

forum 90

Mitteilungsblatt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

**JAHRESBERICHT DES
LEHRSTUHL FÜR
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT
2019**

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

VORWORT	1
VERSUCHSANSTALT DES LEHRSTUHL	3
N ₂ O VERMEIDUNG BEI DER BEHANDLUNG HOCH STICKSTOFFREICHER ABWÄSSER	4
CHEMISCH-PHYSIKALISCHES, ANALYTISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES LABOR	5
ARBEITSGRUPPE ENTWÄSSERUNGSSYSTEME	8
PRAXISERFAHRUNG ZUM UMGANG MIT DEZENTRALEN BEHANDLUNGSANLAGEN FÜR VERKEHRSFLÄCHENABFLÜSSE	9
KOMPLEXIERUNG VON BIOZIDEN UND SCHWERMETALLEN IM URBANEN NIEDERSCHLAGSABFLUSS.....	10
ENTWICKLUNG EINES MODELLS ZUR BEWERTUNG DER UMWELTRELEVANTEN EIGENSCHAFTEN ÜBLICHER PUTZE UND MÖRTEL IM AUßENBEREICH	11
ZUSTAND DER KANALISATION IN BAYERN – DATENSTAND 2018.....	12
NUTZWASSERWIEDERVERWENDUNG FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE UND URBANE BEWÄSSERUNG IN UNTERFRANKEN.....	13
STRATEGIE ZUR NUTZUNG EINER AMMONIUMBETONTEN-N-ERNÄHRUNG ZUR VERBESSERUNG DER P-VERSORGUNG JUNGER PFLANZEN AUS SCHWERLÖSLICHEN P-DÜNGERN SOWIE DEM P-BODENVORRAT ZUR MINIMIERUNG DES EINTRAGS VON N UND P AUS LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN IN GEWÄSSER.....	14
ARBEITSGRUPPE ENERGIEEFFIZIENTE ABWASSERBEHANDLUNG	15
OPTIMIERUNG DER MIKROBIOLOGISCHEN METHANISIERUNG IN THERMOPHILEN ANAEROBEN RIESELBETTREAKTORN.....	16
OPTIMIERUNG DER MIKROBIOLOGISCHEN METHANISIERUNG IM ANAEROBEN RIESELBETTREAKTOR UND DEMONSTRATION DES REAKTORBETRIEBS IM PILOTMAßSTAB	17
STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ BEI DER ABWASSERREINIGUNG DURCH INNOVATIVE ULTRASCHALLDESINTEGRATION ...	18
HOHEFFIZIENTE ULTRASCHALLSYSTEME FÜR DIE VORBEHANDLUNG VON KLÄRSCHLAMM.....	19
ERHÖHTE METHANPRODUKTIVITÄT IN BIOGASANLAGEN DURCH CO ₂ -ANREICHERUNG	20
ARBEITSGRUPPE WEITERGEHENDE WASSERBEHANDLUNG	21
EINTRAG VON OZON IN GRUNDWASSER ÜBER GASPERMEABLE MEMBRANEN ZUR IN-SITU SANIERUNG VON BTEX SCHADENSFÄLLEN.....	22
REAKTIVITÄT UND TRANSFORMATION FUNKTIONELLER GRUPPEN VON SPURENSTOFFEN UND ORGANISCHER HINTERGRUNDMATRIX BEI DER OZONIERUNG VON ABWASSER	23
PLANUNGSOPTIONEN UND TECHNOLOGIEN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG ZUR STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG IN URBANEN WASSERKREISLÄUFEN	24
VERBLEIB VON ANTIBIOTIKARESISTENTEN BAKTERIEN UND DEREN RESISTENZGENEN BEI WEITERGEHENDEN WASSERAUFBEREITUNGSVERFAHREN.....	25
ENTWICKLUNG ADAPTIVER FORTSCHRITTLICHER VERFAHREN UND SYSTEME ZUR ENTFERNUNG WIDERSPENSTIGER PERFLUORIERTER VERBINDUNGEN AUS WASSER	26
BIOENERGETISCHES GERÜST FÜR MIKROBIELLE TRANSFORMATIONEN VON SPURENORGANISCHEN CHEMIKALIEN (NOWELTIES)	27
BEGLEITERSCHEINUNGEN EINES VERSTÄRKTEN EINSATZES VON FÄLLMITTELN ZUR PHOSPHORELIMINATION	28
ARBEITSSCHWERPUNKT URBAN WATER-ENERGY-FOOD (WEF) NEXUS	29
ARBEITSGRUPPE MEMBRANFILTRATION	30
ENTWICKLUNG EINES UV-BESTRAHLUNGSSYSTEMS ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ VON UMKEHR-OSMOSE- MEMBRANVERFAHREN ZUR WASSERAUFBEREITUNG.....	31

Inhaltsverzeichnis

OPTIMIERUNG DER ENTFERNUNGSEFFIZIENZ VON ANTIBIOTIKARESISTENTEN BAKTERIEN UND ANTIBIOTIKARESISTENZGENEN DURCH MIKRO- UND ULTRAFILTRATION IN KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN.....	32
ARBEITSGRUPPE MIKROBIELLE SYSTEME.....	33
ENTFERNUNG VON SPURENSTOFFEN DURCH FUNKTIONELLE MIKROBIELLE MODELLGEMEINSCHAFTEN	34
ARBEITSGRUPPE SPURENSTOFFE IN DER UMWELT	35
VALIDIERUNG DER ANALYSEMETHODEN FÜR MIKRO & SUBMIKROPLASTIK IN UMWELTMATRICES	36
ANALYTIK VON (SUB)MIKROPLASTIKPARTIKELN UND SORBIERTEN SPURENSTOFFEN MIT TD-PYR-GC/MS	37
VORHERSAGE DER IONISATIONS-RATEN IN EINER ESI IONENQUELLE MITTELS MASCHINELLEM LERNEN.....	38
FOR-IDENT – NACHHALTIGKEIT: ABSCHLIEßENDES JAHR.....	39
NEUE ANALYTISCHE STRATEGIEN ZUR BESTIMMUNG ANTHROPOGENER SPURENSTOFFE IN PFLANZEN: PFLANZLICHE BIOMONITORE FÜR VERUNREINIGUNGEN IN DER UMWELT	40
POLARITÄTSERWEITERTES HRMS-SCREENING ZUR UMFASSENDEN ERFASSUNG (HOCH)POLARER SPURENSTOFFE IN DER AQUATISCHEN UMWELT	41
IDENTIFIKATION UND VERHALTEN POLYFLUORIERTER VORLÄUFERVERBINDUNGEN IN DER UMWELT.....	42
GASTWISSENSCHAFTLER	43
INTERNATIONALE KOOPERATIONSPARTNER	44
NATIONALE & INTERNATIONALE GREMIENARBEIT	45
DWA-ARBEITSGRUPPEN	45
ZEITSCHRIFTEN REDAKTEUR.....	46
WASSERCHEMISCHE GESELLSCHAFT	46
NACHWUCHSFÖRDERUNG / WORKSHOPS / SONSTIGE AKTIVITÄTEN	47
30. WASSERTECHNISCHES SEMINAR (WTS)	47
47. ABWASSERTECHNISCHES SEMINAR (ATS)	48
YOUNG WATER REUSE PROFESSIONALS (YWRP)	49
SCIENCLISTEN	49
BETRIEBSAUSFLUG IM SOMMER 2019.....	49
GEPLANTE VERANSTALTUNGEN IN 2020.....	50
48. ABWASSERTECHNISCHES SEMINAR AM 15 JULI 2020: REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG IN ZEITEN DES KLIMAWANDELS	50
PUBLIKATIONEN	52
DISSERTATIONEN UND AUSZEICHNUNGEN	62
LEHRE.....	65
FÖRDERGESELLSCHAFT DES LEHRSTUHL FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT E.V.....	67
MITARBEITERINNEN.....	68
KONTAKT	73



JÖRG E. DREWES
(PROF. DR.-ING.)

089/28913713
JDREWES@
TUM.DE

Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls,

Ich freue mich, Ihnen mit dieser Ausgabe unseren Jahresbericht 2019 überreichen zu können. Das vergangene Jahr war geprägt durch spannende Forschungsaktivitäten, erfreuliche Drittmittelwerbungen, die Organisation von zwei nationalen und einer internationalen Veranstaltung sowie einigen personellen Veränderungen. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls sind weiterhin sehr aktiv ihre gewonnenen Erkenntnisse auch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu publizieren und mit der nationalen und internationalen Fachöffentlichkeit in Vorträgen zu teilen. Wir freuen uns sehr für Frau Dr. rer. nat. Karin Hellauer, Herrn Dr.-Ing. Nils Horstmeyer und Herrn Dr.-Ing. Johann Müller für den erfolgreichen Abschluss ihrer Promotionen im vergangenen Jahr. Wir dürfen auch stolz sein auf Herrn Dr.-Ing. Max Weißbach, der für seine Doktorarbeit mit dem Willy-Hager Preis 2019 ausgezeichnet wurde. Ganz besonders freuen wir uns für Herrn Dr. Christian Wurzbacher, der eine Emmy-Noether Nachwuchsgruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft einwerben konnte. Dieses sehr kompetitive Programm eröffnet herausragenden Forscherinnen und Forschern die Möglichkeit durch die eigenverantwortliche Leitung einer Nachwuchsgruppe die Voraussetzungen für eine Berufung als Hochschullehrerin bzw. Hochschullehrer zu erlangen. Eine besondere Ehre wurde auch Herrn Philipp Sperle zu teil, der für seine Masterarbeit den H.P. Scholz Preis 2019 erhielt. Wir gratulieren noch einmal ganz herzlich!

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

Nach längerer Pause veranstalteten wir im Februar des vergangenen Jahres das 30. Wassertechnische Seminar (WTS) mit dem Thema "Strategien für den Umgang mit Grundwasserkontamination durch perfluorierte Verbindungen (PFCs)" im Oskar-von-Miller Forum in München, das federführend von Dr. Oliver Knoop organisiert wurde. Dieses Thema ist nicht nur im Freistaat Bayern sondern auch in Deutschland brand aktuell und wir haben uns dabei über mehr als 100 Teilnehmer*innen und sehr gute Diskussionen gefreut. Im Juli 2019 fand dann das 47. Abwassertechnische Seminar (ATS) zum Schwerpunkt „Weitergehende Abwasserbehandlung – Anforderungen, Finanzierung und Umsetzung“ in Ismaning statt, das von Herrn Dr. Hübner organisiert wurde. Das 48. ATS ist für den 15. Juli 2020 in Ismaning geplant und wird sich dem Thema "Regenwasserbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels" unter Federführung von Frau Prof. Brigitte Helmreich widmen. Das Programm dieser Veranstaltung finden Sie in dieser Ausgabe des FORUMs sowie auf unserem Webportal. Dort können Sie sich auch online anmelden (www.sww.bgu.tum.de/). Über Ihr Interesse an dieser Veranstaltung würden wir uns sehr freuen.

Auch in unserem 'Kerngeschäft' leistete der Lehrstuhl im vergangenen Jahr wieder 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 Mitarbeiter*innen des Lehrstuhls die beeindruckende Anzahl von 108 Masterarbeiten, Studien- und Bachelorarbeiten.

International war der Lehrstuhl sehr stark in der Organisation der 12th International Conference on Water Reclamation and Reuse der International Water Association (IWA) im Juni 2019 in Berlin involviert, an der über 400 internationale Delegierte teilnahmen. National engagierten sich unsere MitarbeiterInnen bei etlichen Arbeitskreisen der DWA, der Wasserchemischen Gesellschaft der GdCh sowie international in den NORMAN Arbeitskreisen auf europäischer Ebene und bei der International Water Association (IWA). Im Oktober 2019 fanden die Fachkollegienwahlen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Wahlperiode 2020-2023 statt. Ich freue mich, Ihnen mitteilen zu können, dass ich mit Unterstützung vieler, vieler Kolleginnen und Kollegen als Vertreter der Siedlungswasserwirtschaft und Wasserchemie in das Fachkollegium 318 'Wasserforschung' gewählt wurde. Als Vertreter der Specialist Group wurde ich auch in den Strategic Council der International Water Association gewählt.

Das Jahr 2019 brachte einige personelle Veränderung mit sich. Wir freuen uns, dass Frau Susanne Petz die Leitung des chemischen Labors zum 1. Februar 2019 übernommen hat. Bedauerlicherweise hat uns Herr Dr.-Ing. Bertram Skibinski, der die Arbeitsgruppe 'Membranfiltration' leitete, aus persönlichen Gründen zum November 2019 verlassen.

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

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

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

Ihr,





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

089/28913719
B.HELMREICH
@TUM.DE



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

089/28913704
C.LINDENBLATT
@TUM.DE

Versuchsanstalt des Lehrstuhls

Die Versuchsanstalt des Lehrstuhls führt Prozessvalidierungen für Trinkwasser- und Abwasseraufbereitungen im Labor- und Pilotmaßstab durch und übernimmt Material-, Anlagen- und Verfahrensuntersuchungen sowie Auftragsarbeiten für Industrie, mittelständische Betriebe und Behörden in Forschung und Entwicklung. Sie verfügt über ein Technikum (400 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/H₂O₂) sowie zur Membranfiltration (Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose) zur Verfügung (Abbildung 1).

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



Abbildung 1: Nanofiltrationspilotanlage
(80 L/min)



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

089/28913704
C.LINDENBLATT
@TUM.DE

N₂O Vermeidung bei der Behandlung hoch stickstoffreicher Abwässer

Biologische Behandlung erfordert Nähr- und Spurenstoffe

Abwässer aus Industriebetrieben weisen oft erhöhte Salzkonzentrationen auf, die bei einseitiger Zusammensetzung eine biologische Behandlung beeinflussen. Für die Einleitung von Abwasser sind je nach Abwasseranfall Mindestanforderungen einzuhalten vor allem beim CSB und Stickstoff.

Kohlenstoff-Abbau

Bisher durchgeführte Projekte zur biologischen Abbaubarkeit zeigen, dass beim Kohlenstoffabbau (CSB) Abbaugrade von mehr als 80 % erreichbar sind, auch bei Salzkonzentrationen von 30 g/L und einer Hemmungen (nach Offhaus) von weniger als 1 %. Im aktuellen Projekt zur Behandlung von Abwasser aus einer Industrieräscherei konnte gar bei gemessenen 4 % Hemmung, einer Salzkonzentration von ~ 10 g/L sowie einer CSB-Belastung von 2,6 g/(m³ d) mehr als 90 % abgebaut werden. Allerdings waren nach der Ionen-Analyse dem einseitig zusammengesetzten Abwasser aus chemisch-physikalischer Vorbehandlung verschiedene Additive zu dosieren. Ökonomisch könnte auch die anaerobe Behandlung sein mit mehr als 5 g_{CSB}/L, wie mit dem „Automatik Methan Potential Test System“ nachzuweisen war.

Stickstoff-Abbau

In einem weiteren Projekt zur Stickstoff-Entfernung aus sehr salzhaltigen Industrieabwässern nach anaerober Vorbehandlung wurden ein- und zweistufige Verfahrensvarianten auf ihre Leistungsfähigkeit getestet.

Es zeigte die erste Stufe (Nitritation) bei 32 °C einen stabilen Betrieb mit mehr als 50 % NH₄-N Oxidation bei ~ 10 g/L Salz (Leifähigkeit 26 mS/cm) und 3 g/L Stickstoff im Zulauf. Allerdings war in der zweiten Stufe (Anammox) nach 25 Messwochen kein stabiler Betriebszustand mit 150 g_N/(m³ d) Stickstoffabbau und 80 % Abbaugrad zu erreichen. Dem gegenüber konnte in einem einstufigen SBR bei Belastung von etwa 230 g/(m³ d) betriebsstabil 90 % des Stickstoffs reduziert werden.

Der CSB dieses Industrieabwassers war nur zu ~ 30 % abbaubar und bei dem geringen CSB/NH₄-N Verhältnis von < 0,2 wurde der Stoffwechsel durch geringe Dosierung einer Kohlenstoffquelle stabilisiert. Die Ergebnisse der N₂O-Messungen zeigten, wie auch in vorangegangenen Untersuchungen festgestellt wurde, bei der einstufigen Behandlung im SBR nur gering messbare N₂O-Konzentrationen, während in der 1. Stufe bei permanenter Belüftung dreißigfach höhere Konzentrationen vorlagen. Dem entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die Differenz von bis zu 20 % der Stickstoffbilanz während der Nitritation als N₂O Gas emittiert wird.



SUSANNE PETZ
(DR. RER. NAT.)

089/28913702
SUSANNE.PETZ
@TUM.DE



OLIVER KNOOP
(DR. RER. NAT.)

089/28913702
O.KNOOP
@TUM.DE



CHRISTIAN WURZBACHER
(DR. RER. NAT.)

089/28913797
C.WURZBACHER
@TUM.DE

Chemisch-physikalisches, analytisches und mikrobiologisches Labor

Das Labor ist eine zentrale Einrichtung der Versuchsanstalt und des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft. Es wird in die Bereiche chemisch-physikalisches Labor, Spurenstoffanalytik und mikrobiologisches Labor eingeteilt, die jeweils von Dr. Susanne Petz (seit 02/2019), Dr. Oliver Knoop und Dr. Christian Wurzbacher geleitet werden.

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

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

Das mikrobiologische Labor verfügt über konventionelle Techniken zur Bestimmung der für die hygienische Wasserqualität relevanten fäkalen Indikatorkeime. Für Desinfektionsversuche bieten wir Biodosimetrie sowie einen direkten Nachweis von geschädigten Mikroorganismen an. Bakterielle Zellzahlen und Antibiotikaresistenzgene werden zusätzlich molekular quantifiziert (quantitative PCR). Zur Charakterisierung von mikrobiellen Gemeinschaften kommen Hochdurchsatzsequenzierungstechnologien zum Einsatz.



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



Abbildung 3: QTRAP-MS-System von AB-Sciex für die hochsensitive Detektion von Spurenstoffen



Abbildung 4: Links: PCR und qPCR-System zum Amplifizieren und Quantifizieren von ausgewählten Genen. Rechts: Mikrobielle Kulturen für Experimentea

Im Laufe des Jahres 2019 konnten wir unsere Labore um einige hochwertige Neuananschaffungen erweitern und alte Geräte austauschen.

Chemisch-physikalisches Labor



Abbildung 5: Links: CSB/SMA 12 L der Firma Behr; Mitte: Ionenchromatographie-System 930 IC Compact Flex mit 858 Professional Sample Prozessor der Firma Metrohm; Rechts: Eco Titrator A-cid/Base der Firma Metrohm

Spurenstoffanalytik

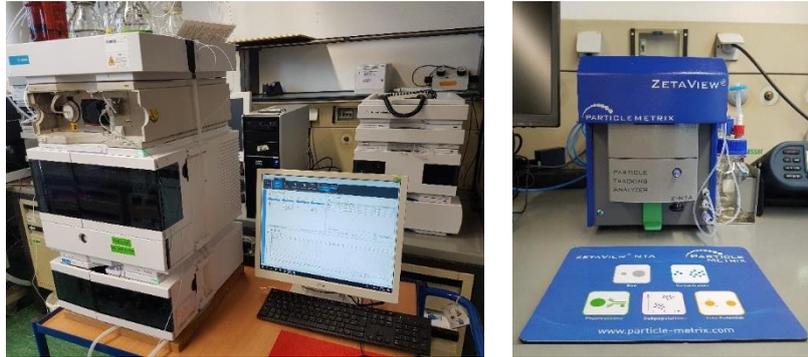


Abbildung 6: Links: 1260 Infinity-LC-System von Agilent; Rechts: ZETAVIEW® Basic NTA von Particle Metrix

Mikrobiologisches Labor



Abbildung 7: Links: DeNovix QFX Fluorometer; Rechts: Infinite M Plex Plate Reader von Tecan



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

089/28913719
B.HELMREICH
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Entwässerungssysteme

Die Arbeitsgruppe Entwässerungssysteme unter Leitung von Frau Prof. Dr. Brigitte Helmreich beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit nachhaltigem Regenwassermanagement im urbanen Raum. In zahlreichen Ballungszentren kommt es bereits jetzt zu extremen Nachverdichtungen und einer deutlichen Reduzierung innerstädtischer Grünflächen. Damit wird aus wasserwirtschaftlicher Sicht die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung vor eine große Herausforderung gestellt. Parallel dazu nehmen im Klimawandel die Häufigkeit, Dauer und Intensität von Wetterextremen wie Starkregenereignisse und Hitzewellen zu und führen zu einer regelmäßigen Überlastung der Kanalisation bzw. der Zunahme von sommerlichem Hitzestress und Wassermangel in besonders betroffenen Regionen. Belastbare, stabile Konzepte zur nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung müssen entwickelt werden.



Abbildung 8: Straßenablauf im Winter

Zusätzlich zur quantitativen Betrachtung der Regenwasserabflüsse befestigter Flächen dürfen qualitative Aspekte nicht vernachlässigt werden. Ein Schwerpunkt der Arbeitsgruppe ist daher das Monitoring der Schadstoffe der Abflüsse befestigter Flächen (Straßen, Fassaden, Dächer) sowie die Entwicklung und Evaluierung dezentraler Behandlungsanlagen.

Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich auch mit Strategien zur Zustandsbewertung und Sanierung von Kanalsystemen. Die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems ist zur Sicherstellung der Abwasserentsorgung entscheidend, daher ist eine Evaluierung des Zustandes der Kanalisation in regelmäßigen Abständen von zentraler Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wird derzeit aufbauend auf einer Studie von 2012 eine Erhebung und Auswertung zum Zustand der Kanalisation im Auftrag des Bayerischen Landesamt für Umwelt durchgeführt. Ebenso wurden in 2019 Masterarbeiten zur Prognose des Sanierungsbedarfs der Kanalisation durchgeführt.



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

089/28913733
S.ROMMEL
@TUM.DE

Praxiserfahrung zum Umgang mit dezentralen Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse

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



Abbildung 9: Dezentrale Behandlungsanlage von Strassenentwässerungsabläufen

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

Außer zahlreiche Laboruntersuchungen gibt es jedoch bisher wenige wissenschaftlich dokumentierte Erfahrungen zum Verhalten von dezentralen Behandlungsanlagen im Praxisbetrieb

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

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT;
LANDESHAUPT-
STADT MÜNCHEN



PANFENG ZHU
(M.Sc.)

089/28913712
PANFENG.ZHU
@TUM.DE

Komplexierung von Bioziden und Schwermetallen im urbanen Niederschlagsabfluss

Biozide finden angesichts ihrer breiten Anwendung im städtischen Bereich als Zusatz von Farben und Putzen bei Gebäudefassaden immer mehr Bedeutung und Beachtung. Unter ihnen sind Mecoprop, Diuron, OIT und Terbutryn, die bereits häufig in den Abflüssen städtischer Einzugsgebiete im $\mu\text{g/L}$ -Konzentrationsbereich nachgewiesen werden können. Außerdem wurde laut einer in Freiburg durchgeführten Studie festgestellt, dass die Konzentration von Bioziden im Grundwasser nach einem Regenereignis erhöht war. Dies bedeutet eine potenzielle Gefährdung unserer Ressource Grundwasser als Trinkwasserquelle. Neben Bioziden sind Kupfer- und Zink-Ionen typische Verunreinigungen im Gebäudeabfluss, insbesondere bei der Verwendung von Dächern oder Entwässerungssystemen aus Metall. Der Effekt der Koexistenz dieser beiden Schadstoffe im Regenwasser ist noch unklar und muss daher in weiteren Studien geklärt werden.

Ziel dieser Studie ist es, mithilfe modernster Technologien die mögliche Bildung von Komplexen aus Bioziden und Schwermetallen mit organischen Verbindungen zu analysieren und Komplexbildungsmechanismen aufzuklären.



Abbildung 10: Biozide inhibieren unerwünschten Bewuchs auf Gebäudefassaden

Um die Ziele zu erreichen, werden Analysetechniken wie EEM-, FTIR- und HPLC-MS-MS-Analyse angewendet. Für die EEM-Analyse werden Fluoreszenzintensitätsdaten der einzelnen Kontaminanten unter verschiedenen Bedingungen erfasst. Änderungen in den Fluoreszenzintensitäten sind Hinweise auf Wechselwirkung zwischen verschiedenen Kontaminanten. Über FTIR

können funktionelle Gruppen, die bei der Komplexierung eine Rolle spielen, erkannt und der Komplexierungsmechanismus erklärt werden. Am Ende wird die HPLC-MSMS-Analyse verwendet, um die Biozide in Tests zur Festlegung der Behandlungsstrategie zu quantifizieren.

FÖRDERUNG:
CHINA
SCHOLARSHIP
COUNCIL (CSC)



PABLO VEGA
(M.Sc.)

080/24643255
PABLO
.VEGA-GARCIA
@TUM.DE

Entwicklung eines Modells zur Bewertung der umweltrelevanten Eigenschaften üblicher Putze und Mörtel im Außenbereich

Bauprodukte wie Putze und Mörtel werden zu einem großen Teil auch an der Gebäudeaußenseite eingesetzt (z.B. mineralische und organisch gebundene Putze auf Mauerwerk, Wärmedämm-Verbundsystemen und anderen Untergründen, Mauermörtel). Im Außenbereich sind sie Niederschlägen und der Umgebungsluft ausgesetzt. Herablaufendes Niederschlagswasser löst Inhaltsstoffe aus den Putzen und Mörteln und setzt diese frei. Die Freisetzung von Stoffen aus Bauprodukten bei Kontakt mit Regenwasser impliziert aber nicht zwangsweise eine negative Auswirkung auf die Umwelt, da nicht jeder Stoff ein umweltgefährdendes Potential aufweist. Die Bewertung des Auslaugverhaltens von Putzen und Mörteln im Fall einer berechneten Fassade ist jedoch bisher nicht möglich, da es kein Übertragungsmodell gibt, mit dessen Hilfe von den Ergebnissen von Auslaugversuchen auf die tatsächliche Beeinträchtigung von Boden und Grundwasser geschlossen werden kann.

Das Ziel ist die Schaffung eines Modells, das den Auslaugungsmechanismus von Stoffen in einer Fassade aus Putz und Mörtel während eines zufälligen Regenerignisses beschreiben kann. Auf dieser Basis soll eine Bewertung der Umwelteigenschaften erfolgen.

Vier spezifische Unterziele sind geplant:



Abbildung 11: Freilandversuche Häuser (Fraunhofer-IBP, Valley, Deutschland)

FÖRDERUNG:
FRAUNHOFER
INSTITUT FÜR
BAUPHYSIK

- 1) Identifikation der Mechanismen, die der Auslaugung von Inhaltsstoffen aus berechneten Bauprodukten zugrunde liegen.
- 2) Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der Stofffreisetzung (Emission) aus Putzen und Mörtel.
- 3) Vorbereitung eines Massentransportmodells. Dieses Modell soll die Ausbreitung von Stoffen, die für die Umwelt relevant sind, im Boden und im Grundwasser unter Verwendung einer geologischen Strömung simulieren.
- 4) Ausarbeitung eines Vorschlags für die Bewertung der stofflichen Freisetzungen auf der Grundlage einer Übertragungsfunktion möglichst unter Miteinbeziehung bereits bestehender Modellierungsansätze.



JOHANN MÜLLER
(DIPL.-ING.)

089/28913720
JO.MUELLER
@TUM.DE

Zustand der Kanalisation in Bayern – Datenstand 2018

Die Funktionsfähigkeit der öffentlichen Kanalisation ist von entscheidender Bedeutung für den effektiven und sicheren Abtransport von Abwässern und Niederschlagswasser in Kommunen. Gleichzeitig stellen vorhandene Entwässerungssysteme einen beträchtlichen Anteil des kommunalen Anlagenvermögens dar. Für die Gewährleistung der Betriebsfähigkeit der öffentlichen Kanalisation ist eine möglichst umfassende Kenntnis über Zustand und Sanierungsbedarf des Kanalsystems zwingend erforderlich.

Vor diesem Hintergrund führt der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der TU München im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) eine vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) finanzierte Untersuchung zum Zustand der Kanalisation in Bayern mit Datenstand 2018 durch. Schwerpunkte der seit Mai 2019 laufenden Untersuchung liegen insbesondere in der Erfassung des Zustands der bayerischen Kanalisation im Jahr 2018 anhand verschiedener Kriterien, der Abschätzung des Sanierungsbedarfs und der hieraus resultierenden Kosten sowie einer Betrachtung zur Entwicklung der in einem Vorbericht aus dem Jahr 2012 festgestellten Situation. Die Erfassung des Zustands des Kanalsystems 2018 beruht auf der stichprobenartigen Auswertung regional repräsentativer Kanalnetzjahresberichte, die durch die bayerischen Wasserwirtschaftsämter zur Verfügung gestellt wurden. Die vorliegenden Informationen werden um weitere Daten ergänzt, die mittels eines zusätzlichen Fragebogens direkt bei ausgewählten Kanalnetzbetreibern abgefragt werden. Ausgehend von einer repräsentativen Stichprobe sollen Hochrechnungen Aussagen zum Zustand der gesamten bayerischen Kanalisation nach verschiedenen Kriterien ermöglichen. Die Einordnung, Diskussion und Interpretation der Daten aus dem Jahr 2018 erfolgt unter Berücksichtigung von Vorgängerstudien aus den Jahren 2006 und 2012 sowie weiterer verwandter Studien.



Abbildung 12: Beispiel eines begehbaren Kanals

sichtigung von Vorgängerstudien aus den Jahren 2006 und 2012 sowie weiterer verwandter Studien.

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT



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

089/28913733
C.SCHWALLER
@TUM.DE

Nutzwasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Bewässerung in Unterfranken

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

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

Ziel dieser Studie ist es daher, die Machbarkeit einer langfristigen

Nutzwassergewinnung für die landwirtschaftliche und urbane Bewässerung in dieser Region zu bewerten, um das Portfolio konventioneller Wasserressourcen zu erweitern.

Die Studie beginnt mit einer umfassenden Bewertung der verfügbaren Abwasser- und Regenwasserabflussmengen,

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



Abbildung 13: Konzept der Nutzwassersammlung und -anwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung

FÖRDERUNG:
REGIERUNG VON
UNTERFRANKEN



MANUEL BOPPEL
(B.Sc.)

089/28913701
MANUEL.BOPPEL
@TUM.DE

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

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

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



Abbildung 14: Gefäßversuch im Gewächshaus mit unterschiedlichen Böden sowie den Kulturen Mais (*Zea mays*) und Raps (*Brassica napus*)

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

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

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



KONRAD KOCH
(ASSOC. PROF.
DR.-ING. HABIL.)

089/28913706
K.KOCH@TUM.DE

Arbeitsgruppe Energieeffiziente Abwasserbehandlung

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

Eine Effizienzsteigerung beim Umsatz schwerabbaubarer Substrate ist z.B. durch eine Vorbehandlung mittels Ultraschall möglich. Bisherige Studien haben gezeigt, dass neben dem erhöhten Gasertrag auch andere Effekte berücksichtigt werden sollten. Für eine ganzheitliche Betrachtung sollte u.a. auch eine möglicherweise verbesserte Entwässerbarkeit, eine verminderte Restmenge zur Entsorgung und Effekte auf die Schlammrheologie sowie die Neigung zur Schaumbildung betrachtet werden. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass ein wirtschaftlicher Betrieb nur beim Eintrag relativ kleiner spezifischer Energiemengen ($< 500 \text{ kJ/kg}_{\text{TS}}$) möglich ist. Auch spielt das Vergleichsszenario eine entscheidende Rolle, also inwiefern sich Investition- und Betriebskosten allein durch Einsparungen rechnen müssen oder ob durch den ultraschall-induzierten beschleunigten Abbau beispielsweise auf den Neubau eines weiteren Faulbehälters verzichtet werden kann.

Interessanterweise kann man den anaeroben Abbau auch durch eine Anreicherung mit CO_2 stimulieren. Bisher konnte der Effekt in mehreren Studien nachgewiesen werden, ein Nachweis der zugrundeliegenden Prozesse steht aber leider noch aus.

Kläranlagen können mit Hilfe der mikrobiologischen Methanisierung auch einen Beitrag zur Energiewende leisten, indem Überschussstrom aus erneuerbaren Quellen mittels Elektrolyseur zunächst in Wasserstoff und dann gemeinsam mit CO_2 (z.B. aus Biogas) in Methan umgesetzt und gespeichert werden kann. Biofilmbasierte Technologien unter thermophilen Bedingungen haben sich auch im dynamischen Betrieb als besonders geeignet herausgestellt. Die vielversprechenden Ansätze aus dem Labormaßstab sollen nun im Pilotmaßstab auf der Kläranlage Garching validiert werden. Dabei soll in dem einem m^3 großen Rieselbett stündlich bis zu 700 Liter Methan aus dem Rohgas des Faulbehälters erzeugt werden.

Nicht zuletzt ist auch die Weiterentwicklung und Standardisierung von Methoden zur Bestimmung des Methanertragspotentials (sog. Batchtests) ein Anliegen der Arbeitsgruppe, die sich in der aktiven Mitgliedschaft in diversen nationalen und international Gremien manifestiert.



**DIEMAR
STRÜBING**
(DIPL.-ING.)

BIS 06/19
089/28913711
D.STRUEBING
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
STAATSMINISTE-
RIUM FÜR WIRT-
SCHAFT, LANDES-
ENTWICKLUNG
UND ENERGIE

KOOPERATION:
BAYRISCHE
LANDESANSTALT
FÜR
LANDWIRTSCHAFT

Optimierung der mikrobiologischen Methanisierung in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren

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

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

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



Abbildung 15: Rieselbettreaktor im halbtechnischen Maßstab



**CAROLINA
FEICKERT FENSKE**
(M. Sc.)

089/28913707
C.FEICKERT
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
STAATSMINISTE-
RIUM FÜR WIRT-
SCHAFT, LANDES-
ENTWICKLUNG
UND ENERGIE

KOOPERATION:
BAYRISCHE
LANDESANSTALT
FÜR
LANDWIRTSCHAFT

Optimierung der mikrobiologischen Methanisierung im anaeroben Rieselbettreaktor und Demonstration des Reaktorbetriebs im Pilotmaßstab

Der Anteil an erneuerbaren Energien am deutschen Strommix steigt stetig an und soll im Zuge der Energiewende weiter ausgebaut werden. Die fluktuierende Erzeugung erneuerbarer Energien stellt dabei eine besondere Herausforderung für die Gewährleistung einer bedarfsgerechten Energieversorgung dar. Umwandlungs- und Speichertechnologien können eingesetzt werden, um das Versorgungsnetz in Zeiten von Unterversorgung oder Überproduktion auszugleichen.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Power-to-Gas Technologie, bei der aus überschüssigem Strom Wasserstoff mittels Elektrolyse hergestellt und in Verbindung mit Kohlendioxid zu Methangas umgewandelt wird. In vorangegangenen Projekten konnte die Methanisierung in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren im Technikumsmaßstab mit einer Methanproduktion von bis zu $15,4 \text{ L}_{\text{CH}_4}/(\text{L}_{\text{Reaktionsvolumen}} \cdot \text{d})$ und einer Methankonzentration im Produktgas von über 96 % bereits erfolgreich realisiert werden. Damit ist eine Einspeisung ins vorhandene Erdgasnetz ohne Aufreinigung möglich.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Projekt DemoMeth, die Gasumsatzraten bei gleich hoher Methankonzentration durch Optimierung des Methanisierungsprozesses und des Reaktordesigns weiter zu steigern. Zudem soll die Nutzung von Biogas als alternative CO₂-Quelle untersucht werden, wodurch eine Aufwertung von Biogas am Entstehungsort bis auf Einspeisequalität ermöglicht werden könnte (vgl. Abbildung 16). Ein Upscaling des Rieselbettreaktors in den Pilotmaßstab mit einem Reaktionsvolumen von einem m³ soll die Einsatzfähigkeit des Reaktors im halbtechnischen Maßstab unter Beweis stellen.

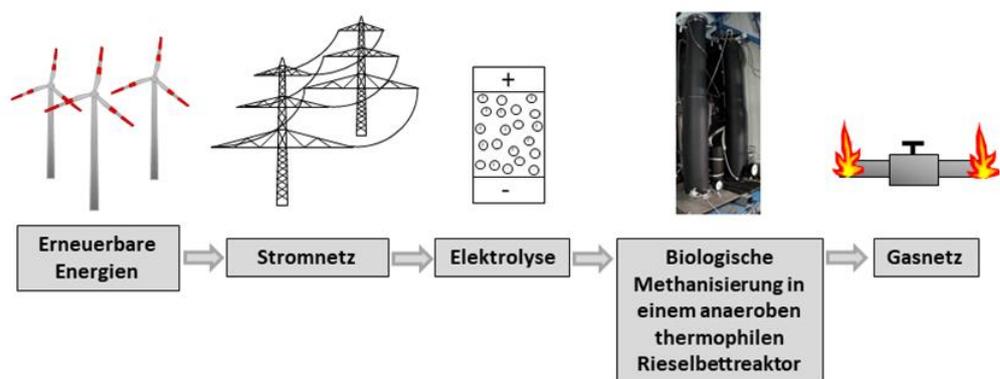


Abbildung 16: Vereinfachte Darstellung der PtG-Prozesskette



THOMAS LIPPERT
(M.Sc.)

089/28913716
THOMAS.LIPPERT
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BUNDES-
MINISTERIUM
FÜR WIRTSCHAFT
UND ENERGIE

KOOPERATION:
BANDELIN
ELECTRONIC;
GFM BERATENDE
INGENIEURE

Steigerung der Energieeffizienz bei der Abwasserreinigung durch innovative Ultraschallintegration

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

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist daher die Verbesserung des anaeroben Abbaus durch den Einsatz von Ultraschall zur Klärschlammintegration. Durch ultraschallinduzierte Kavitation können Klärschlammflocken zerkleinert und Mikroorganismenzellen aufgeschlossen werden, was zu einem verbesserten mikrobiologischen Abbau und in der Folge zu einer gesteigerten Faulgasausbeute bei reduzierten Restschlammengen führt. Betriebserfahrungen jedoch zeigen, dass derzeit am Markt befindliche Ultraschalleinheiten vergleichsweise stör anfällig sind. Im Projekt UltraMethan wird daher die Nutzung eines innovativen Flachbettreaktors mit geringerer Stör anfälligkeit untersucht. Um eine möglichst effiziente Auslegung des neuen Reaktortyps im Hinblick auf Methanertragssteigerungen zu gewährleisten, werden Laborversuche zur Optimierung von Reaktordesign und Betriebsweise durchgeführt (Abbildung 17).

Die computergestützte Simulation der Fluidynamik (CFD) und der Schallausbreitung innerhalb der Reaktoren unterstützt die Suche nach einem möglichst effizienten Design. Für eine ganzheitliche Beurteilung des neuartigen Reaktortyps werden zusätzlich die Einflüsse der Behandlung auf die Schlammmentwässerbarkeit, die Veränderung der Viskosität und die Schaumbildung im Faulturm untersucht. Basierend auf den durchgeführten Laborversuchen erfolgt auch die großtechnische Umsetzung auf ausgewählten Kläranlagen inklusive einer wissenschaftlichen Begleitung.



Abbildung 17: Kontinuierlich betriebene Biogastestreaktoren



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

JOCHEN.BANDELIN
@TUM.DE

Hoheffiziente Ultraschallsysteme für die Vorbehandlung von Klärschlamm

Die energieeffiziente Behandlung des bei der Abwasserreinigung anfallendem Klärschlammes ist eine zentrale Herausforderung moderner Kläranlagen. Der mechanische Aufschluss mittels Ultraschall ist eine Möglichkeit dafür. Dazu werden systematische Untersuchungen der Aufschlussleistung ultraschallinduzierter Kavitation in hochviskosen Medien, wie Klärschlamm, durchgeführt. Die mittels piezokeramischer Ultraschallsysteme erzeugte Ultraschallenergie soll dabei die Partikel in anaeroben Prozessen derart aufschließen, dass eine erhöhte biologische Abbaubarkeit und infolgedessen eine gesteigerte Gasproduktion erreicht wird. Für eine deutlich positive Energiebilanz des Prozesses müssen jene Beschallungsformen ermittelt werden, welche durch ein optimales Verhältnis von Amplitude, Feldgröße, Ultraschall-Frequenz und Leistungsdichte, die höchste Effizienz bei der Beschallung der Schlämme unterschiedlicher Viskosität erreichen. Zu diesem Zweck wurde erstmals die Wirksamkeit von Rohr- und Sonotrodenreaktoren für die Beschallung von Überschussschlamm (WAS) und Faulschlamm (DS) unter gleichen Bedingungen verglichen. Während sich der Einsatz einer Sonotrode für die Behandlung von WAS im Batch-Test als besonders vorteilhaft erwies (+25% Methanausbeute bei 300 kJ/kg_{TS}), erzielte der Einsatz eines 2-Zoll-Rohrreaktors die höchste Steigerung durch die Beschallung mit geringer Intensität in DS (+22% Methanausbeute bei 300 kJ/kg_{TS}) (Abbildung 18).

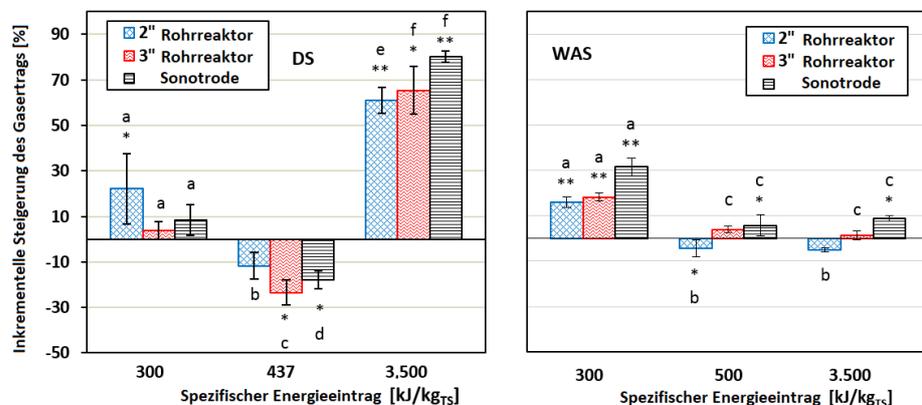


Abbildung 18: Inkrementelle Erhöhung der spezifischen Methanausbeute von DS (links) und WAS (rechts) im Vergleich zur unbehandelten Probe nach 28 Tagen Verweilzeit. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung drei Wiederholungen. Signifikante Unterschiede zu den unbehandelten Proben, nach dem Student's t-Test, werden mit einem Sternchen bei $p < 0,05$ und mit zwei Sternen bei $p < 0,01$ markiert. Die Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede gemäß dem Student's t-Test auf einem Signifikanzlevel von 5 % an

Basierend auf den Ergebnissen der Laborexperimente wurde ein neues Ultraschallsystem aus Rohrreaktoren in der Kläranlage Traunstein installiert und wird aktuell im großtechnischen Maßstab erprobt.

FÖRDERUNG:
BUNDES-
MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT UND
ENERGIE

KOOPERATION:
BANDELIN
ELECTRONIC;
GFM BERATENDE
INGENIEURE



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

089/28913716
MERIAM.MUNTAU
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
DEUTSCHE
FORSCHUNGS-
GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG;
BAYERISCHE
LANDESANSTALT
FÜR
LANDWIRTSCHAFT

Erhöhte Methanproduktivität in Biogasanlagen durch CO₂-Anreicherung

Kläranlagen tragen zu rund 20 % zum Energiebedarf deutscher Kommunen bei und emittieren jährlich circa 3 Millionen Tonnen CO₂. Daher ist es zwingend notwendig, einen verbesserten Ausgleich zwischen Energieverbrauch und -produktion bei gleichzeitiger Reduktion des CO₂-Fußabdrucks von Kläranlagen zu schaffen. Derzeit wird die in den Abwasserinhaltsstoffen gebundene chemische Energie zumindest teilweise in Form von energiereichem Methangas durch die anaerobe Vergärung von Klärschlamm zurückgewonnen während CO₂ als ein Nebenprodukt entsteht.

Neueste Studien zeigen eine Steigerung der Methanausbeute bei der anaeroben Vergärung durch Anreicherung des Klärschlammes mit CO₂. Bisher wurden allerdings nur Annahmen über mögliche biologische Umwandlungspfade von CO₂, die zu einer erhöhten Methanbildung führen, getroffen. Die verschiedenen Hypothesen umfassen mögliche Effekte wie erhöhten Substratumsatz, Redoxreaktionen, Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts sowie eine reduzierte Ammoniuminhibition.

Ziel dieses Projektes ist es, die der CO₂-Umwandlung zugrunde liegenden Prozesse mit Hilfe von Isotopenmarkierung des eingebrachten CO₂ zur Verfolgung der biologischen Umwandlungspfade, und vergleichender molekularbiologischer Untersuchungen der sich unter CO₂-Anreicherung etablierenden Biozönose, zu identifizieren. Hierfür wird in zwei parallel geschalteten Reaktoren im Labormaßstab eine kontinuierliche anaerobe Vergärung von Klärschlamm durchgeführt, wobei in einem Reaktor eine CO₂-Anreicherung erfolgt, während der andere als Kontrollreaktor dient. Erste diskontinuierliche CO₂-Anreicherungen konnten bereits eine vermehrte H₂ Produktion als mögliche Folge eines gesteigerten Substratumsatzes aufzeigen (vgl. Abbildung 19). Für die weitere Untersuchung des Einflusses einer erhöhten Substratverfügbarkeit auf die Umwandlung von zusätzlich eingebrachten CO₂ zu CH₄, wird derzeit eine kontinuierlichen CO₂-Anreicherung unter schrittweiser Erhöhung der organische Raumbelastung durchgeführt. Die Ergebnisse sollen zu einer Optimierung des Vergärungsprozesses mittels Nutzung des „Abfallproduktes“ CO₂ beisteuern und somit helfen die Energiewende weiter voran zu treiben.

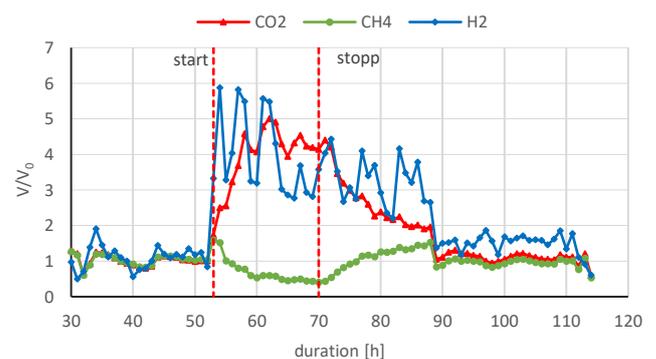


Abbildung 19: Entwicklung der Gaszusammensetzung nach CO₂-Anreicherung



UWE HÜBNER
(ASSIST. PROF.
DR.-ING.)

089/28913706
U.HUEBNER
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Weitergehende Wasserbehandlung

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

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

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



Abbildung 20: Laborozonanlage

Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung oxidativer (Ozonierung, weitergehende Oxidationsverfahren wie UV/H₂O₂, UV/Chlor, UV/Persulfat) und natürlicher und biologischer Verfahren (z.B. Grundwasseranreicherung, Biofiltration). Forschungsthemen umfassen unter anderem die Bestimmung von Entfernungsleistungen, Reaktionskinetiken und -mechanismen und die Bildung von Produkten bei der Oxidation sowie die Identifizierung relevanter Einflussgrößen auf den mikrobiellen Abbau in biologischen Systemen.

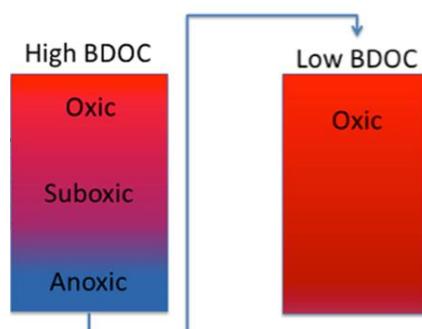


Abbildung 21: Konzept der sequenziellen Grundwasseranreicherung (SMART)

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



EMIL BEIN
(M.SC.)

089/28913708

EMIL.BEIN
@TUM.DE

Eintrag von Ozon in Grundwasser über gaspermeable Membranen zur in-situ Sanierung von BTEX Schadensfällen

In diesem deutsch-israelischen Kooperationsprojekt soll in Zusammenarbeit mit der Universität Tel Aviv ein membranbasiertes Ozon-Eintragsverfahren zur in-situ Sanierung von Grundwasser entwickelt und getestet werden. Der diffusionsgetriebene Gasaustausch verspricht Vorteile gegenüber konventionellen Methoden, unter anderem eine gleichmäßige Verteilung von Gas und auch eine höhere Energieeffizienz. In Kombination mit Wasserstoffperoxid wird eine effektive Entfernung von monozyklischen, aromatischen Schadstoffen (BTEX) angestrebt.

Für eine erfolgreiche Anwendung wird zunächst grundlegende Forschung über den passiven, blasenfreien Gaseintrag bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten im Labormaßstab betrieben. Die Tests unter verschiedenen Bedingungen wie unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten, Wasserdrücke, Wasserzusammensetzungen oder auch bei Nachschaltung unterschiedlicher poröser Medien sollen die optimalen Einsatzmöglichkeiten, ebenso die Limitierungen der Technologie aufzeigen. Außerdem dienen sie als Grundlage für ein Massentransfermodell zur Beschreibung unterschiedlicher Szenarien. Hier eröffnen sich Anknüpfungspunkte an den Einsatz von Membranen zur Ozonierung von behandeltem

Abwasser, oder auch Trinkwasser. In grundlegenden Experimenten sollen des Weiteren aliphatische Abbauprodukte der jeweiligen BTEX-Verbindungen (siehe Abbildung 22) durch HILIC-Massenspektrometrie nachgewiesen werden. Die Kooperationspartner in Tel Aviv führen Versuche in größerem Maßstab fort, um die Dosierung und Membrangeometrie zu optimieren (Abbildung 23). Das vorgeschlagene Verfahren soll schlussendlich in einem Feldversuch getestet und validiert werden.

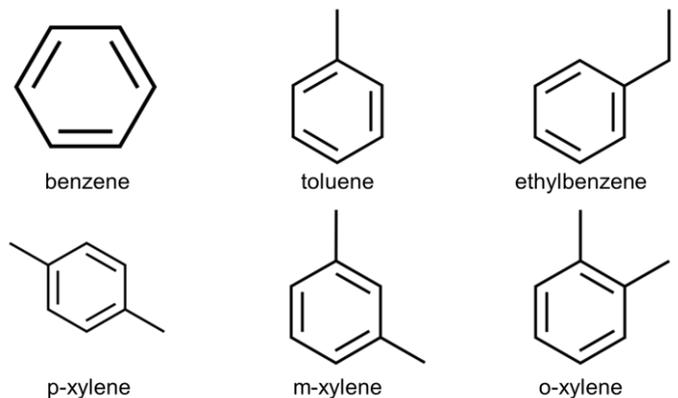


Abbildung 22: Die verschiedenen "BTEX"-Verbindungen

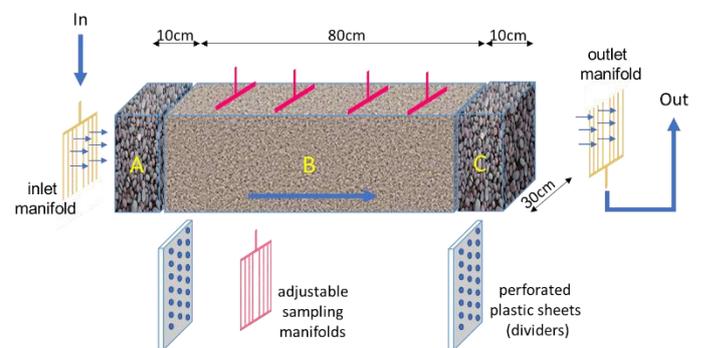


Abbildung 23: Versuchsaufbau mit porösen Medien und direktem Gaseintrag

FÖRDERUNG:
BUNDES-
MINISTERIUM FÜR
BILDUNG UND
FORSCHUNG

KOOPERATION:
TEL AVIV
UNIVERSITY



**MILLARAY SIERRA
OLEA**
(M.SC.)

089/289-13780
MIA.SIERRA
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
DEUTSCHE
FORSCHUNGS-
GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:
HELMHOLTZ ZENT-
RUM FÜR UMWELT-
FORSCHUNG

Reaktivität und Transformation funktioneller Gruppen von Spurenstoffen und organischer Hintergrundmatrix bei der Ozonierung von Abwasser

Die Ozonierung ist eine etablierte Technologie zur effizienten Oxidation von organischen Spurenstoffen in der Wasseraufbereitung. Ein wesentlicher Nachteil bei der Anwendung von Ozon ist die Bildung von stabilen und potenziell toxischen Ozonungsprodukten (OPs). Kritisch sind wegen ihrer Langlebigkeit vor allem biologisch stabile OPs. Unmöglich kann die Reaktion aller relevanter CECs mit Ozon, die dabei entstehenden OPs und deren biologische Stabilität untersucht werden. Vielmehr ist es notwendig, basierend auf dem systematischen Studium funktioneller Gruppen, Kenntnisse zu generieren, die auf andere Stoffe übertragbar sind. Bislang wurden solche systematischen Studien aber nicht durchgeführt. Noch größer ist die Wissenslücke bei den im Abwasser vorliegenden organischen Kohlenstoffverbindungen (engl.: effluent organic matter, EfOM). Zwar belegt die Ozonzehrung von EfOM dessen Reaktivität gegenüber Ozon, aber welche funktionellen Gruppen reagieren, welche Produkte gebildet werden und wie biologisch stabil diese sind, ist gerade für EfOM mit Heteroatomen (N, S) nicht untersucht.

Dieses Vorhaben will beide Lücken durch ein komplementäres analytisches und experimentelles Vorgehen schließen, mit dem gemeinsamen methodischen Ansatz der Einführung einer Markierung in die OPs durch Verwendung von ^{18}O -Ozon und der nachfolgenden Detektion und Identifizierung der OPs mithilfe der (ultra-hochauflösenden) Massenspektrometrie.

Das Vorhaben basiert auf der zentralen Hypothese, dass die Reaktion von Ozon sowohl mit bestimmten funktionellen Gruppen organischer Spurenstoffe als auch mit äquivalenten Gruppen des EfOM zu einer vorhersagbaren Bildung von OPs führt. Es zielt darauf ab, i) unser Verständnis der Reaktivität verschiedener funktioneller Gruppen gegenüber Ozon zu verbessern, wobei der Schwerpunkt auf der Identifikation biologisch schwer abbaubarer Funktionen innerhalb der OPs liegt, ii) ozon-reaktive funktionelle Gruppen im EfOM basierend auf bestehendem Wissen zur Transformation von Spurenstoffen zu identifizieren, wobei der Schwerpunkt auf N- und S-haltigen funktionellen Gruppen liegt, welche potentiell chemisch stabile OPs bilden, und iii) die Bedeutung des EfOM im Hinblick auf die Bildung biologisch schwer abbaubarer OPs in der Ozonierung von Abwasser zu bewerten.

Dazu soll der biologische Abbau der OPs anhand deren spezifischen funktionellen Gruppen in Säulen-Abbauversuchen und einer simulierten Grundwasseranreicherung untersucht werden. Mit dem neuen Ansatz der Markierung sind wir in der Lage, OPs von CECs ebenso wie von EfOM sicher zu detektieren, besser zu identifizieren und ihre Stabilität gut zu verfolgen. Das Vorhaben generiert ein systematisches und übertragbares Verständnis zur Bildung stabiler OPs basierend auf funktionellen Gruppen organischer Moleküle, von CECs wie von EfOM. Erst wenn die Stabilität der möglichen OPs untersucht ist, wird auch eine systematische toxikologische Bewertung der Ozonung als Wasseraufbereitungsmethode möglich.



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

089/28913717
SEMA.KARAKURT
@TUM.DE



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

089/28913717
V.ZHITENEVA
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTE-
RIUM FÜR BIL-
DUNG UND FOR-
SCHUNG

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

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

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

Schwerpunkte der Arbeiten an der TUM umfassen die Entwicklung und Optimierung eines innovativen Aufbereitungskonzepts zur Inaktivierung von Pathogenen (insbesondere Viren) und Antibiotikaresistenzen sowie zur Entfernung von gesundheitsrelevanten Indikatorchemikalien und Transformationsprodukten im halbtechnischen Maßstab, die Entwicklung neuer Leistungsparameter für biologische Aufbereitungsverfahren, sowie die quantitative mikrobielle und chemische Risikoanalyse bei der Wasserwiederverwendung. Aufbauend auf dem Konzept sequentieller Redoxbedingungen stehen die hydraulische Optimierung und Charakterisierung, die Integration weiterer Barrieren für die Etablierung eines Multi-Barrierensystems, die betriebliche Optimierung, sowie die Etablierung einer adäquaten Prozessüberwachung im Fokus der halbtechnischen Untersuchungen an der TUM. Die Ergebnisse werden in die Realisierung des SMARTplus Verfahrens (Abbildung 24) im Demonstrationsmaßstab in Berlin integriert.

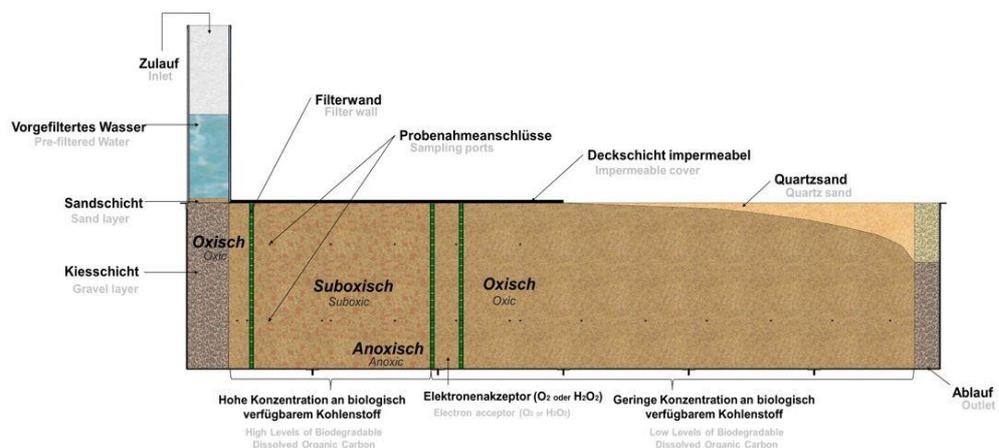


Abbildung 24: Planungsmodell der halbtechnischen Versuchsanlage SMARTplus an der TUM



**SOŇA
FAJNOROVÁ**
(M.Sc.)

SONA.FAJNOROVA
@TUM.DE

Verbleib von antibiotikaresistenten Bakterien und deren Resistenzgenen bei weitergehenden Wasseraufbereitungsverfahren

Antibiotikaresistenzen, die durch horizontalen Gentransfer zwischen Bakterienarten verbreitet werden können, gelten als eines der bedeutendsten Risiken für die öffentliche Gesundheit im 21. Jahrhundert. Obwohl die Reinigung des Abwassers in konventionellen Kläranlagen hoch ist, wird eine Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in städtische Gewässer in vielen Studien berichtet.

Diese Studie untersucht die Entfernung von Indikatorbakterien und deren Resistenzgenen (ARGs) im Rahmen einer weitergehenden Wasserbehandlung mittels Ozonung und UV-Desinfektion unter verschiedenen Betriebsbedingungen. Experimente werden mit Umweltkulturen resistenter und nicht-resistenter Bakterienstämme durchgeführt. Die Inaktivierung von Mikroorganismen wurde durch Kulturverfahren und eine Messung der Zellmembranintegrität bewertet. Der Einfluss von Ozon und UV-Licht auf mikrobielle Zellen und Gene wurde auch durch quantitative Polymerase-Kettenreaktion (qPCR) bewertet, indem die Abundanzen von ARGs und dem 16S rRNA-Gen (als Proxy für die Gesamtzellzahl) quantifiziert wurden. Darüber hinaus konzentriert sich diese Studie auf die Elimination von ARGs in Bezug auf unterschiedliche Längen der DNA-Fragmente.

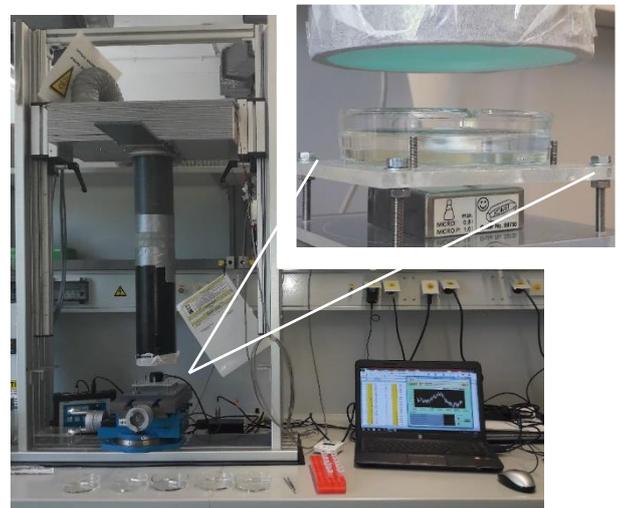


Abbildung 25: Aufbau der Ozonanlage (links) und der UV-Anlage (rechts)

FÖRDERUNG:
DEUTSCHE
BUNDESSTIFTUNG
UMWELT



NEBOJŠA ILIĆ
(M.SC.)

089/28913780
NEBOJSA.ILIC
@TUM.DE

Entwicklung adaptiver fortschrittlicher Verfahren und Systeme zur Entfernung widerspenstiger perfluorierter Verbindungen aus Wasser

Die Hauptaktivität von NOWELTIES ist das Forschungsprogramm (bestehend aus 14 einzelnen Forschungsprojekten) zur Entwicklung innovativer Wasseraufbereitungstechnologien (fortschrittliche biologische Behandlungen, innovative Oxidationsverfahren, Hybridsysteme), die es ermöglichen, den unterschiedlichen Aufbereitungsanforderungen für eine Vielzahl von miteinander verbundenen Strömen aus Recyclingkreisläufen gerecht zu werden.

Als Teil dieses Netzwerks konzentriert sich dieses Projekt auf die Entwicklung einer Vielzahl von Methoden und Optimierungen von Prozessen zur Entfernung von perfluorierten Verbindungen (PFCs) aus Wasser, sei es kommunalem oder industriellem Abwasser. Mit Blick auf einige verschiedene Ziele konzentriert sich dieses Projekt auf bewährte Konzepte wie Sonolyse, Umkehrosmose, Nanofiltration und experimentiert mit den Aufstellparametern dieser Behandlungsmethoden, um für diese extrem widerspenstigen Verbindungen den geringsten Energiebedarf und die höchste Abtragsrate zu erreichen.

Darüber hinaus wird in Zusammenarbeit mit der Katalyseabteilung der TUM ein neuartiges Material angestrebt, dessen Adsorptionseigenschaften speziell auf die Eigenschaften dieser Schadstoffe zugeschnitten sind und das eine Möglichkeit bietet, diese Schadstoffe auch bei niedrigsten Konzentrationen ohne Wirkenergieeinsatz zu extrahieren. Einige Hindernisse bei der Materialgestaltung sind die Hydrostabilität und die hohen Produktionskosten. Bei erfolgreicher Synthese würden diese Materialien eine neuartige Möglichkeit bieten, PFCs aus dem Wasser zu entfernen, während sie gleichzeitig einen dauerhaften Kandidaten darstellen, der mehrfach regeneriert und wiederverwendet werden könnte, wodurch die Umweltbelastung an mehreren Fronten reduziert wird. Anschließend ist eine Behandlung des Regenerationsstroms zwingend erforderlich, um den Schadstoff tatsächlich zu mineralisieren. Dies geschieht mit einer Reihe von Experimenten, um zunächst festzustellen, welches Lösungsmittel der beste Kandidat für die Desorption der Verbindungen aus den MOFs ist, und dann wird ein Anpassungsprozess für die Behandlung des an PFCs reichen organischen Lösungsmittels angewendet. Aktuelle Kandidaten sind die Sonolyse, die Pyrolyse des Lösungsmittels und des Schadstoffs oder idealerweise die Destillation des Lösungsmittels zur Wiederverwendung und Pyrolyse des Schadstoffs selbst.

FÖRDERUNG:
EUROPEAN
COMMISSION

KOOPERATION:
UNIVERSIDAD DE
SANTIAGO DE
COMPOSTELA



EDWIN CHINGATE
(B.Sc.)

089/28913711
EDWIN.CHINGATE
@TUM.DE

Bioenergetisches Gerüst für mikrobielle Transformationen von Spurenorganischen Chemikalien (NOWELTIES)

NOWELTIES ist ein Forschungsprogramm, das sich aus 14 Einzelprojekten zusammensetzt. Gemeinsames Ziel aller Projekte ist die Entwicklung innovativer Wasseraufbereitungstechnologien, die es ermöglichen, den unterschiedlichen Anforderungen an die Aufbereitung einer Vielzahl von miteinander verbundenen Strömen aus Recyclingkreisläufen gerecht zu werden. Dieses Forschungsprojekt hat zum Ziel, ein Modell der mikrobiellen Zersetzung von TOrCs zu entwickeln, das in der Lage ist, Co-Stoffwechsel und Mischsubstratwachstum in einem bioenergetischen Rahmen zu koppeln.

Ergebnisse aus Forschungsbereichen wie Biofiltrationssysteme, Umweltchemie und mikrobielleomische Technologien deuten darauf hin, dass biologische Systeme eine ebenso gute Leistung erbringen könnten wie fortschrittliche Wasseraufbereitungsverfahren zur TOrC-Dämpfung, jedoch mit weniger Platzbedarf und keiner Erzeugung von Rückständen.

Die Verbesserung dieser biologischen Technologien zur Wasseraufbereitung erfordert fundierte Kenntnisse der Mechanismen, die den mikrobiellen Abbau von TOrCs fördern. Es ist notwendig, grundlegende Prozesse im Zusammenhang mit dem mikrobiellen Stoffwechsel in der Natur aufzuklären.

Die Entwicklung von mikrobiellen Gemeinschaften aus dem Inokulum natürlicher Quellen unter oligotrophen Bedingungen wird mit einem retentostatischen Bioreaktor untersucht. Die generierten Daten wie die Zusammensetzung des Mediums und die mikrobielle Genexpression werden zur Kalibrierung des Modells verwendet. Experimente wurden entwickelt, um zu untersuchen, ob oligotrophe Bedingungen die Expression von Enzymen induzieren, die in der Lage sind, TOrCs zu entfernen, um verschiedene Substrate als Energiequelle zu nutzen. Am Ende wird erwartet, dass das Modell bessere Bedingungen für die Entfernung von TOrCs vorhersagt.

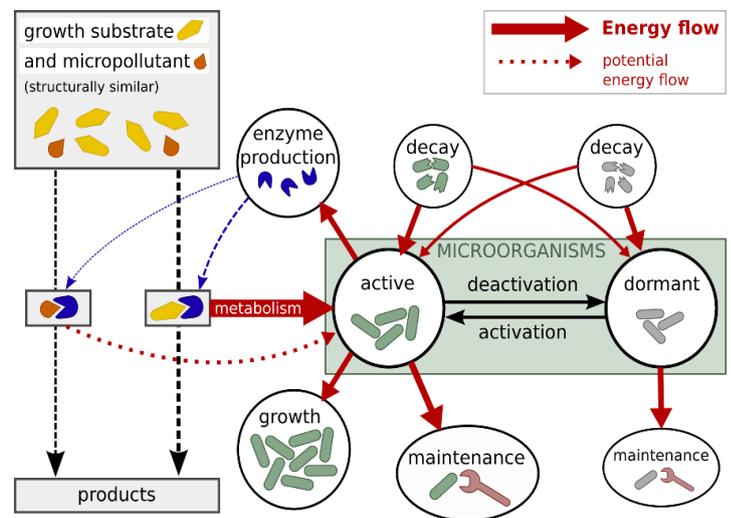


Abbildung 26: Illustration des an der TUM und der Universität Tübingen entwickelten bioenergetischen Modells

FÖRDERUNG:
EUROPEAN
COMMISSION

KOOPERATION:
KATALANISCHES
INSTITUT FÜR
WASSERFOR-
SCHUNG ICRA



JONAS ANIOL
(M.SC.)

089/28913707
JONAS.ANIOL
@TUM.DE



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

089/28913719
B.HELMREICH
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT

Begleiterscheinungen eines verstärkten Einsatzes von Fällmitteln zur Phosphorelimination

Die Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie geht in Deutschland schleppend voran. Trotz bereits erreichter Reduktionen, ist einer der Gründe die Überschreitung von Orientierungswerten für Nährstoffe wie Phosphor in den Gewässern. Um schädliche Auswirkung durch das Einleiten von Kläranlagenabläufen in oberirdische Gewässer zu vermeiden, wurden im März 2018 in Bayern mit Fortschreibung des Merkblattes Nr. 4.4/22 „Anforderungen an das Einleiten von Schmutz und Niederschlagswasser“ weitergehende Anforderungen an den Parameter Gesamtphosphor gestellt. Strengere Überwachungswerte sind vielfach mit einem höheren Einsatz von Fällmitteln in den kommunalen Kläranlagen für die chemische Phosphorelimination verbunden. In den als Fällmittel eingesetzten Eisen- und Aluminiumsalzen bzw. Salzlösungen sind rohstoff- und herstellungsbedingt teilweise Begleitstoffe wie Schwermetalle enthalten, welche durch deren Einsatz freigesetzt werden. Zudem gehen beim Einsatz dieser Fällmittel stets die Wirksubstanzen Eisen und Aluminium sowie die Anionen Chlorid und Sulfat (Salze) in Lösung.

Vor diesem Hintergrund führte der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der TU München im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) eine Untersuchung zu möglichen Begleiterscheinungen der Phosphatfällung in Bayern durch. Schwerpunkt der Untersuchung war eine Modellrechnung zur Quantifizierung der Einträge/Frachten fällmittelbürtiger Wirksubstanzen, Salze und Schwermetalle in bayerische Oberflächengewässer. Ferner wurden die Konzentrationserhöhungen bedingt durch den Fällmitteleinsatz in den Abläufen sowie an den Einleitstellen in den Oberflächengewässern der rund 2 500 bayerischen Kläranlagen berechnet und hinsichtlich der entsprechenden Umweltqualitätsnormen bzw. Orientierungswerte der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) bewertet.

Basierend auf Daten des LfU für das Jahr 2016, wurde sowohl der IST-Zustand 2016 sowie das Szenario entsprechend einer Umsetzung der weitergehenden Anforderungen nach dem Merkblatt Nr. 4.4/22 (2018) bilanziert. Zur Bewertung von Auswirkungen einer möglichen, darüberhinausgehenden Verschärfung der Anforderungen an die Phosphorelimination in bayerischen Kläranlagen wurden zusätzlich zwei weitere Szenarien bilanziert. Derzeit bestehen keine Grenzwerte, sondern lediglich Richtwerte für den Gehalt an Schwermetallen in Fällmitteln. Da die Schwermetallbelastungen in den Fällmitteln schwanken, war für diese Studie zunächst eine Recherche von Schwermetallgehalten basierend auf Produktdatenblättern und Herstellerangaben, für überwiegend in Bayern eingesetzter Fällmittel, notwendig.



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

089/28913709
D.GONDHALEKAR
@TUM.DE

Arbeitsschwerpunkt Urban Water-Energy-Food (WEF) Nexus

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



Abbildung 27: Water-Energy-Food Nexus Schema

Der Urban WEF Nexus Ansatz bietet eine Möglichkeit, wie Städte sich nachhaltiger entwickeln können. Der Ansatz besagt u.a., dass viel Energie gebraucht wird um Wasser in Städten bereitzustellen und Abwasser zu entsorgen, und dass viel Wasser gebraucht wird um Energie und Nahrung zu erzeugen (Abbildung 27). Die integrierte Planung dieser drei Sektoren kann Wasser-, Energie- und Nahrungs-Sicherheit unterstützen sowie die Umsetzung der Sustainable Development Goals (SDGs). Wasserwiederverwendung mit integrierter Ressourcenrückgewinnung ist ein

Schlüsselpotential in der Operationalisierung des WEF Nexus Ansatzes.

Das Ziel des Urban WEF Nexus ist, die Interaktion der Sektoren Wasser, Energie und Nahrung zu analysieren und alternative Szenarien für die zukünftige urbane Entwicklung daraus abzuleiten, die der Entwicklung von dezentralen Pilotprojekten dienen sollen. Des Weiteren wird z.B. durch regelmäßige Workshops ein Dialog mit Partnern aus Regierung, NGOs und Industrie vor Ort über die Umsetzung solcher Pilotprojekte geführt. Das Projekt nimmt als Fallstudie die Stadt Leh in Ladakh, einer semi-ariden Region 3,500 m.ü.M. im indischen Himalaya, sowie andere Städte in Indien und in Afrika.

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



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

Bis 11/19
089/28913714
B.SKIBINSKI
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Membranfiltration

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

Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass ein herkömmliches Belebtschlammverfahren in Kombination mit einer weiterführenden Reinigungsstufe (Mikrofiltration, Umkehrosmose und abschließender UV- H_2O_2 Behandlung) einen netto Energiebedarf von $1,10 \text{ kWh m}^{-3}$ aufweist. Alternative Verfahrenskonzepte unter Nutzbarmachung von Membranverfahren, wie zum Beispiel Kombinationen mit anaeroben Membranbioreaktoren, weisen höhere Grade der Energierückgewinnung und folglich niedrigere netto Energiebedarfe von bis zu $0,22 \text{ kWh m}^{-3}$ auf.

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

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



PHILIPP SPERLE
(M.Sc.)

089/28913708
PHILIPP.SPERLE
@TUM.DE

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

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

Die Arbeitsgruppe Membranfiltration untersucht das neuartige Vorbehandlungsverfahren im Labor- und Pilotmaßstab (Abbildung 28). Hierfür wird Biofouling durch Zugabe von Nährstoffen gezielt verursacht. Ein definiertes Versuchsprotokoll ermöglicht es, die Biofoulingstudien mit und ohne UV-Vorbehandlung reproduzierbar und unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen.

Neben der Charakterisierung des Bestrahlungssystems hinsichtlich der UV-Bestrahlungsstärke unter Verwendung aktinometrischer und biodosimetrischer Methoden liegt ein Schwerpunkt des Verbundvorhabens im Nachweis der Wirksamkeit des neuartigen Bestrahlungssystems. Dies erfolgt an Hand typischer Leistungskenngrößen eines Membranmoduls wie zum Beispiel Permeabilitäts- oder Druckverlust sowie UV-induzierte Veränderung relevanter Biofilmeigenschaften wie zum Beispiel seiner Abreinigbarkeit bei Spülvorgängen.

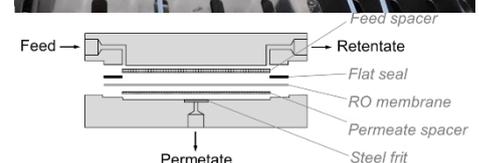
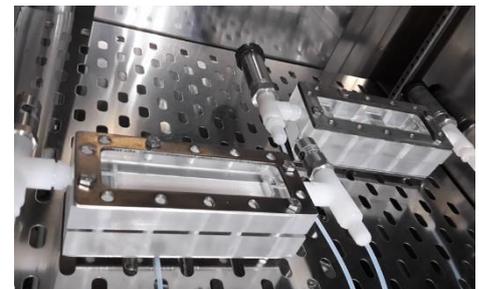


Abbildung 28: RO-Membransystem im Labormaßstab zur Untersuchung von Biofouling

FÖRDERUNG:
BUNDES-
MINISTERIUM
FÜR
BILDUNG UND
FORSCHUNG

KOOPERATION:
UV-EL GMBH;
DELTA UMWELT-
TECHNIK GMBH

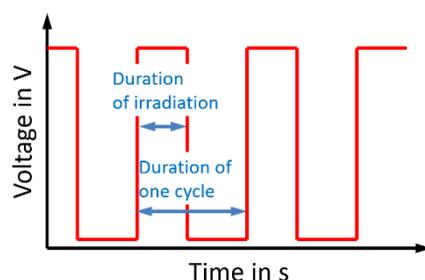


Abbildung 29: Pulsierende Spannungsversorgung der UV-C LEDs

Durch eine intermittierende Spannungsversorgung (Abbildung 29) werden die UV-C-LEDs in einen Pulsationsbetrieb versetzt. Grundlegende Untersuchungen sollen Aufschluss über die Inaktivierungsleistung und Ausbildung von Biofouling bei verschiedenen Pulsationsregimes (1 – 100 Hz; 0 – 100 % Bestrahlungsdauer) geben.



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

CHRISTIAN.HILLER
@TUM.DE

Optimierung der Entfernungseffizienz von Antibiotikaresistenten Bakterien und Antibiotikaresistenzgenen durch Mikro- und Ultrafiltration in kommunalen Kläranlagen

Antibiotikaresistenzen sind in klinischen Einrichtungen nicht nur eine Bedrohung für die menschliche Gesundheit, sondern auch eine Herausforderung für die Umwelt hinsichtlich der Ausbreitung von antibiotika-resistenten Bakterien (ARB) und Antibiotikaresistenzgenen (ARG) in Gewässern. Mit Antibiotika werden weltweit bakterielle Infektionen in der Human- und Veterinärmedizin behandelt. In der Aquakultur werden Antibiotika als Wachstumsförderer eingesetzt. Da Menschen und Tiere Antibiotika nicht vollständig metabolisieren können, gelangen große Mengen an Antibiotika und antibiotikaresistenten Bakterien, abgegeben über Ausscheidungen, in den sogenannten urbanen Wasserkreislauf (Abwasser, Klärschlamm, Gülle, Oberflächenwasser, Trinkwasser).

Die Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen wurde im HyReKa-Forschungsprojekt von 2016 bis 2019 untersucht. Ziel des Projektes war es, antimikrobiell resistente, bakterielle Krankheitserreger in klinischen, landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern zu analysieren und deren biologische oder hygienisch-medizinische Relevanz sowie Bedeutung für das Trinkwasser im Rohwasser zu bewerten.

Die konventionellen Kläranlagen reduzieren die ARB und ARG um 2 bis 3 Log-Stufen. Bei der Nutzung der Oberflächengewässer als Badegewässer oder als Trinkwasser bzw. zur Bewässerung in der Landwirtschaft reicht die Reinigungsleistung einer konventionellen Kläranlage nicht aus.

Ziel des Projektes in der Abwasserreinigung waren weitergehende Aufbereitungsverfahren der Ozonierung, UV-Bestrahlung und Membranfiltration zur Reduktion von ARB und ARG zu untersuchen.

Die effizienteste Technologie zur Reduzierung der ARB und ARG war die Membranfiltration. Weitergehende Versuche mit der Membranfiltration beinhalteten Untersuchungen der Entfernungseffizienz von ARB und ARG nach der Wasser-rückspülung und nach der chemischen Rückspülung. Zusätzlich wurde die Wiederverkeimung und die Antibiotikaresistenz-entwicklung im Filtrat der Membranfiltration untersucht.

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTE-
RIUM FÜR
BILDUNG UND
FORSCHUNG



**CHRISTIAN
WURZBACHER**
(ASSOC. PROF.
DR. RER. NAT.)
(TUM JUNIOR
FELLOW)

089/28913797
C.WURZBACHER
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme

Die Forschungsgruppe Mikrobielle Systeme konzentriert sich auf die Untersuchung mikrobieller Prozesse in aquatischen und technischen Systemen, die von der biologischen Abwasserbehandlung bis hin zu Oberflächengewässerökosystemen reichen. Wir suchen nach Möglichkeiten mikrobielle Funktionen besser zu verstehen, auch auf enzymatischer Ebene. Ein Schwerpunkt der Forschung ist die Interaktion und Diversität von Organismen innerhalb mikrobieller Biofilme. Dieses Jahr erhielt die Arbeitsgruppe eine Förderung als Emmy Noether Nachwuchsforschergruppe, welche im Januar 2020 ihre neue Arbeit aufnehmen wird.

Mikroben besitzen eine Reihe von Enzymen für den Abbau aller Arten von Substanzen, die von hochmolekularen Polymeren bis hin zu aromatischen Verbindungen reichen. Pilze sind eine Gruppe von Mikroorganismen, die sehr effiziente Exoenzyme produzieren, die schwer abbaubare organische Stoffe transformieren können. Interessant sind vor allem die weitgehend unerforschten aquatischen Pilze, die sich potentiell in Abwasserreaktoren einsetzen ließen. Weitere Forschungsarbeiten befassen sich mit der Charakterisierung der taxonomischen und funktionellen Vielfalt mikrobieller Gemeinschaften mit spezifischen Funktionen, z.B. hinsichtlich des Mikroschadstoffabbaus oder der Antibiotikaresistenzgene im Wasserkreislauf. Häufig werden molekulare Methoden quantitativ (qPCR) oder qualitativ (Hochdurchsatzsequenzierung, Mikroskopie) eingesetzt (Abbildung 30).



Abbildung 30: qPCR Analyse zur Quantifizierung von Antibiotikaresistenzgenen, und ein USB-Sequenzierer der dritten Generation zur Analyse von Markergenen, Genomen und Metagenomen



Abbildung 31: Klassische und mini-kulturbasierte mikrobiologische Kultivierung

Darüber hinaus arbeiten wir derzeit an einer kleinen Kultursammlung und Modellkulturen mit dem Ziel, das ungenutzte Potenzial von nicht kultivierbaren Mikroorganismen aus urbanen Gewässern zu erschließen (Abbildung 31). Vor allem die funktionalen Minimalgemeinschaften haben das Potenzial, Schadstoffe zu entfernen und könnten somit bedeutend für angewandte Behandlungsverfahren werden.



LIJIA CAO
(M.Sc.)

089/28913709
LIJIA.CAO@TUM.DE

Entfernung von Spurenstoffen durch funktionelle mikrobielle Modellgemeinschaften

Organische Spurenstoffe (*trace organic chemicals*: TORCs) wie etwa pharmazeutische Arzneimittelrückstände finden sich zunehmend im Wasserkreislauf. Da die TORCs und ihre Biotransformationsprodukte negative ökologische Auswirkungen haben können, ist es notwendig, diese nach Möglichkeit zu reduzieren bevor sie ins Oberflächengewässer gelangen, also während der Abwasserbehandlung. Für viele polare Spurenstoffe birgt die Biotransformation durch mikrobielle Gemeinschaften ein großes Potential. Um den Biotransformationsprozess weiter zu verbessern, ist es daher erforderlich die Grundlagen über die Zusammensetzung, Wechselwirkungen und funktionelle Enzyme von mikrobiellen Gemeinschaften zu erforschen, und damit die Biotransformationsraten und -pfade während einer biologischen Behandlung zu verstehen und zu steuern.

Mein Projekt zielt darauf ab, mikrobielle Modellgemeinschaften mit geringer Komplexität zu etablieren, welche in der Lage sind TORCs zu entfernen. Diese Gemeinschaften stammen aus bioaktiven Sandfiltern, was uns ermöglicht die Biotransformationseffizienz mit der Quantität und Qualität mikrobieller Interaktionen und ihren jeweiligen funktionellen Enzymen zu verknüpfen. Das Transformationspotential der Modellgemeinschaften wird dann mit hochauflösender Massenspektrometrie, sowie mit der Hochdurchsatzsequenzierung von Metagenomen und Metatranskriptomen gezielt analysiert, was die Aufklärung der Biotransformationen auf molekularer Ebene ermöglicht. Abschließend werden diese Modellgemeinschaften in Bioreaktoren implementiert, um deren Potential zur Behandlung von Abwasser mit TORCs zu einzuschätzen.

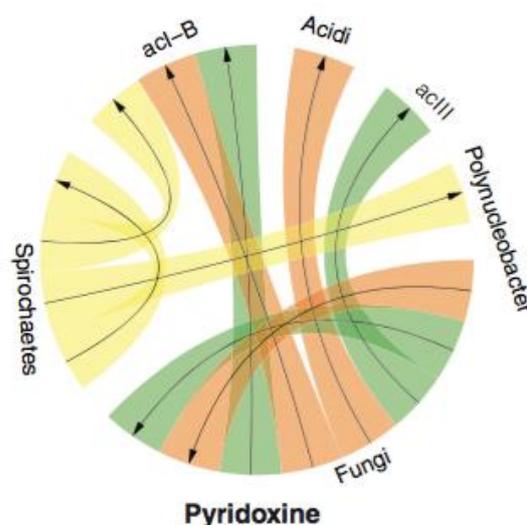


Abbildung 32: Mögliche metabolische Komplementarität zwischen den wichtigsten Mitgliedern jeder Modellgemeinschaft, Garica et al. 2018

FÖRDERUNG:
CHINA
SCHOLARSHIP
COUNCIL (CSC)

KOOPERATION:
UNIVERSITÄT
STOCKHOLM, BFG



OLIVER KNOOP
(DR. RER. NAT.)

089/28913702
O.KNOOP
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Spurenstoffe in der Umwelt

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



Abbildung 33: Pharmaka

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

Die aktuellen Ziele der Arbeitsgruppe im Überblick:

- Entwicklung neuer Methoden zur Quantifizierung bekannter Substanzen (Target Screening)
- Entwicklung neuer Hybrid-Methoden zur Identifizierung von biologisch aktiven Substanzen durch Kombination von analytischen Trenntechniken und Effekt-basierten Testsystemen
- Aufklärung von natürlichen und oxidativen Abbauprozessen und Bestimmung von daraus resultierenden Abbauprodukten
- Entwicklung neuer Methoden zur Bestimmung des Sorptionsverhaltens von Spurenstoffen auf Mikroplastik-Partikel

Entwicklung einer validierten Probenvorbereitungsmethode zur Untersuchung von Mikroplastik in der Umwelt.



Abbildung 34: Triple-Quad Massenspektrometer

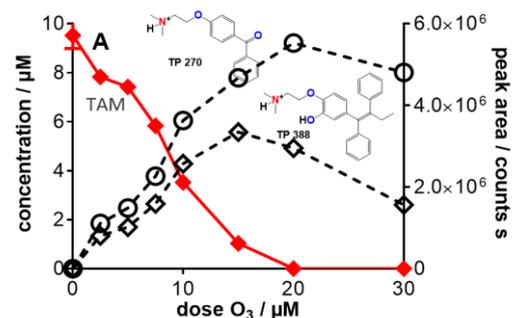


Abbildung 35: Verlust der Ausgangssubstanz und Bildung von Transformationsprodukten bei der Ozonung



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

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

Validierung der Analysemethoden für Mikro & Submikroplastik in Umweltmatrices

Es ist notwendig Mikroplastik in den verschiedenen Umweltproben quantifizieren und identifizieren zu können. Dazu ist es erforderlich, Mikroplastikpartikel von natürlichen Partikeln wie Sand, pflanzlichen und tierischen Rückständen und anderem natürlichen Materialien unterscheiden zu können. Selbst bei dem Einsatz von spektroskopischen Identifikationsmethoden wie der Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR) und Raman-Spektroskopie kann die durch die natürlichen Rückstände verursachte Interferenz den Nachweis von Mikroplastik erschweren. Daher müssen diese zuvor abgetrennt werden. Anorganische Partikel werden in der Regel durch salzbasierte Dichtentrennverfahren entfernt. Organische Stoffe weisen eine ähnliche Dichte wie Mikroplastik auf und müssen durch ein chemisches Verdauungsverfahren wie Oxidations-, Alkali- und Säurereaktionen oder enzymatischen Verdau entfernt werden. Diese Aufbereitungsmethoden können jedoch ggf. unbeabsichtigt auch die zu untersuchenden Mikroplastikpartikel beeinflussen. Neben Probenahme und Probenanalyse, zählen Probenaufbereitungsmethoden zu den wichtigsten Faktoren, die die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von verschiedenen Studien derzeit erschweren.

Ziel der aktuellen Studie ist es, eine Probenaufbereitungsmethode zur Entfernung natürlicher, organischer Bestandteile einer Matrix zu optimieren, zu standardisieren und zu validieren, um eine möglichst effektive Entfernung von organische Rückständen zu erreichen, ohne die Mikroplastikpartikel selber zu verändern. Hier zeigte sich der Aufschluss mittels Fenton-Reagenz bei sieben herkömmlichen Polymeren (PS, PE, PP, PET, PVC, PA, PLA) in dem Größenbereich von 63-200 μm als eine schnelle und geeignete Methode. Auf Grund der unzureichenden Beschreibung der Vorgehensweise in vielen Studien ist oft keine Reproduzierbarkeit der berichteten Methoden gewährleistet. Daher werden diverse Parameter möglichst detailliert beobachtet und dokumentiert, um eine Reproduzierbarkeit gewährleisten zu können. Weiterhin wird das Protokoll für Partikel < 5 μm validiert. Diese Partikel weisen ein größeres Verhältnis von Oberfläche zu Volumen auf, was ihre Reaktivität im Vergleich zu den größeren Partikeln gegenüber einem chemischen Aufschluss erhöhen könnte.

FÖRDERUNG:
BAYERISCHE
FORSCHUNGS-
STIFTUNG

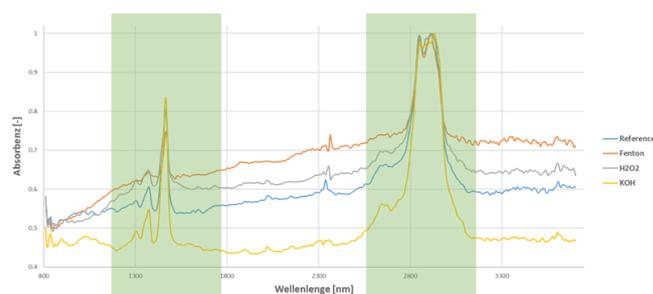


Abbildung 36: FTIR-Spektren von PE



JULIA REICHEL
(M.Sc.)

089/28913711
JULIA.REICHEL
@TUM.DE

Analytik von (Sub)mikroplastikpartikeln und sorbierten Spurenstoffen mit TD-Pyr-GC/MS

Mehr als 8 Millionen Tonnen Mikroplastik gelangen jährlich vom Land in die Ozeane. Primäres Mikroplastik wird z.B. in Reinigungsmitteln oder Körperpflegeprodukten eingesetzt. Sogenanntes sekundäres Mikroplastik entsteht aus großem Makroplastik durch Witterung, UV-Strahlung oder Reibung. Definiert wird Mikroplastik als Partikel, die eine Größe zwischen 5-1 mm haben. Es wird davon ausgegangen, dass kleinere Partikel aufgrund ihrer größeren spezifischen Oberfläche eine größere toxikologische Relevanz haben. Die Sorge um die möglichen schädlichen Auswirkungen von Mikrokunststoffen bezieht sich nicht nur auf die Partikel selbst, sondern auch auf ihre Fähigkeit, Schadstoffe zu transportieren. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts „Sub μ Track“ liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Analytik von „Submikropartikel“ (50 nm -100 μ m) und adsorbierten Schadstoffen, wie z.B. Pestiziden oder Insektiziden. Mittels einer neu entwickelten Thermodesorption – Pyrolyse – Gaschromatographie / Massenspektrometrie (TD-Pyr-GC/MS) können in einem gekoppelten Verfahren zuerst die Spurenstoffe identifiziert werden. Im zweiten Schritt wird das Plastik pyrolysiert und anhand charakteristischer Substanzen identifiziert.

Durch die Sorption von ausgewählten Spurenstoffen auf verschiedene Referenzmikroplastikpartikel wird zunächst eine Methode entwickelt und validiert. Durch dieses Verfahren können die Sorptionseigenschaften in Abhängigkeit von der Polymerart, Polymergröße und Polymerform charakterisiert werden.

Durch eine Analyse mittels Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE, Gerstel Twister®) können mittels der TD-Pyr-GC/MS nicht nur die sorbierten Substanzen auf den Partikeln bestimmt werden, sondern auch die in der Wasserphase verbleibenden Substanzen quantifiziert werden. So kann eine Massenbilanz der sorbierten und nicht sorbierten Stoffe erstellt und damit Sorptionskinetiken untersucht werden.

In Kooperationen mit Projektpartnern werden außerdem auch ökotoxikologische Proben untersucht. Mit Spurenstoff kontaminierte Referenzpartikel werden an aquatischen Organismen getestet. Nach definierten Zeitpunkten werden Proben genommen und mittels TD-Pyr-GC/MS (Partikel) und TD-GC/MS (wässrige Phase) analysiert.

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG



Abbildung 37: Analytik der Partikel mit TD-Pyr-GC/MS (links) und mit Gerstel Twister® (rechts)





**LEONHARD
PRECHTL**
(M.Sc.)

089/28913709

LEONHARD
.PRECHTL
@TUM.DE

Vorhersage der Ionisationsraten in einer ESI Ionenquelle mittels maschinellem Lernen

Elektrospray Ionisation (ESI) ist die wichtigste Ionenquellenart für die Kopplung von Flüssigchromatographie (LC) mit Massenspektrometrie (MS). ESI kommt prinzipbedingt sehr gut mit dem hohen Lösungsmittelanteil, welcher durch die Trennung in einer LC in der Probe für das Massenspektrometer vorhanden ist zurecht und ermöglicht zusätzlich als weiche Ionenquelle die Messung des Molekülpeaks ohne Fragmentierung. Ein großer Nachteil der ESI ist die große Schwankung der Ionisationsraten, die Schwankungsbreite zwischen verschiedenen Stoffen in unterschiedlichen Bedingungen liegt im Bereich mehrerer Größenordnungen. Daher ist für eine Quantifizierung mittels ESI die Verwendung eines Standards zwingend erforderlich, selbst wenn nur die Größenordnung der Analytkonzentration bestimmt werden soll. Eine Möglichkeit zur Vorhersage der Quantifizierung über die Ionisationsrate mittels LC-ESI-MS gemessenen Substanzen wäre insbesondere bei der Non-Target Analyse von Wasserproben ein großer Vorteil, da dies eine schnelle Entscheidung ermöglichen würde, für welche Substanzen eine weitergehende Analyse notwendig ist.

Da die Ionisationsraten von einer großen Anzahl an Parametern abhängt ist eine Vorhersage bislang nur sehr eingeschränkt möglich. Um ein in der Praxis verwendbares Vorhersagemodell zu entwickeln soll für eine Reihe unterschiedlicher Substanzen für viele unterschiedliche Messbedingungen die jeweiligen Ionisationsraten gemessen werden. Mittels maschinellem Lernen soll anschließend anhand dieser Daten ein Modell entwickelt werden welches zukünftig die Vorhersage der Ionisationsraten einer ESI Ionenquelle ohne die Verwendung eines Standards ermöglicht.



THOMAS LETZEL
(DR. RER. NAT.
HABIL.)

Bis 08/19
T.LETZEL@TUM.DE

FOR-IDENT – Nachhaltigkeit: Abschließendes Jahr

Das Projekt FOR-IDENT (FI) ist ein achtjähriges vom BMBF gefördertes Projekt und führte die Arbeiten des RISK-IDENT Projektes der Jahre 2012-2014 bis Ende 2019 fort. Dabei lag bis 2017 der Fokus auf der Erstellung von Handlungsanweisungen und Einbindung der Stoffdatenbank STOFF-IDENT in die erweiterte Arbeitsplattform FOR-IDENT. In dieser ‚FOR-IDENT‘ 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. Seit 2017 wurden die Rechte der Plattform sowie die Stabilität unter die Lupe genommen.

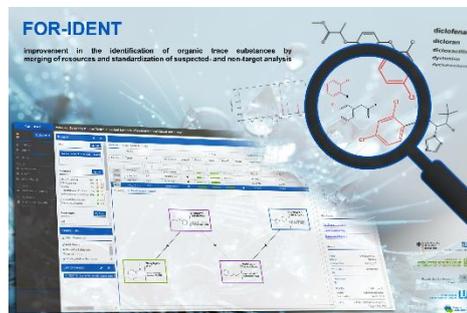


Abbildung 38: Darstellung der FOR-IDENT Plattform Info in aktuellen Fachzeitschriften

Die Anwendungen der im RISK-IDENT Projekt entwickelten Stoffdatenbank STOFF-IDENT spielt dabei eine zentrale Rolle (siehe auch <https://www.lfu.bayern.de/stoffident/#!home>). In den letzten beiden Jahren wurde die Stoffdatenbank um weitere Stoffdatenbanken erweitert, z.B. die biogene Stoffdatenbank PLANT-IDENT, die PFC-IDENT des LfU, die DuftSTOFF-IDENT und die GC STOFF-IDENT. Hiermit können -durch verschiedene Filtermöglichkeiten- Vorschläge möglicher Analyten in einer Probe vorgenommen werden. Weiterhin sind auf der Arbeitsplattform derzeit MS/MS Datenbanken wie MassBank und Vorhersagewerkzeuge, wie MetFrag und EnviPath integriert. Dies erlaubt in einem Zuge die Nutzung von biologischen, chemischen bzw. physiko-chemischen sowie analytischen Metadaten. In dem Projekt FOR-IDENT sind weitere Anbindungen wie ökotoxikologische Datenbanken geplant.

Das Projekt wurde nun final Ende 2019 abgeschlossen und soll in einen Verein übergeführt werden. Thomas Letzel ist nach Abschluss des Projektes weiterhin wissenschaftlicher Gast des Lehrstuhls und betreut mehrere Doktorarbeiten.

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

KOOPERATION:
BWB, HSWT, LfU, LW, TUM



ROFIDA WAHMAN
(M.Sc.)

089/28913707
ROFIDA.WAHMAN
@TUM.DE

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

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

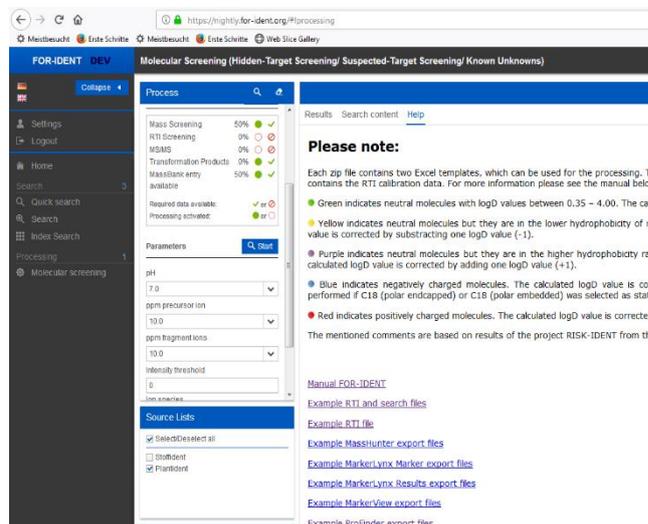


Abbildung 39: PLANT-IDENT screenshot

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

Diese Studien wurden mit unterschiedlichen Pflanzen sowie mit (und ohne) unterschiedlichen Spurenstoffen durchgeführt und unterschiedliche Extrakte unterschiedlicher Pflanzenteile und teilweise unterschiedlichen Alters wurden mittels RPLC-HILIC-ESI-ToF-MS vermessen. Die Daten wurden für mehrere hundert Substanzen in (sehr) polaren bis unpolaren Bereich erfasst und auf deren statistische Nutzbarkeit hin untersucht sowie auf deren Aussagekraft auf den Einfluss des Pflanzenmetabolismus hin überprüft. Zusätzlich entstand die (derzeit mit über 1000 mit (primären und sekundären) Pflanzenmetaboliten gefüllte) open-access Datenbank PLANT-IDENT. Diese kann -implementiert in die freie Analytische Plattform FOR-IDENT- zur Auswertung von Non-Target Screening Daten herangezogen werden (siehe auch FOR-IDENT; see <https://water.for-ident.org/>).

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

FINANZIERUNG:
BAYERISCHES
STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT
UND VERBRAUCHERSCHUTZ
UND
ÄGYPTISCHES MINISTERIUM FÜR
HOCHSCHULBILDUNG

KOOPERATION:
FORSCHUNGSEINHEIT
UMWELTGENOMIK,
HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN



SUSANNE MINKUS
(M.SC.)

SUSANNE.MINKUS
@TUM.DE

Polaritätserweitertes HRMS-Screening zur umfassenden Erfassung (hoch)polarer Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt

Organische anthropogene Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt sind von öffentlichem Interesse, da sie negative chronische Auswirkungen auf die dortige Flora und Fauna haben können. Sie gelangen über Kläranlagen, Oberflächenabflüsse oder kontaminierten Niederschlag in Oberflächengewässer. Teilweise können sie allerdings auch schon in geringen Konzentrationen im Grund- und Trinkwasser nachgewiesen worden. Besonders hochpolare Spurenstoffe sind in der Lage, sowohl technische als auch biologische Barrieren zu passieren und sich über den Wasserkreislauf auszubreiten.

Um die Fülle der Zielkomponenten analytisch erfassen zu können, werden verschiedene chromatographische Trenntechniken mit hochauflösender Massenspektrometrie (HRMS) kombiniert. Ein breites Polaritätsspektrum kann beispielsweise durch die serielle Kopplung von Umkehrphasen-Flüssigchromatographie (RPLC) mit hydrophiler Interaktions-Flüssigchromatographie (HILIC) abgedeckt werden. Durch ein nicht-zielgerichtetes Analyseverfahren („Non-Target Screening“) werden alle Daten erfasst, die durch das RPLC-HILIC-HRMS System detektiert wurden. In Verbindung mit der Stoffdatenbank STOFF-IDENT auf der frei nutzbaren FOR-IDENT Plattform kann so nach neuen und/oder bisher wenig beachteten umweltrelevanten Substanzen gesucht werden.

Non-Target Screening von Umweltproben mittels HRMS generiert komplexe Datensätze, für deren Auswertung und statistische Interpretation neue und ganzheitliche Arbeitsabläufe notwendig sind. In der zurückliegenden Projektphase wurde eine solche Strategie zur Prozessierung von RPLC-HILIC-HRMS Daten entwickelt. Dabei wurde die Dekonvolution chromatographischer Peaks und deren Komponentisierung zu molekularen „Features“ optimiert. Mithilfe der Stoffdatenbank STOFF-IDENT konnten die akkuraten Massen dieser molekularen Features möglichen Substanzen zugeordnet werden. Einige der in der Datenbank hinterlegten physiko-chemischen Eigenschaften wurden als weitere Filterkriterien herangezogen. Die dadurch stark reduzierten Substanzvorschläge könnten anschließend mithilfe von Referenzstandards bestätigt werden. Zum Einsatz kam dieser Workflow bei einer saisonalen Studie von Wasserproben an unterschiedlichen Stellen des Flusses Isar.

FÖRDERUNG:
AFIN-TS GMBH

Susanne Minkus ist externe Doktorandin und bei der AFIN-TS GmbH in Augsburg angestellt. Das Unternehmen entwickelt Non-Target Screening Ansätze und etabliert diese dann in unterschiedlichen Laboratorien. Betreut wird Susannes Doktorarbeit an der TUM von Jörg Drewes und Thomas Letzel.



HANNA ULRICH
(DIPL.)

0821/90711151
HANNA.ULRICH
@TUM.DE

Identifikation und Verhalten polyfluorierter Vorläuferverbindungen in der Umwelt

Aufgrund von chemikalienrechtlichen Beschränkungsmaßnahmen für langkettige perfluorierte Verbindungen werden zunehmend per- und polyfluorierte Ersatzstoffe in Industrie- und Konsumprodukten eingesetzt. Bislang liegen nur unzureichende Informationen zu diesen Verbindungen vor. Ziel ist es daher, verschiedene Ansätze zu nutzen um insbesondere Informationen zu polyfluorierten Vorläuferverbindungen in der aquatischen Umwelt zu erhalten, die langfristig zu persistenten perfluorierten Verbindungen abgebaut werden.

Der Gesamtgehalt an per- und polyfluorierten Verbindungen (PFASs) in aquatischen Umweltproben kann mit Hilfe des TOP-Assays (total oxidizable precursor assay) bestimmt werden. Bei dieser Methode werden bislang nicht analysierbare polyfluorierte Vorläuferverbindungen mittels Oxidation zu den analytisch messbaren perfluorierten Carbonsäuren abgebaut. Die mit dem TOP-Assay bestimmten Werte können mit den direkt bestimmten PFC-Konzentrationen der Standardanalytik verglichen werden, um so den Anteil der unbekannt polyfluorierten Chemikalien an der gesamten PFASs-Konzentration zu ermitteln. In der ersten Projektphase wird der TOP-Assay für verschiedene wässrige Matrices (Reinstwasser, Bodeneluat und Abwasser) optimiert und validiert.

Eine Bewertung des Umweltrisikos der polyfluorierten Vorläuferverbindungen kann allerdings nur erfolgen, wenn die Einzelverbindungen bekannt sind. Aus diesem Grund wird die Non-Target- bzw. Suspected-Target-Analytik eingesetzt, um unbekannte bzw. erwartete polyfluorierte Verbindungen in Wasserproben zu identifizieren. Mit Hilfe eines hochauflösenden und akkuraten LC-MS/MS-Geräts kann die exakte Masse der Moleküle in einer Probe bestimmt werden. Anschließend können durch den Abgleich mit einer Suspected-Screening-Liste, Stoff- oder Spektrendatenbanken Vorschläge für mögliche Substanzen erhalten werden.

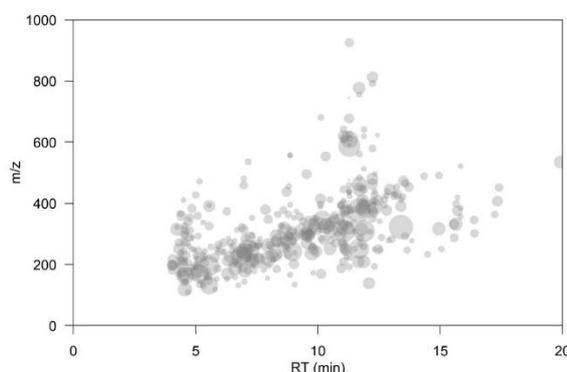


Abbildung 40: Mittels hochauflösender Massenspektrometrie detektierte Verbindungen in einer Oberflächengewässerprobe

Die im Rahmen des Projektes aufgebaute Substanzdatenbank ‚PFC-IDENT‘ umfasst bisher über 4.600 Verbindungen und kann neuerdings über die FOR-IDENT Plattform genutzt werden. Erste Umweltproben wurden mit der hochauflösenden und akkuraten LC-MS/MS-Analytik gemessen und werden aktuell mit dieser Plattform und Datenbank ausgewertet.

Hanna Ulrich ist externe Doktorandin und beim Bayerischen Landesamt für Umwelt angestellt.

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT

Gastwissenschaftler



**DR. NIRINA
KHADGI**

NIRINA@HHU.EDU.
CN

Dr. Nirina Khadgi hat an der Hohai Universität in Jiangsu, China, promoviert und beschäftigt sich mit der photokatalytischen Entfernung von Spurenstoffen und der Verbreitung von Antibiotikaresistenzen. Im Rahmen des Green Talent Awards, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, besuchte sie von Oktober bis Dezember 2019 den Lehrstuhl und beschäftigte sich mit der Photolyse und Produktbildung des Antibiotikums Ciprofloxacin. Dabei legte sie besonderen Fokus auf die verbleibende antibiotische Aktivität der gebildeten Transformationsprodukte



RENATO LIGUORI
(M. Sc.)

RENATO.LIGUORI
@UNIPARTHEN-
OPE.IT

Renato Liguori ist ein auf Biochemie spezialisierter Biotechnologe, der den potenziellen Einsatz von mikrobiellen Gemeinschaften zur Behandlung von Altlasten untersucht. Seine Doktorarbeit findet an der Universität Parthenope, Neapel, Italien, statt, betreut von Prof. Vincenzo Pasquale.

An der TUM ist er Gastwissenschaftler der Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme und beschäftigt sich in Zusammenarbeit mit dem BfG mit dem Abbaupotenzial von acht verschiedenen Sandfiltermaterialien unter definierten Inkubationsbedingungen. Ziel der Studie ist es, die unterschiedlichen Spurenstofftransformationsraten verschiedener Sandfilter zu beleuchten. Die Hypothese ist, dass einzelne mikrobielle Gemeinschaftsmitglieder und/oder einzelne Gene für den Transformationsprozess verantwortlich sind. Dies soll durch eine Analyse der mikrobiellen Gemeinschaftszusammensetzung und ihrer Metagenome beantwortet werden.

Darüber hinaus untersucht Renato Liguori die mikrobiellen Gemeinschaften von Wasserfiltrationssystemen für den städtischen Straßenwasserabfluss. Diese Studie wird die bisher unbekanntenen mikrobiellen Gemeinschaften des städtischen Straßenwasserversickerungssystems untersuchen, vor allem hinsichtlich der Frage inwieweit die Mikrobiologie die Speicherung von Schadstoffen wie Schwermetallen oder auch Antibiotikaresistenzgenen beeinflussen kann.

Internationale Kooperationspartner

Letztes Jahr konnten wir unsere internationalen Kooperationen weiter ausbauen und durch Besuche vor Ort vertiefen (Abbildung 41).

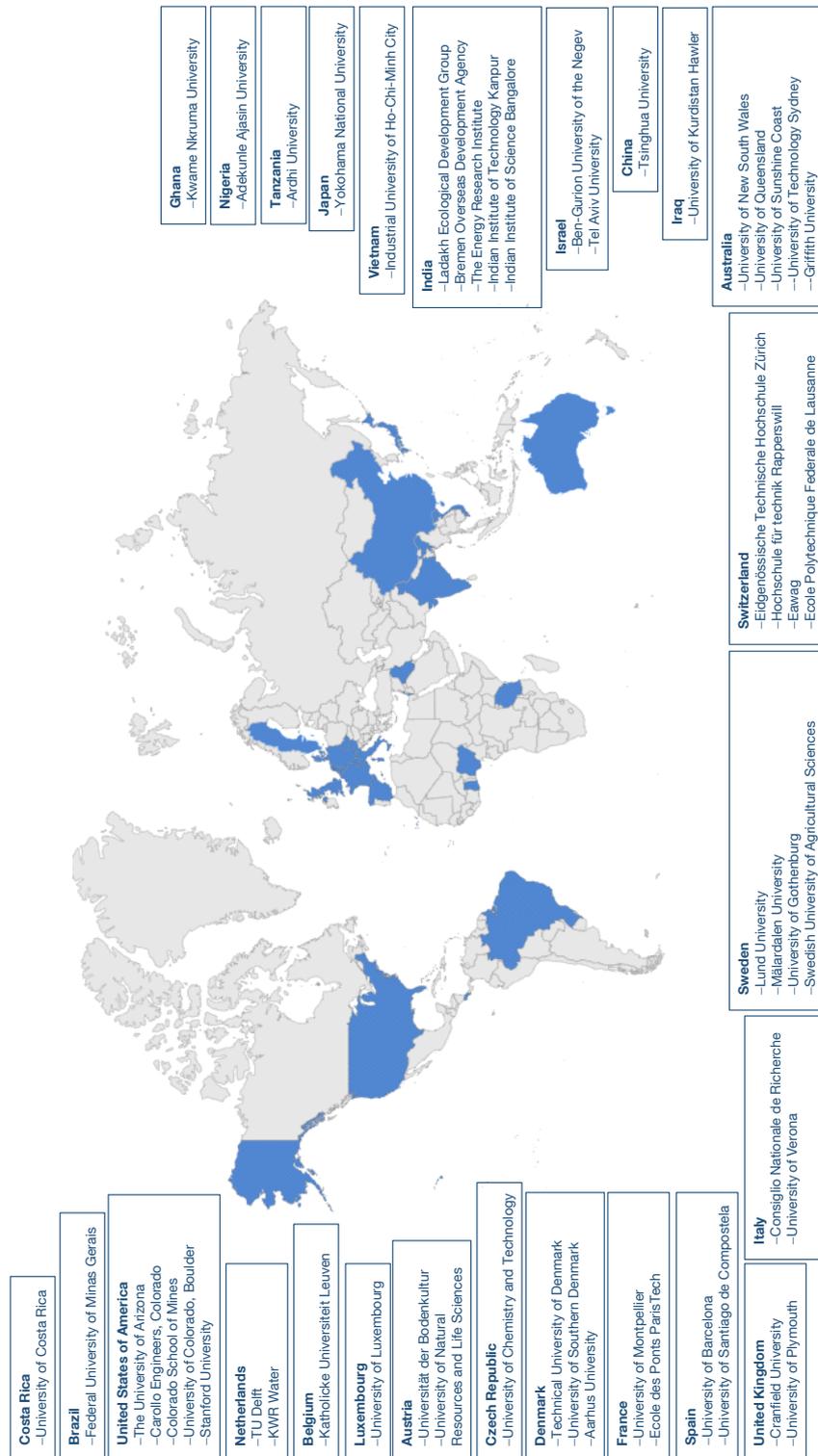


Abbildung 41: Internationale Partner

Nationale & Internationale Gremienarbeit

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“ (ES-3.1) und dem neuen Merkblatt **DWA-M 179** „Dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung“ (ES-3.7). Zudem ist sie aktives Mitglied im **DWA-Fachausschuss IG-2** „Branchenspezifische Industrieabwässer und Abfälle“ und in der Arbeitsgruppe **IG 2.4** „Abwasser aus der Stärkeindustrie“.

Dieses Jahr wurde sie als Sprecherin der **DWA-Arbeitsgruppe ES-3.1** „Versickerung von Niederschlagswasser“ und als Mitglied des **DWA-Fachausschusses ES-3** „Anlagenbezogene Planung“ berufen. Im **DWA-Fachausschuss ES-3** wurde sie als stellvertretende Obfrau gewählt.

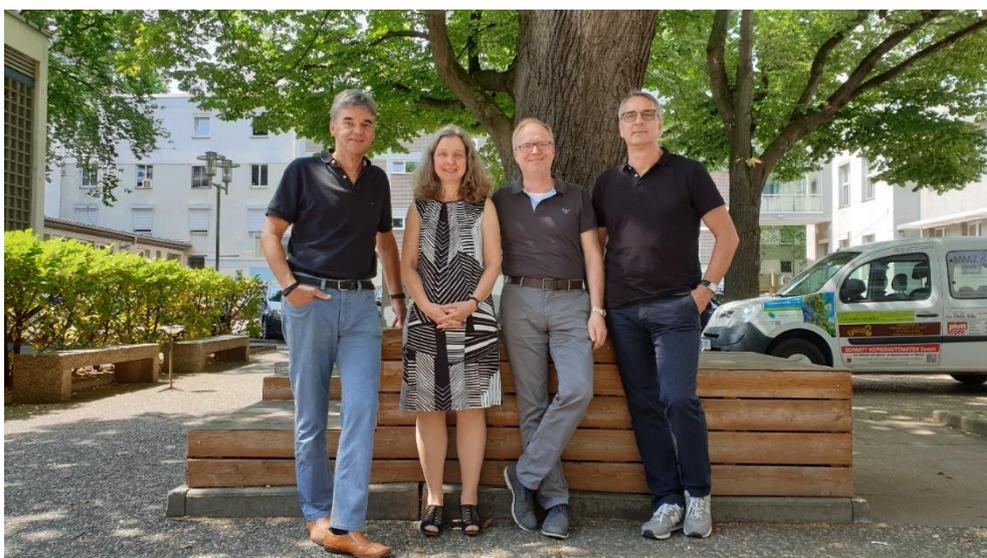


Abbildung 42: von links: Prof. Theo Schmitt (Obmann DWA-ES-2), Prof. Brigitte Helmreich (stellv. Obfrau DWA-ES-3), Prof. Helmut Grüning (stellv. Obmann DWA-ES-2), PD Dr. Stephan Fuchs (DWA-ES-3) (Foto: DWA)

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“.

Uwe Hübner ist aktives Mitglied des **DWA-Fachausschusses KA-8.5** „Ozonung auf Kläranlagen“.

IWA Strategic Council

Jörg Drewes wurde in den **International Water Association Strategic Council** gewählt.



Abbildung 43: Erste Treffen des IWA Strategic Council in Portugal.

IWA – Water Reuse Specialist Group (WRSB)

Jörg Drewes beendete nach sechs Jahren den Vorsitz der **Water Reuse Specialist Group** und wirkt als Past-Chair im Strategic Board der WRSB mit.

Zeitschriften Redakteur

Jörg Drewes ist Editor des Journal of Water Reuse and Desalination.

Konrad Koch ist Gast-Editor der Zeitschrift **Water** für eine Spezialausgabe zum Thema "Biomethane Potential Tests - A Key Tool for Anaerobic Digestion Research and Practice".

Brigitte Helmreich ist ebenso Gast-Editor der Zeitschrift **Water** für eine Spezialausgabe zum Thema „Rainwater Management in Urban Areas“.

Christian Wurzbacher ist seit 2016 Fachredakteur der Zeitschriften **MycoKeys** und **Biodiversity Data Journal**.

Wasserchemische Gesellschaft

Uwe Hübner arbeitet aktiv in den Fachausschüssen „*Transformationsprozesse bei der biologischen Abwasserreinigung und Abwasserwiederverwendung*“ und „*Oxidative Prozesse*“ der **Deutschen Wasserchemischen Gesellschaft** mit. Die Gruppen erarbeiten unter anderem Statuspapiere, die den aktuellen Wissensstand zu biologischen Abbauprozessen zusammenfassen.

Christian Wurzbacher arbeitet aktiv im Fachausschuss "Pathogene und Antibiotikaresistente Bakterien im Wasserkreislauf", einem Unterausschuss der **Deutschen Wasserchemischen Gesellschaft** mit. Die Gruppe erarbeitet den aktuellen Wissensstand und Perspektiven im Umgang mit Pathogenen im Wasserkreislauf.

Nachwuchsförderung / Workshops / Sonstige Aktivitäten

30. Wassertechnisches Seminar (WTS)

Am 13.02.2019 trafen sich knapp 100 Zuhörer im Münchener Oskar-von-Miller-Forum, um sich über die Grundwasserkontamination durch die Verbindungen aus der Gruppe der per- und polyfluorierten Verbindungen (PFCs) zu informieren und die Problematik zu diskutieren. Die Teilnehmer setzten sich zusammen aus Vertretern kommunaler und staatlicher Behörden, der Industrie, (Umwelt-) Ingenieurbüros und Flughafengesellschaften als auch interessierten und betroffenen Bürgern.

Der Fokus der Veranstaltung lag dabei vor allem auf den Perfluoroalkyl-Carbonsäuren (PFCA) oder -Sulfonsäuren (PFSA), sowie möglichen Vorläuferverbindungen. Auf Grund ihrer hohen Stabilität sowie Wasser- und Schmutzabweisung finden die PFCs ein breites Anwendungsfeld in unserem Alltag. In der Umwelt zeigen PFCs eine sehr hohe Persistenz und eine stark unterschiedliche Mobilität sowie Bioakkumulation in Abhängigkeit von der Kettenlänge. Wegen bekannter toxikologischer Effekte für einzelne Verbindungen der PFCA und PFSA stellen diese für das Grundwasser als Trinkwasserquelle eine große Bedrohung dar. Auf Grund der hohen Mobilität stellen die PFC auch die Wasseraufbereitung vor eine große Herausforderung und mögliche Wasseraufbereitungsstrategien wurden diskutiert. Zudem erfolgte eine Einschätzung zur humantoxikologischen Datenlage und dem Expositionsrisiko über die Trinkwasserversorgung.

Quellen, Ausbreitung und Vorkommen von PFCs in der Umwelt wurden aufgezeigt und einzelne Schadensfälle näher betrachtet. Besonders prominent sind hier Flächenkontaminationen oder Gebiete mit einer Häufung von Punktquellen. Durch den langjährigen Einsatz von perfluorierten Tensiden in Löserschäumen sind die Böden bei Feuerlöschübungsplätzen, insbesondere auf Flughäfen und großen Industriestandorten, oft stark belastet. Mögliche Sanierungsstrategien für belastete Böden wurden vorgestellt und diskutiert. Dabei wurde deutlich, dass die Entsorgung dieser Böden in Deponien ebenfalls problematisch ist, sofern diese nicht mit geeigneten Behandlungsanlagen für das Sickerwasser ausgestattet sind.



Abbildung 44: Teilnehmer an der WTS

47. Abwassertechnisches Seminar (ATS)

Am 3. Juli 2019 folgten über 80 Teilnehmer aus Forschung und Praxis der Einladung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft in die Hainhalle Ismaning zum 47. Abwassertechnischen Seminar (ATS). In diesem Jahr stand das Thema "Weitergehende Abwasserbehandlung – Anforderungen, Finanzierung und Umsetzung" auf dem Programm.

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

Im Rahmen des Seminars wurde zunächst auf die aktuelle Spurenstoffstrategie des Bundes und die Umsetzung im Land Bayern eingegangen. Es zeigte sich, dass insbesondere Betreiber an so genannten Hotspots schon bald mit neuen Anforderungen für eine Elimination von Spurenstoffen rechnen müssen. Anschließend wurde die Relevanz der Spurenstoffentfernung für die Gewässer sowie in manchen Regionen auch zum Schutz der Trinkwasserversorgung diskutiert. Ein weiterer Beitrag befasste sich mit dem Thema Antibiotikaresistenzen, und deren Entfernung in üblichen Verfahren zur weitergehenden Wasserbehandlung.

Nach der Mittagspause gaben Vortragende aus der Schweiz und aus Aachen einen Einblick in die Umsetzung in die Praxis, bevor auch alternative Ansätze zur Spurenstoffelimination (biologische Verfahren) diskutiert wurden. Das Seminar endete mit einem umfangreichen Block zu Kosten und Finanzierungsmodellen für die Spurenstoffelimination.



Abbildung 45: 47. ATS in der Hainhalle in Ismaning

Young Water Reuse Professionals (YWRP)

Mitarbeiter des Lehrstuhls unter Federführung von Frau Sema Karakurt-Fischer engagieren sich in der 2015 gegründeten **Young Water Reuse Professionals (YWRP)** Gruppe der IWA Water Reuse Special Group (WRSB). Ziel ist die internationale Vernetzung der "Jungwissenschaftler" untereinander sowie der Austausch mit "Seniorwissenschaftlern" und Industrievertretern im Bereich des Wasser Recyclings. Die Aktivitäten beinhalten die Unterstützung von Plattformen und Strukturen für den gegenseitigen Austausch (IWA Connect), WRSB Newsletter sowie Mitarbeit bei der Planung der IWA Water Reuse Specialist Conferences.

Interessierte wenden sich bitte an Sema Karakurt-Fischer: sema.karakurt@tum.de

Sciencisten

Im Jahr 2019 wurden auf dem Arbeitsweg insgesamt über 26.300 km durch die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft zusammen geradelt. Dies entspricht einer CO₂-Einsparung von rd. 3,8 Tonnen im Vergleich zum Auto bzw. 10 Tonnen im Vergleich zum Flugzeug (economy). Ziel ist es den Gesamt- sowie den Einzelbetrag im Jahr 2020 weiter zu erhöhen.



Betriebsausflug im Sommer 2019

Unser Betriebsausflug führte uns dieses Jahr am 17. September 2019 über die Höllentalclamm zur Höllentalangerhütte. Die Tour begann in Hammersbach, wo wir mit der Zahnradbahn Richtung Zugspitzplatt fuhren. Nach einem malerischen und etwas nassem Aufstieg durch das Höllental kamen wir mittags in der Höllentalangerhütte an. Mit erfrischenden Getränken, einer Mahlzeit und Sonnenstrahlen konnte man sich wunderbar von der Wanderung erholen. Anschließend wurde die Abwasserbehandlung der Höllentalangerhütte, unter der Führung von Steffen Rommel, besichtigt.



Abbildung 46: Betriebsausflug zur Höllentalclamm

Geplante Veranstaltungen in 2020

48. Abwassertechnisches Seminar am 15 Juli 2020: Regenwasserbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels

Städte erfahren derzeit ein überdurchschnittliches Wachstum. In zahlreichen Ballungszentren kommt es bereits jetzt zu ausgeprägten Nachverdichtungen und einer deutlichen Reduzierung innerstädtischer Grünflächen. Damit wird aus wasserwirtschaftlicher Sicht die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung vor eine große Herausforderung gestellt. Parallel dazu nehmen im Klimawandel die Häufigkeit, Dauer und Intensität von Wetterextremen wie Starkregenereignisse und Hitzewellen zu und führen zu einer regelmäßigen Überlastung der Kanalisation bzw. der Zunahme von sommerlichem Hitzestress. Hier bedarf es eines städtebaulich planerischen Umdenkens und der Entwicklung von städtischer Infrastruktur, die der Hitze- und Starkregenregulation gleichermaßen dient. Ziel des Seminars ist die Regenwasserbewirtschaftung im urbanen Raum in Zeiten des Klimawandels aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten, sowohl vom Bedürfnis der Bewohner wie auch von der Machbarkeit und Bezahlbarkeit einer wassersensiblen Stadtentwicklung. Ebenso stehen im Fokus die Änderungen der DWA-Regelwerke für das Einleiten von Niederschlagsabflüssen befestigter Flächen in Grund- und Oberflächengewässer.

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

Programm

09:15 Uhr **Begrüßung und Einführung**

Prof. Dr. Brigitte Helmreich,
TU München

Themenblock: Einführung

Moderation: Prof. Dr. Brigitte Helmreich

09:30 Uhr **Leben in der Stadt der Zukunft – Wie beeinflusst der Klimawandel unsere Städte**

Prof. Dr. Matthias Garschagen
Ludwig-Maximilian-Universität München, München

10:00 Uhr **Starkregenvorsorge im Städtebau und in der Bauleitplanung**

Stefan Brückmann
Ramboll Studio Dreiseitl, Überlingen

10:20 Uhr **Diskussion**

10:40 Uhr **Kaffeepause und Besichtigung des Ausstellerforums**

Themenblock: Herausforderung Klimaanpassungen

Moderation: Prof. Dr. Brigitte Helmreich

11:10 Uhr **Klimaanpassung in der Bauleitplanung – Umgang mit Niederschlagswasser**

Werner Norgauer, BBI Ingenieure, Regensburg

- 11:30 Uhr **Überflutungsnachweise für Grundstücke im urbanen Raum - Gefährdungspotentiale erkennen und beseitigen**
Daniel Hoedemacker
GFM Bau und Umweltingenieure GmbH, München
- 11:50 Uhr **Wirtschaftlichkeit wassersensibler Stadtentwicklung – Kosten und Mehrwert alternativer Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen**
Dr. Nadine Gerner
Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen
- 12:10 Uhr **Diskussion**
- 12:25 Uhr **Mittagspause und Besichtigung des Ausstellerforums**
- Themenblock: Neue Regelwerke**
Moderation: Prof. Dr. Jörg E. Drewes
- 14:00 Uhr **Regenwasserversickerung nach dem neuen DWA-A 138 ins Grundwasser – Was ist neu?**
Prof. Brigitte Helmreich,
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TU München, Garching
- 14:20 Uhr **Das neue DWA-A 102 – Zukünftige Anforderungen für das Einleiten von Regenabflüssen in Oberflächengewässer**
Bernd Haller
Regierungspräsidium Karlsruhe, Karlsruhe
- 14:40 Uhr **Der Wasserhaushalt in der Stadt der Zukunft – neue Regelungen in DWA-A/M 102 für Neubau- und Sanierungsgebiete**
Prof. Mathias Uhl,
FH Münster, University of Applied Science, Münster
- 15:00 Uhr **Diskussion**
- 15:15 Uhr **Kaffeepause und Besichtigung des Ausstellerforums**
- Themenblock: Planung auf engem Raum**
Moderation: Prof. Dr. Jörg E. Drewes
- 15:45 Uhr **Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung im urbanen Raum aus Sicht des Betreibers**
Dr. Maximilian Huber
Münchener Stadtentwässerung, München
- 16:10 Uhr **Dezentralen Behandlungsanlagen als platzsparende Alternative? Praxiserfahrungen**
Steffen Rommel,
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TU München, Garching
- 16:30 Uhr **Diskussion**
- 16:45 Uhr **Schlusswort**
Prof. Dr. Jörg E. Drewes,
TU München

Publikationen

Wissenschaftliche Zeitschriften (Peer-reviewed)

- 1) Bajón Fernández, Y., Soares, A., Vale, P., Koch, K., Masse, A.L., Cartmell, E., 2019. Enhancing the anaerobic digestion process through carbon dioxide enrichment: initial insights into mechanisms of utilization. *Environ. Technol.* 40, 1744–1755. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1597173>
- 2) Barros, L.B.M., Andrade, L.H., Drewes, J.E., Amaral, M.C.S., 2019. Investigation of electro dialysis configurations for vinasse desalting and potassium recovery. *Sep. Purif. Technol.* 229, 115797. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115797>
- 3) Grossart, H.-P., den Wyngaert, S., Kagami, M., Wurzbacher, C., Cunliffe, M., Rojas-Jimenez, K., 2019. Fungi in aquatic ecosystems. *Nat. Rev. Microbiol.* 17, 339–354. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0175-8>
- 4) Heeger, F., Wurzbacher, C., Bourne, E.C., Mazzoni, C.J., Monaghan, M.T., 2019. Combining the 5.8S and ITS2 to improve classification of fungi. *Methods Ecol. Evol.* 10, 1702–1711. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13266>
- 5) Heerenklage, J., Rechtenbach, D., Atamaniuk, I., Alassali, A., Raga, R., Koch, K., Kuchta, K., 2019. Development of a method to produce standardised and storable inocula for biomethane potential tests – Preliminary steps. *Renew. Energy* 143, 753–761. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.037>
- 6) Hellauer, K., Martínez Mayerlen, S., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Biotransformation of trace organic chemicals in the presence of highly refractory dissolved organic carbon. *Chemosphere* 215, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.166>
- 7) Hermes, N., Jewell, K.S., Schulz, M., Müller, J., Hübner, U., Wick, A., Drewes, J.E., Ternes, T.A., 2019. Elucidation of removal processes in sequential biofiltration (SBF) and soil aquifer treatment (SAT) by analysis of a broad range of trace organic chemicals (TOCs) and their transformation products (TPs). *Water Res.* 163, 114857. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114857>
- 8) Hien, S., Hansen, J., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. BioTOOL—a Readily and Flexible Biogas Rate Prediction Tool for End-users. *Environ. Model. Assess.* 24, 87–94. <https://doi.org/10.1007/s10666-018-9609-3>
- 9) Hiller, C.X., Hübner, U., Fajnorova, S., Schwartz, T., Drewes, J.E., 2019. Antibiotic microbial resistance (AMR) removal efficiencies by conventional and advanced wastewater treatment processes: A review. *Sci. Total Environ.* 685, 596–608. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.315>
- 10) Jensen, M.B., Strübing, D., de Jonge, N., Nielsen, J.L., Ottosen, L.D.M., Koch, K., Kofoed, M.V.W., 2019. Stick or leave – Pushing methanogens to biofilm formation for ex situ biomethanation. *Bioresour. Technol.* 291, 121784. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121784>
- 11) Karakurt, S., Schmid, L., Hübner, U., Drewes, J.E., 2019. Dynamics of Wastewater Effluent Contributions in Streams and Impacts on Drinking Water Supply via Riverbank Filtration in Germany - A National Reconnaissance. *Environ. Sci. Technol.* 53, 6154–6161. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07216>
- 12) Koch, K., Hafner, S.D., Weinrich, S., Astals, S., 2019. Identification of Critical Problems in Biochemical Methane Potential (BMP) Tests From Methane Production Curves. *Front. Environ. Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00178>
- 13) Lahmouri, M., Drewes, J.E., Gondhalekar, D., 2019. Analysis of Greenhouse Gas Emissions in Centralized and Decentralized Water Reclamation with Resource Recovery Strategies in Leh Town, Ladakh, India, and Potential for Their Reduction in Context of the Water–Energy–Food Nexus. *Water* 11, 906. <https://doi.org/10.3390/w11050906>
- 14) Lindenblatt, C., Drewes, J.E., 2019. N₂O-Vermeidung bei der Behandlung hoch stickstoffreicher Abwässer. *Chemie Ing. Tech.* 91, 1460–1467. <https://doi.org/10.1002/cite.201900071>
- 15) Lippert, T., Bandelin, J., Schleder, F., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. Impact of ultrasound-induced cavitation on the fluid dynamics of water and sewage sludge in ultrasonic flatbed reactors. *Ultrason. Sonochem.* 55, 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.024>

- 16) Macintosh, C., Astals, S., Sembera, C., Ertl, A., Drewes, J.E., Jensen, P.D., Koch, K., 2019. Successful strategies for increasing energy self-sufficiency at Grüneck wastewater treatment plant in Germany by food waste co-digestion and improved aeration. *Appl. Energy* 242, 797–808. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.126>
- 17) Miklos, D.B., Wang, W., Linden, K.G., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Comparison of UV-AOPs (UV/H₂O₂, UV/PDS and UV/Chlorine) for TOC removal from municipal wastewater effluent and optical surrogate model evaluation. *Chem. Eng. J.* 362, 537–547. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.041>
- 18) Müller, J., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Investigating synergies in sequential biofiltration-based hybrid systems for the enhanced removal of trace organic chemicals from wastewater treatment plant effluents. *Environ. Sci. Technol. Water Res. Technol.* 5, 1423–1435. <https://doi.org/10.1039/c9ew00181f>
- 19) Müller, J., Jewell, K.S., Schulz, M., Hermes, N., Ternes, T.A., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Capturing the oxic transformation of iopromide - A useful tool for an improved characterization of predominant redox conditions and the removal of trace organic compounds in biofiltration systems? *Water Res.* 152, 274–284. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.055>
- 20) Müller, J., Levai, S., Titzschkau, L., Popovic, N., Carevic, D., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Role of reduced empty bed contact times and pre-treatment by coagulation with Fe (III) salts on the removal of trace organic compounds during sequential biofiltration. *Sci. Total Environment* 685, 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.361>
- 21) Oladoja, N.A., Bello, G.A., Helmreich, B., Obisesan, S. V, Ogunniyi, J.A., Anthony, E.T., Saliu, T.D., 2019. Defluoridation efficiency of a green composite reactive material derived from lateritic soil and gastropod shell. *Sustain. Chem. Pharm.* 12, 100131. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100131>
- 22) Ricci, B.C., Skibinski, B., Koch, K., Mancel, C., Celestino, C.Q., Cunha, I.L.C., Silva, M.R., Alvim, C.B., Faria, C. V, Andrade, L.H., Lange, L.C., Amaral, M.C.S., 2019. Critical performance assessment of a submerged hybrid forward osmosis - membrane distillation system. *Desalination* 468, 114082. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114082>
- 23) Rojas-Jimenez, K., Rieck, A., Wurzbacher, C., Jürgens, K., Labrenz, M., Grossart, H.-P., 2019. A Salinity Threshold Separating Fungal Communities in the Baltic Sea. *Front. Microbiol.* 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00680>
- 24) Rommel, S.H., Ebert, V., Huber, M., Drewes, J.E., Helmreich, B., 2019. Spatial distribution of zinc in the topsoil of four vegetated infiltration swales treating zinc roof runoff. *Sci. Total Environ.* 672, 806–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.016>
- 25) Sembera, C., Macintosh, C., Astals, S., Koch, K., 2019. Benefits and drawbacks of food and dairy waste co-digestion at a high organic loading rate: A Moosburg WWTP case study. *Waste Manag.* 95, 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.008>
- 26) Skibinski, B., Uhlig, S., Müller, P., Slavik, I., Uhl, W., 2019. Impact of Different Combinations of Water Treatment Processes on the Concentration of Disinfection Byproducts and Their Precursors in Swimming Pool Water. *Environ. Sci. Technol.* 53, 8115–8126. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00491>
- 27) Strübing, D., Moeller, A.B., Mößnang, B., Lebuhn, M., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. Load change capability of an anaerobic thermophilic trickle bed reactor for dynamic H₂/CO₂ biomethanation. *Bioresour. Technol.* 289, 121735. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121735>
- 28) Vitas, S., Beckmann, P., Skibinski, B., Goldhahn, C., Muff, L.F., Cabane, E., 2019. Rejection of micron-sized particles using beech wood xylem. *Environ. Sci. Water Res. Technol.* 5, 944–955. <https://doi.org/10.1039/c8ew00774h>

Konferenzen

Präsentationen

- 1) Achermann, S., Mansfeldt, C.B., Hübner, U., Drewes, J.E., Fenner, K., 2019. Analysis of micropollutant biotransformation kinetics and products reveals reaction-type-specific behavior, in: TransCon 2019. Ascona, Switzerland.
- 2) Burke, V., Greskowiak, J., Sanz-Prat, A., Rhode, C., Schröter, I., Drewes, J.E., Hübner, U., Sperlich, A., Schimmelpfennig, S., Dünnbier, U., Massmann, G., 2019. Coupling bank filtration to pond infiltration – a useful option in terms of quality improvements, in: 10th International Symposium on Managed Aquifer Recharge (ISMAR). Madrid, Spain.
- 3) Drewes, J.E., 2019. Innovationen – Von der Forschung in die Praxis, in: DWA Dialog Berlin 2019. Berlin, Deutschland.
- 4) Drewes, J.E., 2019. Understanding microbial biotransformation of contaminants in natural and engineered systems - The past, present and future, in: TransCon 2019. Ascona, Switzerland.
- 5) Drewes, J.E., Hellauer, K., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Müller, J., Hübner, U., 2019. Next-generation Managed Aquifer Recharge for Enhanced Trace Organic Chemical and Pathogen Removal, in: 10th International Symposium on Managed Aquifer Recharge (ISMAR). Madrid, Spain.
- 6) Drewes, J.E., Schramm, E., Jungfer, C., 2019. Risikomanagement zur Hygiene bei der Wasserwiederverwendung (BMBF-Schwerpunkt), in: DWA Hygienetag. Karlsruhe, Deutschland.
- 7) Drewes, J.E., Schwaller, C., Helmreich, B., 2019. Möglichkeiten der Stützung lokaler Wasserressourcen, in: IESP Workshop – Bewässerung in Ländlichen Und Urbanen Räumen. Garching, Deutschland.
- 8) Fajnorova, S., Hübner, U., Wurzbacher, C., Wanner, J., Drewes, J.E., 2019. Fate of antibiotic microbial resistance during ozonation of wastewater treatment plant effluent, in: 11th International Water and Health Seminar. Cannes, France.
- 9) Hafner, S., Justesen, C., Mortensen, J., Thorsen, R., Koch, K., Weinrich, S., Astals, S., 2019. Sell your GC: Simple and accurate BMP measurement with a scale and syringe, in: 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion. Delft, The Netherlands.
- 10) Helmreich, B., 2019. Bestandsaufnahme bestehender technischer Maßnahmen und Umsetzung der weitestgehenden Phosphorelimination, in: Seminar Weitergehende Abwasserreinigung. Wien, Österreich.
- 11) Helmreich, B., Ebert, V., Rommel, S., 2019. Performance of vegetated infiltration swales for treatment of zinc roof runoff, in: Novatech 2019. Lyon, France.
- 12) Helmreich, B., Rommel, S.H., 2019. Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen im urbanen Raum – wohin geht die Reise?, in: Kolloquium Kommunales Verkehrswesen. Kassel, Deutschland.
- 13) Holliger, C., de Lacroix, H., Koch, K., Hafner, S., 2019. International inter-laboratory studies for standardizing biomethane potential tests, in: 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion. Delft, The Netherlands.
- 14) Hübner, U., Hellauer, K., Müller, J., Drewes, J.E., 2019. Development of novel treatment concepts based on sequential biofiltration for indirect potable reuse, in: 12th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse. Berlin, Germany.
- 15) Hübner, U., Hellauer, K., Müller, J., Karakurt, S., Drewes, J.E., 2019. New water treatment concepts to take advantage of functionally-modified microbial communities for enhanced biotransformation of trace organic chemicals, in: TransCon 2019. Ascona, Switzerland.
- 16) Hübner, U., Müller, J., Drewes, J.E., 2019. Biologische Verfahrensansätze zur Nachbehandlung auf Kläranlagen, in: 47. Abwassertechnisches Seminar: Weitergehende Abwasserbehandlung – Anforderungen, Finanzierung Und Umsetzung. Ismaning, Deutschland.
- 17) Karakurt, S., Sanz-Prat, A., Ergh, M., Rien, C., Selinka, H.C., Hübner, U., Drewes, J.E., 2019. Coupling high-rate infiltration trench technology with a plug-flow bioreactor (SMARTplus) for indirect potable reuse via groundwater recharge, in: 12th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse.

- Berlin, Germany.
- 18) Karakurt, S., Schmidt, L., Hübner, U., Drewes, J.E., 2019. The status of de facto potable water reuse – A national reconnaissance of Germany, in: 12th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse. Berlin, Germany.
 - 19) Kluge, M., Wurzbacher, C., Stenlid, J., Peura, S., 2019. Accessing poorly studied fungi from a thermokarst site in Abisko, Sweden, by culture and isolation, in: SAME 16 – 16th Symposium of Aquatic Microbial Ecology. Potsdam, Germany.
 - 20) Knoop, O., 2019. Effektorientierte Analytik – Kombination von RP-HILIC-MS/MS mit genotoxikologischem Monitoring, in: Anakon 2019. Münster, Deutschland.
 - 21) Knoop, O., Lutze, H. V., Schmidt, T.C., 2019. Remaining Effects After the Ozonation of Tamoxifen, in: Jahrestagung Der Wasserchemischen Gesellschaft. Erfurt, Deutschland.
 - 22) Knoop, O., Sprafke, A., Hofmann, M., Drewes, J.E., 2019. Ozonation of Fluoroquinolone Antibiotics – Transformation Pathways and Genotoxic Effects, in: 8th Late Summer Workshop: “Chemical and Biological Transformation Processes and Analytical Tools for Their Investigation.” Haltern am See, Germany.
 - 23) Koch, K., Hafner, S., Weinrich, S., Astals, S., 2019. Identification of critical problems in BMP tests from methane production curves, in: 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion. Delft, The Netherlands.
 - 24) Koch, K., Strübing, D., Mößnang, B., Lebuhn, M., Drewes, J.E., 2019. Betriebserfahrungen mit der biologischen Wasserstoffmethanisierung im Rieselbettverfahren unter thermophilen Bedingungen, in: Tagungsband Zu Den Biogasinfotagen. Ulm, Deutschland.
 - 25) Koch, K., Strübing, D., Weißbach, M., Drewes, J.E., 2019. Mikrobiologische Methanisierung und der CANDO-Prozess - Neue Möglichkeiten zur Energierück-gewinnung und -speicherung, in: Fachtagung „Co-Vergärung – Chance Oder Risiko? Aktuelle Entwicklungen Aus Deutschland Und Österreich“. Ottobrunn, Deutschland.
 - 26) Rommel, S., Helmreich, B., 2019. Drei dezentrale Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse im Feldversuch – sind die Einzugsgebiete an der gleichen Straße vergleichbar?, in: Aqua Urbanica 2019. Rigi-Kaltbad, Schweiz.
 - 27) Rommel, S., Helmreich, B., 2019. Are different catchment areas at one heavily trafficked road comparable as monitoring sites for stormwater quality improvement devices?, in: Novatech 2019. Lyon, France.
 - 28) Strübing, D., Moeller, A., Mößnang, B., Lebuhn, M., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. Anaerobic thermophilic trickle bed reactor as a promising technology for flexible demand-oriented H₂/CO₂ biomethanation, in: 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion. Delft, The Netherlands.
 - 29) Weißbach, M., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. Technische Umsetzung und Entwicklung von Kontrollstrategien für die Integration des CANDO-Prozesses in Abwasserbehandlungs-systeme zur Entfernung von Stickstoff bei gleichzeitiger Energierückgewinnung, in: 52. Essener Tagung Für Wasserwirtschaft. Aachen, Deutschland.
 - 30) Zhiteneva, V., Rodriguez, J., Ehre, M., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Quantitative chemical exposure and risk assessments of sequential biofiltration within a potable reuse treatment train, in: 12th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse. Berlin, Germany.
 - 31) Zhiteneva, V., Shehata, O., Rodriguez, J., Ehre, M., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Quantitative exposure and risk assessments of a potable reuse treatment train, in: 11th International Water & Health Seminar. Cannes, France.

Poster

- 1) Bandelin, J., Lippert, T., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. Practical experience with full-scale ultrasonic pre-treatment using a novel reactor design, in: 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion. Delft,

The Netherlands.

- 2) Dandikas, V., Heuwinkel, H., Lichti, F., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. Linear regression models for BMP prediction of energy crops, in: 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion. Delft, The Netherlands.
- 3) Lippert, T., Bandelin, J., Drewes, J.E., Koch, K., 2019. Impact of pressure on the efficiency of ultrasonic sewage sludge pre-treatment, in: 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion. Delft, The Netherlands.
- 4) Zhiteneva, V., Rodriguez, J., Ehre, M., Drewes, J.E., Hübner, U., 2019. Quantitative chemical exposure and risk assessments on a non-membrane based potable reuse treatment train, in: Jahrestagung Der Wasserchemischen Gesellschaft. Erfurt, Deutschland.

Abschlussarbeiten

Dissertationen

- 1) Hellauer, Karin: Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART) – The role of dissolved organic carbon composition and concentration on trace organic chemical transformation
- 2) Horstmeyer, Nils: Integrating energy recovery concepts into potable water reuse schemes
- 3) Müller, Johann: Sequential biofiltration – a novel concept for enhanced biological attenuation of trace organic compounds during wastewater treatment'

Masterarbeiten

- 1) Andrianjafidago, Stéphanie: Regenwasserbewirtschaftung unter Anwendung von naturnahen und technischen Maßnahmen bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen in Gewerbegebieten
- 2) Bein, Emil: Modellierung und Leistungsanalyse von Gas/Flüssigmembran-Kontaktoren für den in-situ Sauerstoffeintrag in die SMARTplus Anlage zur indirekten Wasserwiederverwendung
- 3) Bell, Birgit: Erstellung einer Stickstoffbilanz und Auswertung von Betriebsdaten der partiellen Nitrifikation der Kläranlage Rosenheim
- 4) Bickert, Nadine: Risikobewertungsbasierte Probenahmeplanung für Spurenstoffe in der Trinkwassergewinnung
- 5) Bleicher, Daniel: Charakterisierung und Optimierung eines Bodensäulensystems mit verschiedenen Redox-Bedingungen zur Beurteilung des Abbaus von organischen Spurenstoffen
- 6) Ciofalo, Anna: Betriebsoptimierung von Standard und hoch permeablen Ultrafiltrationsmembranen
- 7) Dominke, Martin: Schmutzfrachtberechnungen des Netzes der Abwasserbeseitigungsgruppe Ingolstadt-Nord - Datensammlung und -verarbeitung für die Ortschaften Eitensheim, Lippertshofen, Hepberg, Stammham and Appertshofen
- 8) Eckert, Jennifer: Auswirkungen auf die Regenwassereinleitungen aus Trennsystemen in Gewässer unter Anwendung der DWA-M 153 und DWA-A 102 am Beispiel Neuburg a.d. Donau
- 9) Ehdan, Wardah: Tertiäre Aufbereitung von Abwasser aus einer Papierfabrik durch belüftete Biofiltration
- 10) Eibach, Veronika: Erstellung eines Abwasserkatasters und Entwicklung von Strategien zur Entlastung der MBR-Anlage der Pharmazell GmbH in Raubling
- 11) Eibl, Alexandra: Untersuchung und Bewertung von Lösungsansätzen zur Vermeidung und Behebung von Geruchsbildungen in der Abwasserentsorgung, insbesondere am Ende von Druckleitungen
- 12) Even, Max Ernst: Design von Blasensäulenreaktoren und Optimierung von CO₂-Begasungsprozessen in nicht-newtonschen Flüssigkeiten.
- 13) Feickert Fenske, Carolina: Verwendung einer Ultrafiltrationsmembran zur Aufkonzentration von Biomasse in einem thermophilen anaeroben Rieselfbettreaktor

- 14) Gall, Sarah: Gall, Sarah: Biokohlefilter zur Entfernung von Metallen und organischen Spurenstoffen aus urbanem Niederschlagswasser
- 15) Gillany, Sayd: Potenzial der UV-Desinfektion für die Biofouling-Reduktion in Umkehrosmosemembran-Spiralwickelmodulen
- 16) Gramm, Mario: Design, Aufbau und Optimierung von Vorbehandlungstechnologien für SMARTplus Pilotanlage für die Wasserwiederverwendung
- 17) Hallsdóttir, Bryndís: Risikoanalyse für zwei verschiedene Optionen der Abwasserbehandlung am See Mývatn in Island
- 18) Hasan, Md Nazmul: Untersuchungen zur Stickstoffreduktion in stark salzhaltigen Industrieabwässern
- 19) Hendrik, Tyas: Echtzeitüberwachung der Anammoxaktivität in einem zweistufigen Pilotreaktor zur partiellen Nitrifikation und Anammox (PN/A)
- 20) Hentschel, Anton: Variantenuntersuchung zur Abwasserführung eines innerstädtischen Kanalsanierungsprojektes
- 21) Hesam Mahmoudinejad, Termeh: Anthropogene Antibiotikaresistenzgenverschmutzung in Oberflächen-gewässern Deutschlands
- 22) Hofmann, Michael: Analyse der Transformationsprodukte nach der Ozonierung von organischen Spurenstoffen
- 23) Huber, Vinzenz: Entwicklung eines Untersuchungskonzeptes für die Zustandserfassung und -beurteilung von Stahlbetonbauwerken im Entwässerungssystem der Münchner Stadtentwässerung
- 24) Keller, Ivonne: Abschätzung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs im Raum Schweinfurt mit Hilfe des CROPWAT-Modells
- 25) Khan, Muhammad: Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Konzentrationen an Spurenelementen auf die Biogasproduktion bei der Co-Vergärung von Reisstroh und Kuhmist
- 26) Kiesecker, Lea: Methodenentwicklung zur simultanen Identifizierung von sorbierten Schadstoffen und Kunststoffarten über TED-Pyr-GC/MS
- 27) Lutz, Simon: Entwicklung eines Prototyps eines multiplen Retentostat-Systems zur Entfernung von organischen Spurenstoffen in Grundwasser-Ökosystemen
- 28) Mahmood, Amad: Optimierung von Ultraschallreaktoren: Einfluss von Reaktordesign und Druck auf die Effizienz der Ultraschallvorbehandlung von Klärschlamm
- 29) Moeller, Andreas: Lastwechselfähigkeit eines anaeroben Rieselsbettreaktors zur dynamischen H₂/CO₂-Methanisierung
- 30) Prahtel, Marlies: Einfluss der Membranauswahl und des Transmembrandrucks auf den Rückhalt von Mikroverunreinigungen, die DOC-Entfernung und die Bromidpassage in der Oberflächenwasseraufbereitung
- 31) Ribesmeier, Matthias: Statistisch-stochastische Kanalzustandsprognosen von öffentlichen Steinzeugkanälen
- 32) Ruan, Pinpin: Untersuchungen zur Optimierung des biologischen Abbaus von Abwasser einer Industriewäscherei
- 33) Sahanoglu, Hazal: Biomasseaufbau und Bildung von Transformationsprodukten als Indikatoren für biologische Abbauprozesse in Biofiltern
- 34) Schlederer, Felizitas: Designoptimierung durch Bestimmung des flockenbezogenen Energieeintrags in der Ultraschalldesintegrationstechnik
- 35) Schnieder, Bernd: Entwicklung eines Konzeptes zum Risikomanagement von Starkregen für Kommunen
- 36) Schütz, Manuel: Bilanzierung der anthropogen bedingten Nährstoffeinträge an der Glonn bis Petershausen als Grundlage von Maßnahmeplanungen zur Minderung der Eutrophierung
- 37) Seidl, Martin: Instandhaltung der deutschen Kanalinfrastruktur - Maßnahmen und Methoden

- 38) Shehata, Omar: Eine probabilistische quantitative Risikobewertung der Wasserwiederverwendung: Pathogenen-Entfernung bei der sequentiellen Grundwasseranreicherung durch Verwendung Bayesscher Netze
- 39) Skiebe, Axel: Einfluss verschiedener CO₂ Begasungsregime auf die Reaktorparameter pH-Wert, Redoxpotential, Biogaszusammensetzung und Methanproduktion in Biogasanlagen zur Behandlung von Klärschlamm
- 40) Skrobaneck, Patrick: Die Rolle des hydrodynamischen Stresses bei der GDM filtration bei der Bestimmung der Eigenschaften der Biofilm-EPS-Matrix
- 41) Sprafke, Aileen: Bestimmung des genotoxischen Potentials von Transformationsprodukten bei dem Abbau von vier Antibiotika durch oxidative Prozesse
- 42) Regmi, Ashed: Partizipatorischer Ansatz für nachhaltiges Wassermanagement und Potential für Wasserwiederverwendung und Ressourcenrückgewinnung im Mahabodhi International Meditation Center, Leh, Ladakh, Indien
- 43) Templeton, Kathrina: Analyse von Sorptionsprozessen auf Mikro- und Nanoplastikpartikel mittels TED-(Pyr)-GC/MS in Abhängigkeit von Partikelgröße und Polymerart
- 44) Voggenreiter, Ines: Emergency water demand planning for hospitals (BI)
- 45) Wei, Mengqing: Acrylamidentfernung in der Trinkwasseraufbereitung
- 46) Weiß, Franz: Strategien zur effizienten Inbetriebnahme von anaeroben Rieselbettreaktoren zur H₂/CO₂-Methanisierung
- 47) Werheim, Carolin: Untersuchung und Optimierung des Antibiotikaresistenzrückhalts der Membrantechnologie in der Abwasserreinigung mittels Durchflusszytometrie und Biofilmmessung
- 48) Willmes, Hannah: Per- und polyfluorierte Chemikalien in Sickerwässern bayerischer Deponien – Bestandsaufnahme und Reinigungsvermögen
- 49) Wörle, Nicole: Entwicklung einer angepassten Fremdwasserbestimmungsmethode für das Entwässerungsgebiet der Münchner Stadtentwässerung (BI)
- 50) Wu, Zhaoqian: Kanalzustandsprognosen für die Hachinger Grundstücksanschlüsse
- 51) Xu, Yunqi: Ultraschallbehandlung von Faulschlamm als Alternative zur Beschallung des Überschussschlammes – eine ganzheitliche Leistungsbetrachtung

Studienarbeiten

- 1) Ahmadi, Mohammad: Untersuchung der Artefakt-Bildung sowie der Änderung relevanter Charakteristika von Polystyrol-Mikropartikel durch verschiedene Probenvorbereitungs- und Isolationsmethoden
- 2) Andrianjafidago, Stéphanie: Potential von Faulschlammzentrifugat als Mineralmedium für die H₂/CO₂-Methanisierung in einem anaeroben Rieselfbettreaktor
- 3) Alipour Tesieh, Zahra: Einfluss der Ultraschallvorbehandlung auf die anaerobe Schlammfäulung auf der Kläranlage Starnberg
- 4) Anwar, Ayesha: Einfluss von CO₂-Einbringung während der anaeroben Fermentation von Klärschlamm auf Abbaugrad, CSB Konzentration und Methanproduktion
- 5) Awais, Usama: CO₂-Anreicherung der anaeroben Fermentation zur Steigerung der CH₄-Produktion: Ein Review der Steady State Bewertung
- 6) Baba, Mohammed Majiya: Sammlung und Verarbeitung (Konservierung) von urbanen Wasser- und Sedimentproben zur Identifizierung von Pilzarten: eine Fallstudie von München und Freising
- 7) Bayram, Berfin: Betrieb eines sequentiellen Biofiltrationssystems mit Zwischenozonierung zur verbesserten Entfernung organischer Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen
- 8) Dorape Witharanage, Dinithi Bhagya Amarawardana: Integration von Regenwassermanagement mit Wasser- und Ressourcenrückgewinnung und Energieherstellungspotential am Himalayan Institute of Alternatives, Phyang, Leh, Ladakh, India
- 9) Fanger, Sami: Mikroplastik im Fokus: Eine Studie über selektive Fluoreszenzfärbemethoden zur Verfolgung von Mikroplastik
- 10) Gerber, Stefan: Überblick zum umu-Test für die Bestimmung von Gentoxizität, Vergleich mit dem Ames-Test und Etablierung einer Standardarbeitsanweisung
- 11) Gottfriedsen, Julia: Einbetten von Entrepreneurship Bildung in das TUM Curriculum für Umweltingeneure in Hinsicht auf den WEF Nexus
- 12) Hasan, Md Nazmul: Management von Fäkalschlamm und Ressourcen-Rückgewinnung: Eine Fallstudie in Dhaka, Bangladesh
- 13) Heck, David: Anwendungsbericht und Bewertung des WTW OxiTop® Systems (UI)
- 14) Hergeth, Lisa: Entwicklung eines vorläufigen Indikatoren-Sets für den Water-Energy-Food Nexus
- 15) Khatri, Himani: Einfluss der CO₂ Einbringung während der anaeroben Klärschlammbehandlung auf den FOS/TAC Wert und die Zusammensetzung an organischen Fettsäuren als Indikatoren veränderter mikrobieller Abbauwege
- 16) Liao, Kuan-Po: Ökologische Wechselwirkungen zwischen autochthonen Mikrobiota und humanen viralen Pathogenen in aquatischen Ökosystemen
- 17) Liu, Dan: Mikrobielle Gemeinschaft von Straßenablauffiltrationssystemen und Isolierung von PAK-toleranten Mikroben
- 18) Looi, Shu Wei: Alternative Positivkontrollen für die Standardisierung vom Batchtests
- 19) Lutz, Jannik: Bau und Leistungsanalyse von Tonfiltern zur Wasseraufbereitung - Bewertung eines Pilotprojekts in Äthiopien
- 20) Mahesh, Ragini Bal: Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur Unterschung von beschleunigtem Biofouling unter vollständig kontrollierten und reproduzierbaren Bedingungen
- 21) Manghabati, Hamed: Einfluss einer Ultraschall-Vorbehandlung auf die anaerobe Schlammfäulung auf der Kläranlage Freising
- 22) Mayer, Philipp: Einflussparameter für die Transformation von Spurenstoffen in natürlichen Aufbereitungsverfahren

- 23) Moritz, Theresa: Fernerkundung zur Standortbewertung von dezentralen Energie-Wasser-Lebensmittel-Systemen - Fallstudie Nsutam, ländliches Ghana
- 24) Nguyen, Anh Thang: Physikalisch-chemische Behandlung des Abflusses eines Recyclingpapierlagers einer Papierfabrik in Vietnam
- 25) Noceti, Luca: Untersuchung der abfiltrierbaren Stoffe, Alkalinität und Schwermetall-Spezifizierung in Straßenabflüssen und dezentralen Behandlungsanlagen
- 26) Nwankwo, Joseph: Untersuchung des Alterungs- und Abbaupotenzials von Mikroplastiks (MPs) aus verschiedenen Probenvorbereitungsmethoden
- 27) Rainer, Andreas: Einfluss der Raumbelastung auf die Kohlenstoffdioxid-zu-Methan Biokonversion während der Klärschlammfermentation
- 28) Rodriguez Ramirez, Juan Miguel: Quantitative chemische Risikobewertung (QCRA) der Wasserwiederverwendung: Spurenstoffentfernung innerhalb einer sequentiellen Grundwasseranreicherung für die städtische Wasserwiederverwendung
- 29) Ruf, Anastasia: Entwicklung und Evaluierung eines optimalen Wassermanagements in einem Marktgarten (UI)
- 30) Sadat, Sayed: Erweiterte Überwachung der Leistung von Biofiltern
- 31) Schmelzig, Helene: Wiederinbetriebnahme eines SCADA-kontrollierten Bioreaktorsystems und technische Anleitung zur Verwendung im CANDO-Prozess.
- 32) Schott, Sebastian: Analyse des Anstiegs der Schwermetall- und Salzkonzentration durch den Einsatz von Fällmitteln bei der chemischen Phosphatfällung
- 33) Shourov, Md. Mosheer: Anaerobe Vergärung von Zellulose mit dem OxiTop® Batchsystem: Einfluss der Kopfraumspülung auf Reaktionskinetik und Methanproduktion
- 34) Stanojevic, Sarah; Planung und Konstruktion einer EcoSan-Toilette im Rahmen des Toranam-Projektes im ländlichen Indien
- 35) Stauner, Manoel: Regenwasserwiederverwendung zur Bedarfskompensierung in der Landwirtschaft in den Regionen Gochsheim und Schwebheim
- 36) Stinshoff, Philipp: Remobilisierung von Metallen unter verschiedenen Auswaschbedingungen in Trockenwetterperioden in Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse
- 37) Stoll, Clara: Analyse von Water-Energy-Food Nexus Tools für Simulation und Visualisation
- 38) Thoma, Mario: Energetische Optimierung einer Kläranlage

Bachelorarbeiten

- 1) Feder, Sandra: Datenakquise für eine Stoff-Datenbank zur Erfassung der Metabolite der Nymphaeaceae Familie
- 2) Fischer, Moritz: Wartungsaufwand dezentraler Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse
- 3) Galsterer, Susanne: Vergleich von Bioplastik mit herkömmlichem Plastik bzgl. Ressourcen und Abbaubarkeit
- 4) Gensch, Christina: Schwermetallbelastung in Fällmitteln zur chemischen Phosphorelimination in kommunalen Kläranlagen
- 5) Hirsch, Patrick: Potenzial zur Entfernung von Antibiotikaresistenzen bei der Abwasserreinigung mittels Membranbioreaktoren
- 6) Jaafar, Sana: Datenakquise für eine Stoffdatenbank zur Erfassung der Metabolite der Brassicaceae Familie
- 7) Kellner, Fabian: Vergleichende Verfahrensbeschreibung und Prozessoptimierung einer Abwasserbehandlungsanlage für industrielle Abwässer - Schwerpunkt Cyanidentgiftung
- 8) Kellerer, Marion: Datenakquise für eine Stoff Datenbank zur Erfassung der Metabolite der Vitaceae Familie
- 9) Kriegsch, Severin: Tiefengrundwassernutzung im Ampertal
- 10) Kurz, Johannes: Standardisierung von anaeroben Batchtests – Untersuchung von gefriergetrocknetem Inokulum unter Praxisbedingungen
- 11) Manninger, Fabian: Ultraschallvorbehandlung von Klärschlamm
- 12) Ng, Yi Li: Einfluss des Drucks auf die Effizienz der Ultraschalldesintegration von Klärschlamm – Eine Literaturstudie
- 13) Nguyen, Phan-Anh: Mikrobielle Transformationen von Herbiziden im Boden
- 14) Reiser, Patrick: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen des Blockheizkraftwerkes der Kläranlage Rosenheim.
- 15) Satzl, Christoph: Anwendungs-, Erweiterungs- und Optimierungsmöglichkeiten von Naturkläranlagen
- 16) Vollmer, Jonas: Datenerfassung zu Flavonoiden zur Erstellung einer Datenbank
- 17) Weiss, Isabell: Entfernung von Pathogenen in der Abwasserbehandlung: Verhältnis von Indikatoren zu Referenzpathogenen
- 18) Wen, Tan Jun: Einfluss des Designs von Ultraschallreaktoren auf die Effizienz von Klärschlamm-desintegration – Eine Literaturstudie
- 19) Wohlmannstetter, Sebastian: N₂O Entwicklung bei der Nitrifikation/Denitrifikation

Dissertationen und Auszeichnungen

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. Nils Horstmeyer** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 01. März 2019. Seine Arbeit mit dem Titel *„Integrating energy recovery concepts into potable water reuse schemes“* wurde von Herrn Prof. Joachim Hansen (University of Luxembourg), Herrn Prof. Stuart Khan (University of New South Wales) und Herrn Prof. Jörg Drewes begutachtet.



Abbildung 47: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Nils Horstmeyer



Abbildung 48: Promotionskomitee von Dr. rer. nat. Karin Hellauer

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr. rer. nat. Karin Hellauer** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 13. März 2019. Ihre Arbeit mit dem Titel *„Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART) – The role of dissolved organic carbon composition and concentration on trace organic chemical transformation“* wurde von Herrn Prof. Martin Jekel (TU Berlin), Herrn Prof. Martin Elsner (TUM) und Herrn Prof. Jörg Drewes begutachtet.

Herzlichen Glückwunsch an Herrn **Dr.-Ing. Johann Müller** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 09. Dezember 2019. Seine Arbeit mit dem Titel *„Sequential biofiltration – a novel concept for enhanced biological attenuation of trace organic compounds during wastewater treatment“* wurde von Herrn Thomas Ternes (BfG), Herrn Prof. Martin Jekel (TU Berlin) und Herrn Prof. Jörg Drewes begutachtet.



Abbildung 49: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Johann Müller



Abbildung 50: Willy-Hager-Preis für Dr.-Ing. M. Weißbach (mitte) (Foto: Wasserchemische Gesellschaft)

Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation (CANDO) into wastewater treatment schemes for the simultaneous nitrogen removal and energy recovery from nitrogen“.

Wir sind stolz, dass **Dr.-Ing. Max Weißbach** den **Willy-Hager-Preis 2019** für hervorragende Arbeiten auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik der (industriellen) Wasser- oder Abwasseraufbereitung für seine Doktorarbeit bekommen hat. Die am 24. Juni 2018 mit Auszeichnung (summa cum laude) abgeschlossene Arbeit trägt den Titel „Technical implementation and development of control strategies for the integration of the



Abbildung 51: Philipp Sperle (Mitte) mit dem Dekan Prof. Dr. Christoph Gehlen (rechts) und Herrn Prof. Dr. Gebhard Wulfhorst am Tag der Fakultät 2019 bei der Preisverleihung (Foto: Andreas Heddergott)

Herr **Philipp Sperle**, M.Sc., hat den diesjährigen **H.P. Scholz-Preis** für besondere Studienleistungen und seine Masterarbeit mit dem Titel „Development and Investigation of Vibration Based Membrane Fouling Mitigation and Cleaning Strategies“ bekommen. Herr Sperle hat mit seinen Studienleistungen und der Masterarbeit 2018 den Studiengang Umweltingenieurwesen (Master) als bester seines Jahrganges abgeschlossen. Seine Masterarbeit hat er unter der Betreuung von Herrn Prof. Jörg E. Drewes angefertigt.



Abbildung 52: Foto: von rechts: Michael Mall, Johann Lechner, Anastasia Ruf, Christian Rossmanith und Prof. Dr. Wulfhorst am Tag der Fakultät 2019 bei der Stipendienverleihung (Foto: Andreas Heddergott)

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

Wir freuen uns, dass die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) einen unserer Mitarbeiter mit einem **Emmy Noether-Stipendium** ausgezeichnet hat. **Dr. Christian Wurzbacher** wird ab Januar 2020 die Emmy Noether Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme für voraussichtlich drei plus drei Jahre leiten. Hiermit dürfen wir ihn auch als TUM Fellow in unseren Reihen begrüßen!



Abbildung 53: Foto: TUM Fellow Dr. Christian Wurzbacher (Foto: Andreas Heddergott)

Lehre

Unser Lehrstuhl bietet Vorlesungen für die Bachelorstudiengänge Umweltingenieurwesen und Bauingenieurwesen sowie für die Masterstudiengänge Environmental Engineering, Civil Engineering, Umweltplanung und Ingenieur-Ökologie sowie Sustainable Resource Management an. In diesen Studiengängen werden neue Akzente im Bereich der weitergehenden Trink- und Abwasserbehandlung, der Energierückgewinnung aus Abwasser, dem Wasserrecycling sowie der Konzeption nachhaltiger Wasserver- und -entsorgungssysteme für urbane Räume gesetzt. Folgende Vorlesungen wurden 2019 angeboten:

Sommersemester

Bachelor

- Thermodynamik und Energietechnik (BSc): Hübner, Uwe
- Projektkurs Siedlungswasserwirtschaft (BSc): Drewes, Jörg
- Umweltanalytik (BSc): Knoop, Oliver
- Umweltrecht (BSc): Spieler Martin (external lecturer)

Master/PhD

- Weitergehende Wasserbehandlung und Wiederverwertung (MSc): Drewes, Jörg
- Anaerobtechnik und Energierückgewinnung (MSc): Koch, Konrad
- Wasserchemisches Praktikum (MSc): Helmreich, Brigitte; Knoop, Oliver; Hübner, Uwe; Petz, Susanne
- Industrieabwasserreinigung und Wiederverwertung (MSc): Helmreich, Brigitte
- Bewirtschaftung von Kanalnetzen und Regenwassermanagement (MSc): Helmreich, Brigitte
- Modelling of Aquatic Systems (MSc): Koch, Konrad
- Doktorandenseminar SiWaWi (PhD/MSc): Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Wastewater Treatment (MSc): Koch, Konrad
- Angewandtes Labor zur weitergehenden Wasserbehandlung (MSc): Hübner, Uwe
- Doktorandenkurse Pro Aktiv Plus (MSc/PhD): Drewes, Jörg; Helmreich, Brigitte; Koch, K., Hübner, Uwe; Knoop, Oliver; Wurzbacher, Christian; Keilman-Gondhalekar, Daphne
- Gewässerschutz (MSc): Gschlößl, Tanja (TUM-Lehrbeauftragte)

Wintersemester

Bachelor

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

Master/PhD

- Naturnahe Behandlungsverfahren (MSc): Hübner, Uwe
- Wasserchemie (MSc): Helmreich, Brigitte
- Wasserchemisches Praktikum (MSc): Helmreich, Brigitte; Knoop, Oliver; Hübner, Uwe; Petz, Susanne
- PhD Seminar Siedlungswasserwirtschaft (PhD/MSc): Drewes, Jörg; Koch, Konrad;
- Practical Aspects of Engineered Natural Treatment Systems (MSc): Hübner, Uwe
- Sanitäre Versorgung im globalen Süden (MSc): Drewes, Jörg; Hübner, Uwe; Karakurt-Fischer, Sema; Zhiteneva, Veronika; Lippert, Thomas; Muntau, Meriam; Bein, Emil; Aniol, Jonas; Sperle, Philipp; Al-Azzawi, Mohammed;
- Technical Communication Skills in Water and Wastewater Treatment (MSc): Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Modellierung aquatischer Systeme (MSc): Koch, Konrad
- Water and Wastewater Treatment Engineering (MSc): Drewes, Jörg
- Doktorandenkurse Pro Aktiv (MSc/PhD): Drewes, Jörg; Helmreich, Brigitte; Koch, K., Hübner, Uwe; Knoop, Oliver; Wurzbacher, Christian; Keilman-Gondhalekar, Daphne



ANSPRECH-
PARTNERIN:
**RAPHAELA
HOFMANN**

089/28913727
FOERDERVEREIN
@BV.TUM.DE

Fördergesellschaft des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft e.V.

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

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

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

Einmal jährlich wird das Informationsblatt **Forum** herausgegeben, in dem die Mitglieder des Vereins über das Geschehen am Lehrstuhl informiert werden.

Zur Erfüllung aller dieser Aufgaben wirbt der Verein um Spenden. Willkommen sind finanzielle oder materielle Spenden. Ein Mitgliedsbeitrag wird nicht erhoben.

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

Die Geschäftsstelle wird von Frau Raphaela Hofmann geleitet.

MitarbeiterInnen

Lehrstuhlleitung



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

ArbeitsgruppenleiterInnen



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



Konrad Koch
(Assoc. Prof. Dr.-Ing. habil.)
+49.89.289.13706
k.koch@tum.de



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



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



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



Christian Wurzbacher
(Assoc. Prof. Dr. rer. nat.)
+49.89.289.13797
c.wurzbacher@tum.de



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



Susanne Petz
(Dr. rer. nat.)
+49.89.289.13702
susanne.petz@tum.de

Sekretariat



Marianne Lochner
+49.89.289.13703
m.lochner@tum.de



Susanne Wießler
+49.89.289.13701
s.wiessler@tum.de

Wissenschaftliche MitarbeiterInnen

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



Jonas Aniol (M.Sc.)
+49.89.289.13707
jonas.aniol@tum.de



Jochen Bandelin (M.Sc.)
jochen.bandelin@tum.de



Emil Bein (M. Sc.)
+49.89.289.13708
emil.bein@tum.de



Manuel Boppel (M.Sc.)
manuel.boppel@tum.de



Lijia Cao (M.Sc.)
+49.89.289.13709
lijia.cao@tum.de



Edwin Chingate Barbosa (B.Sc.)
+49.89.289.13718
edwin.chingate@tum.de



Carolina Feickert Fenske (M.Sc.)
+49.89.289.13707
c.feickert@tum.de



Pablo Alberto Vega García (M.Sc.)
pablo.vega-garcia@tum.de



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



Christian Hiller (Dipl.Ing.)
christian.hiller@tum.de



Nebojša Ilić (M.Sc.)
+49.89.289.13780
nebojsa.ilic@tum.de



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



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



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



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



Susanne Minkus
(M.Sc.)
susanne.minkus@tum.de



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



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



Millaray Sierra Olea
(M.Sc.)
+49.89.289.13780
mia.sierra@tum.de



Leonhard Prechtl
(M.Sc.)
+49.89.289.13709
leonhard.prechtl@tum.de



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



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



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



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



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



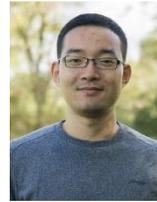
Hanna Ulrich
(Dipl.chem.)
hanna.ulrich@tum.de



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



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



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

GastwissenschaftlerInnen



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



Nirina Khadgi
(Dr.)
nirina@hhu.edu.cn



Renato Liguori
(M.Sc.)
renato.liguori@uniparthenope.it

Technisches Personal



Heidrun Mayrhofer
+49.89.289.13732
heidrun.mayrhofer@tum.de



Hubert Moosrainer
+49.89.289.13730
h.moosrainer@tum.de



Myriam Reif
+49.89.289.13715
m.reif@tum.de



Wolfgang Schröder
+49.89.289.13726
wolfgang.schroeder@tum.de



Ramona Schütt
+49.89.289.13715
ramona.schuett@tum.de



Andrea Vogel
+49.89.289.13709
a.vogel@tum.de



Ursula Wallentits
+49.89.289.13732
u.wallentits@tum.de

Auszubildende



Franziska Bedacht
+49.89.289.13715
franziska.bedacht
@tum.de



Nadine Stellwag
+49.89.289.13715
nadine.stellwag@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

Veronika Zhiteneva, M.Sc.

Carolina Feickert Fenske, M.Sc.