E., Bieber, S., Letzel, T., Desmet, G.. (2016). Possibilities and limitations of computer-assisted method development in HILIC: a case study, ISC 2016, Cork (IRL), 28.08.-01.09.2016.
- Hellauer, K., Hübner, U., Regnery, J., Drewes, J.E. (2016). Sequiential managed aquifer recharge technology (SMART) for enhanced removal of trace organic chemicals. 9th International Symposium on Managed Aquifer Recharge. Mexico City, Mexico. 20.-24.6.2016.
- Helmreich, B., Huber, M., Vesting, A., Giga, A., Wichern, M. (2016). Erfahrungen mit einem dezentralen Behandlungssystem für Verkehrsflächenabflüsse - Vom Labormaßstab in die technische Umsetzung. 15. Regenwassertage, 05./06.07.2016, Darmstadt, Deutschland.
- Helmreich, B. (2016). Belastung von Versickerungsmulden an Metalldachabflüssen am Beispiel eines Zinkdaches. Aqua Urbanica 2016. 26.-27.09.2016, Rigi-Kaltbad, Schweiz.
- Helmreich, B. (2016). Karriere in der Wissenschaft? 1. Länderübergreifender IWA-YWP Workshop Karriere und Netzwerken, IFAT 2016, 01.06.2016, München.
- Horstmeyer, N., Drewes, J.E. (2016). An Alternative Energy-Efficient Treatment Scheme for Water Reuse. TUM DeSal, Young Scientist Colloquium, Networking event for young scientists with research focus water & desalination in Germany, Garching IAS, 17.06.2016.
- Horstmeyer, N., Drewes, J.E. (2016). An Ultrafiltration Membrane Reactor with Fluidized Bed as a Building Block of a Novel Water Reuse Scheme. 31.05.2016. IFAT, Munich. Hochschulforum – Marktplatz der Universitäten. University Forum – Universities´ presentations – Education and Research in the Water and Waste Sector.
- Huber, M., Helmreich, B., Horstmeyer, N., Drewes, J. (2016). Zustand des Kanalisationsnetzes in Bayern. 4. Inspektions- und Sanierungstage der DWA, 22.-23.11.2016, Dortmund.
- Huber, M., Helmreich, B. (2016). Handlungsempfehlungen für den Einsatz dezentraler Anlagen. Fachtagung dezentrale Regenwasserbewirtschaftung- Technischer Stand und Ausblick. Markt Schwaben, 25.10.2016.
- Huber, M., Hilbig, H., Drewes, J.E., Helmreich, B. (2016). Heavy Metal Removal and Remobilization under De-icing Salt Applications. 9th International Conference NOVETECH, 28.06.-01.07.2016, Lyon, France.
- Hübner, U., Jekel, M., Drewes, J. E. (2016). Combination of Ozonation and Managed Aquifer Recharge for Advanced Wastewater Treatment and Reuse, 9th International Symposium on Managed Aquifer Recharge, 20.-24.6.2016, Mexico City, Mexico.
- Hübner, U., Miklos, D., Eitzen, L., Drewes, J.E., Kletke, T., Haas, S., Hellie, A., Böhm, B. (2016). Entfernung von Mikroschadstoffen durch Modifikation der UV-Desinfektionsanlage im Klärwerk München Gut Marienhof. Tagung zur Spurenstoffen in Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 13.9.2016.
- Drewes, J.E. (2016). Herausforderungen an die Wasserver- und -entsorgung in Städten der Zukunft. Jahresseminar der Verwaltungsführung, Bayerische Staatskanzlei, Kloster Irsee, 8./9. April 2016.
- Drewes, J.E., Bieber, S. (2016). Managing Emerging Contaminants in Drinking Water and Wastewater A European Perspective. Emerging Contaminant Summit, Denver, Colorado, USA. 1-2 März 2016.
- Leix, C., Drewes, J.E., Koch, K. (2016). Nitrous oxide formation of a double-stage deammonification pilot-plant: What lessons can we learn? N2O Expert Meeting and Workshop, 21. 22. September 2016, Ruhr-Universität Bochum.
- Leix, C., Drewes, J.E., Koch, K. (2016). Strategies for the enhancement of the deammonification's performance and the reduction of N2O emissions, The University of Queensland (UQ), Brisbane, 01.11.2016.
- Leix, C., Drewes, J.E., Koch, K. (2016). Innovative strategies for both the enhancement of the deammonification's performance and the reduction of N2O emissions, University of New South Wales (UNSW), Sydney, 17.11.2016.



- Letzel, T. (2016). Unknown Molecules in Air, Water and Soil: Screening Strategies with LC-MS Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'16), Prague (Cz), 30./31.3.2016. (Invited Kenote Lecture).
- Letzel, T. (2016). Prof. Thomas Letzel on developing a worldwide screening system for preventative water sample analysis, Scientists Meet Scientists Wednesday Coffee Talk, Garching (D), 27.01.2016. (Invited talk)
- Lindenblatt, C. and Drewes, J.E. (2016). Composte site wastewater treatment using a combination of SBR and soil filter with recirculation. Workshop on Decentralized Wastewater Treatment, Changsu, China. 23.9.2016.
- Lindenblatt, C. and Drewes, J.E. (2016). Ertüchtigung von Abwasserteichanlagen durch Kombination mit einem bepflanzten Bodenfilter zur Optimierung der Reinigungsleistung. LfU Seminar "Ertüchtigung von Abwasserteichanlagen. 27.6.2016. Wasserwirtschaftsamt Nürnberg.
- Miklos, D., Eitzen, L., Hübner, U., Drewes, J. E. (2016): Entfernung anthropogener Spurenstoffe durch weitergehende Oxidationsverfahren: Die Hydroxyl-Radikalexposition als neues Vergleichskonzept für AOPs, Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft, 2.-4.5.2016, Bamberg.
- Miklos, D., Hübner, U., Remy, C., Jekel, M., Drewes, J.E. (2016). The OH-radical exposure concept as an assessment tool to compare advanced oxidation processes (AOPs). IFAT, Munich. Hochschulforum Marktplatz der Universitäten. University Forum Universities´ presentations Education and Research in the Water and Waste Sector.
- Müller, J., Kunkel, U., Hübner, U., Ternes, T., Drewes, J.E. (2016). Sequentielle biofiltration zur Entfernung anthropogener Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen. Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft der GdCh. Bamberg, 4.5.2016.
- Silva, R. D.; Le, H. A.; Koch, K. (2016). Feasibility assessment of anaerobic digestion technologies for household wastes in Vietnam. 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, 09.-11. März 2016, Hanoi, Vietnam.
- Stadlmair, L. (2016). Enzymatic Transformation of Trace Organic Chemicals Characterization of Reaction Mechanisms using Mass Spectrometric Technologies, Wasser 2016, Bamberg.
- Strübing, D., Koch, K., Drewes, J.E. (2016). Biologische Methanisierung im Rieselbettverfahren. Tagungsband zum 44. Abwassertechnischen Seminar "Bedarfsgerechte Energiebereitstellung durch Kläranlagen als Baustein der Energiewende" der TU München (ISSN 0942-914X), 14. Juli 2016, Ismaning.
- Weißbach, M., Koch, K., Drewes, J.E. (2016). Deammonification, Nitritation/Denitritation and Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation (CANDO). 31.05.2016. IFAT, Munich. Hochschulforum – Marktplatz der Universitäten. University Forum – Universities´ presentations – Education and Research in the Water and Waste Sector.
- Weißbach, M., Drewes, J., Koch, K. (2016). Why your enemy is my friend: Intended N2O production with the CANDO process. N2O Expert Meeting and Workshop, 21. 22. September 2016, Ruhr-Universität Bochum.

#### Poster

- Burkhardt, T., Graßmann, J., Drewes, J.E., Letzel, T., Mass spectrometry measurement of enzymatic activities Miniaturization and application for environmental samples, Wasser 2016, Bamberg.
- Burkhardt, T., Graßmann, J., Letzel, T., Drewes, J.E.D., Investigating the enzymatic activity in managed aquifer recharge systems
   Challenges and limitations in method development, Enzymes in the Environment 2016, Wales.
- Hellauer, K., Seiwert, B., Reemtsma, T., Uhl, J., Schmitt-Kopplin, P., Wibberg, D., Winkler, A., Kalinowski, J., Drewes, J.E., Hübner, U., The role of concentration and composition of bulk organic carbon for microbial degradation of trace organic chemicals in natural treatment systems; MEWE 2016. 04.-07.09.2016, Copenhagen, Denmark.
- Huber, M., Welker, A., Scharrer, J., Helmreich, B., Schwermetalle in Verkehrsflächenabflüssen: Methodikspezifische Einflüsse von Monitoring-Programmen auf Datenqualität und Untersuchungsergebnisse. Aqua Urbanica 2016. 26.-27.09.2016, Rigi-Kalt-bad, Schweiz.
- Stadlmair, L., Graßmann, J., Letzel, T., Drewes, J.E.D., Mass spectrometry based investigations on the enzymatic transformation of trace organic chemicals, Enzymes in the Environment 2016, Wales.

# Textbeiträge

- Bieber, S., Grosse, S., Veloutsou, S., Letzel, T.: Polarity-extended chromatographic separations: a novel view on trace organic compounds in environmental samples. NORMAN Bulletin 2016, 5, 16-18.
- Koch, K., Helmreich, B., Drewes, J.E.: Technik der kommunalen Abwasserbehandlung. Technik in Bayern 03/2016,
- Letzel, T. and Sengl, M.: FOR-IDENT Platform International hunt for unknown molecules combining international workflows and software tools. NORMAN Bulletin 2016, 5, 20/21.
- Letzel, T.: A Collaborative Approach to Water Analysis. The Column, 2016, 12(2), 2-6.



#### Thesen

#### Dissertationen

- Huber, Bettina: Biogenic Sulfuric Acid Corrosion in Sludge Digesters Characterization of the bacterial groups and the corrosion potential.
- Huber, Maximilian: Development and Evaluation of an Assessment Method for Decentralized Stormwater Treatment Systems for Runoff from Traffic Areas.

#### Masterarbeiten

- Benserhir, Khaoula: Energy audit of potable water production plants
- Biel, Stella: Bewertung von Instrumenten der strategischen Planung für den Einsatz von Technologien zur Spurenstoffelimination in der kommunalen Abwasserbehandlung
- Brkljaca, Florian: Improving the removal of trace organic compounds during sequential biofiltration by varying different key parameters
- Dong, Quang Huy: Pressure modulation using pressure reducing valves and pumps as turbines in drinking water supply networks
- Emmer, Ludwig: Evaluation der Nutzung produktbezogener Umweltinformationen im Kontext aktueller rechtlicher und politischer Rahmenbedingungen sowie künftiger Anforderungen
- Faßnacht, Jakob: The development of co-digestion in wastewater treatment plants with a special focus on the legal framework
- Gabauer, Wolfgang: Continuous lab scale bio-trickling filter for biogas desulfurization and sulfuric acid production
- Gerg, Regina: Evaluation of nitrous oxide emissions of single- and double-stage deammonification systems and development of process optimization strategies
- Gossler, Fabian: Evaluation of two Methods to Extract Dissolved Nitrous Oxide from Water with Respect to the Operational Conditions of the CANDO
- Grigoriadou, Vaia: Influence of background organic carbon ozonation on micropollutant degradation and oxygen consumption in soil aquifer treatment
- Hu, Yiwei: Reaction Kinetics in an Anaerobic-Anoxic Nitrous Oxide Producing Bioreactor
- Huang, Sichao: The occurrence, diversity, abundance of putative NO dismutase carrying microbes in wastewater treatment systems
- Huber, Lukas: Aufbereitung von Gärresten zur Nährstoffrückgewinnung durch Kristallisation von Struvit
- Kampa, Sarah: Standardprotokolle für die Durchführung von Gärtests im Batchverfahren: Überblick und Unterschiede
- Knysak, Magdalena: Begleitende Untersuchungen während der Inbetriebnahme einer großtechnischen Prozesswasserbehandlungsanlage mittels zweistufiger Deammonifikation am Beispiel des Gruppenklärwerks Kempten-Lauben
- Laura Catalina Ospina Espitia: Potential of organic waste use for biogas production under conditions of Columbian middle-sized municipalities: Strategy for sustainable waste management and energy generation
- Lindholm, Katharina: Characterisation and optimisation of hydrodynamics in a boron-doped diamond electrode reactor for the advanced oxidation of trace organic chemicals
- Muntau, Meriam: Assessment and management of emerging contaminants in indirect reuse systems: Surface spreading in Braunschweig
- Ruppersberg, Joschko: Das neue DWA Arbeitsblatt A-131 (2016) als Werkzeug für einen verfahrenstechnischen Variantenvergleich
- Schlemmer, Felix: Optimierung der Umsatzrate und Lachgasemission in der einstufigen Deammonifikation mithilfe einer experimentellen Versuchsplanung
- Simbida, Ivana: Abbaubarkeit und potenzielle Hemmeffekte von Prozessabwasser aus dem Mephrec Verfahren: Auswirkungen auf den Klärwerksprozess
- Tackaert, Rodrigo: Demonstrating Potable Reuse Robustness through the Preclusion of Selected Indicator Compounds
- Thies, Cornelius: Untersuchung unterschiedlicher Operationsparameter auf das Foulingverhalten einer Ultrafiltrationsmembrananlage
- Usman, Muhammad: Numerical and Experimental Investigations of Colloidal Fouling in the Context of Membrane Systems Powered by Renewable Energies
- Vatankhah, Hooman: Comparison of polymeric and ceramic MF/UF Membranes for the Treatment of Produced Water
- Vavelidou, Anastasia: Mass Spectrometry based Investigation on the Transformation of Trace Organic Chemicals by peroxidase from horseradish - Establishment of Single and Multiplex Approaches
- Vikainen, Jussi: Investigations into the Rhizospheric Mobile Gene Pool for New Bioremediation Applications



- Wang, Siyun: Auswirkungen von verschiedenen Verfahrensparametern und Wasserinhaltsstoffen auf die elektrochemische Ozon- und Nebenproduktbildung bei der Nutzung Bor-dotierter Diamantelektroden
- Weingartner, Carolina: Techno-economic analysis of an off-grid power system with hydrokinetic power generation and electrochemical storage
- Weiss, Oliver: Water loss and pressure management: Strategies for the reduction of water losses in drinking water networks
- Winkler, Sebastian: Effects of Electron Shuttles, Flow Rate and Mineral Coating on Manganese Dioxide Reduction by Geobacter Sulfurreducens in soil and groundwater remediation
- Wojak, Nadja: Untersuchung zum Einfluss von Streusalz auf die Mobilität von Schwermetallen und die Partikelgrößenverteilung der Sedimente in Regenbecken an Autobahnen
- Youl, Han: Isolation and characterization of Bacteriophages of Pseudomonas aeruginosa

#### Studienarbeiten

- Dery, Alicia: Membrane Fouling of Nanofiltration Membrane (NF270): Fouling Potential and Cleaning Strategies
- Dong, Quang Huy: Studies on the effect of road salt on the sedimentation process in stormwater basins
- Ebert, Vanessa: Variation of zinc contents in the topsoils of four vegetated infiltration swales at a zinc roof
- Eckl, Veronika: Umsetzung des DWA-Arbeitsblattes A262 in die Praxis am Beispiel einer Pflanzenkläranlage in Oberbayern (Niklasreuth)
- Fettback, Tim: Design of a Water Recycling Facility with the Purpose of Urban Farming A Case Study in Dar es Salaam, Tanzania
- Gerg, Regina: Planning a trench for the disposal and treatment of rainwater
- Hartl, Rebecca: Evaluation of two double-staged deammonification systems (activated sludge and biofilm) at the pilot plant of the WWTP Kempten-Lauben (Allgäu), including their nitrous oxide production
- Huber, Lukas: Analyse und Optimierung eines Systems zur Schwimmstoffentfernung aus Fermentern
- Ji, Muyang: The Role of Amidase Enzyme BbdA in 2,6-Dichlorobenzamide Degradation
- Li, Le: Impacts of Inocula on Biochemical Methane Potential
- Loder, Thomas: Accounting for a two-stage cascade for deammonification with sequencing batch reactor and granula loop
- Lorenz, Tobias: Cause investigation and reduction measures for the excessive ammonium concentration in the tap water of the Tegernseer Hütte
- Muntau, Meriam: Reuse of water and valuable products from dairy products
- Pertschik, Eugenia: Recherche zum Thema Lebensmittelabfälle in Deutschland
- Posa, Andrea: Vorgänge im Transport- und Speichersystem von Cyperus alternifolius und Scirpus validus während der Phytoremediation des Humanarzneimittels Diclofenac
- Ruppersberg, Joschko: Optimization of a two-stage cascade for deammonification with sequencing batch reactor and granula loop reactor
- Schlemmer, Felix: Development of a practicable activity test for deammonifying activated sludge as an operating method
- Thalmann, Christian: Investigation of different key parameters to improve the removal of trace organic compounds during sequential biofiltration
- Thiel, Paul: Investigation of nitrous oxide sensors for online monitoring of intentionally produced biogenic nitrous oxide concentrations
- Zeitler, Carolin: Solid waste management in developing countries: Characterization of municipal solid waste

#### Bachelorarbeiten

- Bruckmaier, Felix: Removal of Trace Organic Compounds during Biofiltration: The Role of Hydraulic Residence Time and Dissolved Organic Matter A Literature Review
- Burkart, Tobias: Untersuchungen zur Optimierung der biologischen Abbaubarkeit
- Cavedon, Oliver: OH-Radikalexposition als Vergleichskonzept weitergehender Oxidationsverfahren in der Wasseraufbereitung -UV basierte AOP-Verfahren
- Colina, Andrijana: OH-Radikalexposition als Vergleichskonzept weitergehender Oxidationsverfahren in der Wasseraufbereitung
   elektrochemische und physikalische AOP-Verfahren
- Dendorfer, Laura: Low-Tech Desinfektionsverfahren zur Wasseraufbereitung in Entwicklungsländern
- Diepold, Daniela: Erarbeitung eines Untersuchungskonzepts zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der biologischen Filtration für die Spurenstoffelimination
- Eckert, Jennifer: Charakterisierung des Einflusses der Wassermatrix auf den UV/H2O2-Oxidationsprozess



- Eibach, Veronika: Untersuchungen zum Einfluss von Salinität auf die Viskosität der Sedimente von Regenbecken
- Even, Max: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Neuerungen des DWA-A 131
- Hentschel, Anton: Untersuchung zur Ertüchtigung von Pflanzenkläranlagen zur Abwasserbehandlung im ländlichen Raum
- Kern, Tobias: Aufbau dezentraler Behandlungsanlagen für Verkehrsflächen- und Dachabflüsse Eine vergleichende Studie
- Mayerhofer, Marvin: OH-Radikalexposition als Vergleichskonzept weitergehender Oxidationsverfahren in der Wasseraufbereitung katalytische AOP-Verfahren
- Pfluger, Samuel: Analyse und Vergleich verschiedener Infiltrationstechniken zur künstlichen Grundwasseranreicherung
- Pompl, Lucas: Comparison of different sample preservation strategies to ensure sample stability prior to measurement
- Prahtel, Marlies: Vergleichende energetische Betrachtungen am Beispiel einer Kläranlage mit und ohne vierte Reinigungsstufe
- · Scharfenberg, Niklas: Light quality response in microalgae: Effects on growth and biochemical composition
- Schippan, Arne: Potentialanalyse der Energieertragssteigerung auf kommunalen Kläranlagen durch Anwendung des CANDO-Verfahrens
- Schmelzing, Helene: Classification of uncategorized compounds in the STOFF-IDENT database for the FOR-IDENT project
- Sprafke, Aileen: Biozide in Gebäudefassaden Vorkommen und Relevanz
- Vidos, Matijas: OH-Radikalexposition als Vergleichskonzept weitergehender Oxidationsverfahren in der Wasseraufbereitung: Ozonbasierte AOP-Verfahren
- Wörl, Phillip: Revision der ISO 14001 Änderung der Norm und Integration der Neuerung in das Umweltmanagementsystem der MAN



# Dissertationen und Auszeichnungen

Bettina Huber hat am 13. September 2016 ihre Promotion zum Dr. rer. nat. mit dem Titel "Biogenic Sulfuric Acid Corrosion in Sludge Digesters-Characterization of the bacterial groups and the corrosion potential" unter Betreuung von Herrn Prof. Jörg Drewes erfolgreich verteidigt (Abbildung 40). Frau Dr. Huber beschäftigte sich in ihrer Arbeit mit der biogenen Schwefelsäure Korrosion (BSK). Die BSK ist ein schwerwiegendes und kostspieliges Problem, das vor allem in der Abwasserkanalisation vorkommt. Das Auftreten von typischen BSK Schadensphänomen im Gasraum verschiedener Faulbehälter weist darauf hin, dass BSK auch eine Rolle in diesen Bauwerken spielen kann. Das Ziel dieser Arbeit war es, den BSK Prozess in Faulbehältern zu untersuchen. Diese Untersuchungen beinhalteten die Identifizierung der am Korrosionsprozess beteiligten Sulfat-reduzierenden und Schwefel-oxi-

dierenden Bakterien (SRB und SOB) und die Analyse des Korrosionspotentials. Für ein besseres Verständnis des BSK Potential im Faulbehälter wurden chemische und biogene Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Versuche mit Zementstein, welcher als Bindemittel im Beton enthalten ist und Beton, das dominante Baumaterial von Faulbehälter, durchgeführt.



Abbildung 40: Prüfungskomitee von Bettina Huber

**Maximilian Huber** hat am 15. Juni 2016 seine Promotion unter Betreuung von Frau Prof. Dr. Brigitte Helmreich zum Dr.-Ing. mit Auszeichnung abgeschlossen (Abbildung 41). Thema der Arbeit von Herrn Huber war "Development and Evaluation of an Assessment Method for Decentralized Stormwater Treatment Systems for Runoff



Abbildung 41: Prüfungskomitee von Maximilian Huber

from Traffic Areas". Herr Dr. Huber beschäftigte sich in seiner Dissertation mit der Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Bewertung dezentraler Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse, in dem die verfahrenstechnische Problemlösung im Vordergrund stand. Herr Huber ist es gelungen, dabei fundamentale Untersuchungen mit sehr zielgerichteten praxisnahen Validierungen zu verknüpfen, die aufgrund ihrer



hohen Relevanz bereits Eingang in die ingenieurtechnische Praxis gefunden haben. Seine Ergebnisse sind nicht nur in den in die Dissertationsschrift kumulativ eingebundenen acht Publikationen in referierten Fachzeitschriften mit ihm als Erstautor eingegangen, sondern haben auch schon ihren Weg in die Überarbeitung bestehender Prüfverfahren des Deutschen Instituts für Bautechnik gefunden.



**Thomas Lippert** wurde für seine Masterarbeit "Hydrodynamische und stoffliche Modellierung von osmotischen Membranmodulen – Ein Modellierungsansatz unter Verwendung von COMSOL Multiphysics™" im Bereich Entsalzung durch die DME e.V. ausgezeichnet.

Die Masterarbeit "Hydrodynamische und stoffliche Modellierung von osmotischen Membranmodulen – Ein Modellierungsansatz unter Verwendung von COMSOL Multiphysics<sup>TM</sup>" (Originaltitel in Englisch: "Hydrodynamics and Transport Phenomena within Osmotic Membrane Modules – A Modeling Approach by Use of COMSOL Multiphysics<sup>TM</sup>") befasst sich mit der Hydrodynamik und dem Transport von gelösten Substanzen innerhalb von Membran-Wickelmodulen. Die Ergebnisse zeigen, dass das eigentliche Wirkprinzip der *feedspacer* die Unterbrechung der hydrodynamischen Grenzschicht ist. Ferner wurde gezeigt, dass ein unstetiges bzw. turbulentes Strömungsprofil keine signifikant verbesserte Abschwächung der Konzentrationspolarisation an der Membran, jedoch einen stark erhöhten Druckabfall verursacht. In der Arbeit wurde eine neue Methode der *feedspacer* Messung per Computertomographie (CT) eingeführt, welche im Vergleich zu konventionellen mikroskopischen Messverfahren zu einer maßgeblich verbesserten Simulationsgenauigkeit führt.

Die Bedeutung der erzielten Ergebnisse sowie die Einführung der CT Messmethode sind für die genaue Abbildung der hydrodynamischen Eigenschaften von Membranmodulen von enormer Wichtigkeit und ermöglicht in Zukunft gezielte Verbesserungsstrategien der *feedspacer* Geometrien. Ziel ist die Entwicklung hydrodynamisch optimierter und dem Fouling entgegenwirkender Spacer. Die Arbeit wurde von Nils Horstmeyer und Prof. Jörg Drewes betreut.



## 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 2016 angeboten:

#### Sommersemester

- Advanced Water Treatment Engineering and Reuse: Drewes, Jörg
- Anaerobtechnik und Energierückgewinnung: Koch, Konrad
- Bewirtschaftung von Kanalnetzen und Regenwassermanagement: Helmreich, Brigitte; Horstmeyer, Nils
- Brauchwasser: Glas, Karl
- Ergänzungskurs Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft: Helmreich, Brigitte;
   Drewes, Jörg;
- Exkursion Kanalisation: Weißbach, Maximilian; Helmreich, Brigitte
- Hydrochemistry Laboratory: Helmreich, Brigitte
- Klärschlammbehandlung: Koch, Konrad
- Microbiology of Groundwater Ecosystems: Griebler, Christian; Lüders, Tilman
- Modelling of aquatic systems: Koch, Konrad
- PhD Seminar SiWaWi: Drewes, Jörg, Koch, Konrad
- Projektkurs Siedlungswasserwirtschaft: Drewes, Jörg
- Thermodynamik und Energietechnik Übung: Hübner, Uwe
- Thermodynamik und Energietechnik: Hübner, Uwe
- Umweltanalytik: Letzel, Thomas
- Umweltrecht: Spieler, Martin
- Urban Climate Anwendungen: Katzschner, Lutz
- Waste Water 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 SiWaWi: 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



# Fördergesellschaft des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft e.V.

ANSPRECHPART-NERIN: RAPHAELA HOFMANN 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.

089/28913727 FOERDERVEREIN@ BV.TUM.DE 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.



sww@tum.de

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



# 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 (M.Sc.) +49.89.289.13702 s.bieber@tum.de



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



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



Gudrun Lampart (Dipl.-Geogr.) +49.89.289.13704 g.lampart@tum.de



Carmen Leix (Dipl.-Ing.) +49.89.289.13797 c.leix@tum.de



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



Natalie Magalhaes (M.Sc.) 089/28913797 nataliemagalhaes@ yahoo.com.br



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 Regnery (Dr.) +49.89.289.13720 j.regnery@tum.de



Lara Stadlmair
(Dipl.-Lebensmit-telchem.)
+49.89.289.13711
lara.stadlmair@tum.de



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



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



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



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





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.) +49.89.289.13733 eseagren@mtu.edu



**Yun Zhang** (Dr.)

ווט.)

+49.89.289.13707

#### 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



**Huber 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



# **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



# Spendenkonto

Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls e.V., Postbank München

IBAN: DE04 7001 0080 0034 9498 02

BIC: PBNKDEFF

# **Editorin**

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft Dipl.-Ing. Carmen Leix