forum 92

Mitteilungsblatt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

Jahresbericht des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

2021

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Am Coulombwall 3
85748 Garching

Tel. +49.89.289.13701
Fax +49.89.289.13718

https://www.cee.ed.tum.de/sww/
sww@tum.de

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

VORWORT **1**

VERSUCHSANSTALT DES LEHRSTUHLS **3**

CHEMISCH-PHYSIKALISCHES, ANALYTISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES LABOR **4**

ARBEITSGRUPPE ENTWÄSSERUNGSSYSTEME **6**

Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum 7
Begleitforschung „Klimagerechtes Bauen – Modellvorhaben“ 8
Erhebungen und Vergleich von Instrumenten zum Substanzwerterhalt von Infrastrukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung 9
Wechselwirkung von Schwermetallen und Bioziden/ Herbiziden aus Regenwasserabfluss von Gebäuden mit gelösten organischen Stoffen 10
Entwicklung eines Modells zur Bewertung der umweltrelevanten Eigenschaften üblicher Putze und Mörtel im Außenbereich 11

ARBEITSGRUPPE ENERGIEEFFIZIENTE ABWASSERBEHANDLUNG **12**

ENCOVER: Energetische Nutzung von CO_2 zur Verringerung des Restmethanpotentials 13
Hybrider, nanotechnologischer Bioprozesse für die Abwasserbehandlung 14
Biogasgewinnung im ländlichen Raum 15
Optimierung der mikrobiologischen Methanisierung im anaeroben Rieselbettreaktor und Demonstration des Reaktorbetriebs im Pilotmaßstab 16
Erhöhte Methanproduktivität in Biogasanlagen durch CO_2-Anreicherung 17

ARBEITSGRUPPE WEITERGEHENDE WASSERBEHANDLUNG **18**

$ISCO_3$: Eintrag von Ozon in Grundwasser über gaspermeable Membranen zur in-situ Sanierung von BTEX Schadensfällen 19
Ozonierung mit schwerem Sauerstoff (^{18}O): eine neue Markierungstechnik zur Aufklärung von Ozonierungsprodukten 20
Entwicklung adaptiver fortschrittlicher Methoden und Systeme zur Entfernung persistenter Per- und Polyfluoralkyl-Substanzen aus Wasser 21
Bioenergetisch-metabolisches Modell zur Vorhersage von Spuren organischer Chemikalien durch Bakterielle Transformation 22

ARBEITSGRUPPE WASSERWIEDERVERWENDUNG **23**

Nutzwasser als alternative Wasserressource für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung 24
Wasserwiederverwendung für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke mittels Aufbereitung über Hybrid-Membran-Ozonierung System 25
Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen 26

ARBEITSGRUPPE URBAN WATER-ENERGY-FOOD (WEF) NEXUS **27**

Wasserwiederverwendung für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke mittels Aufbereitung über Hybrid-Membran-Ozonierung System 28
Nexus City: Verbesserung von Wasser, Energie und Nahrungssicherheit durch einen Nexus Ansatz in Städten in Indien 29

ARBEITSGRUPPE MEMBRANFILTRATION **30**

Entwicklung eines UV-Bestrahlungssystems zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Umkehrosmose-Membranverfahren zur Wasseraufbereitung 31

Inhaltsverzeichnis

Optimierung der Entfernungseffizienz von antibiotika-resistenten Bakterien und Antibiotikaresistenzgenen durch Mikro- und Ultrafiltration in kommunalen Kläranlagen 32

ARBEITSGRUPPE MIKROBIELLE SYSTEME 33

Abwasser Biomarker CoV2: Abwasserepidemiologie am Beispiel eines SARS-CoV-2 Biomarkers für die Abschätzung von COVID-19-Infektionen auf der Populationsskala 34
Beseitigung von organischen Spurenstoffen durch funktionelle mikrobielle Modellgemeinschaften 35
Erforschung unbekannter aquatischer Pilze durch Laserdissektion und Lange-Leselängen-Sequenzierung 36
Funktion von Wasserpilzen in Biofilmen der Abwasser-behandlung 37

ARBEITSGRUPPE SPURENSTOFFE IN DER UMWELT 38

Probenaufbereitung für Umweltmatrix gebundene Mikro- & Submikroplastik: Validierung und Feldstudie ... 39
Analytik von (Sub)mikroplastikpartikeln und sorbierten Spurenstoffen mit TD-Pyr-GC/MS 40
Pilotprojekt: 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage Weißenburg, Erfahrungen im Regelbetrieb 41

EXTERNE DOKTORANDEN 42

Vergleich von aktivkohlebehandelten Proben hinsichtlich ihres individuellen Fingerabdrucks bestehend aus hochpolaren Molekülkandidaten 42
Screening auf unbekannte PFAS in einem belasteten Oberflächengewässer 43

GASTWISSENSCHAFTLER 44

Photokatalytische Recyclingmembranen aus TiO_2 und Gra-phenoxid (GO) und ihre Anwendungen in der Abwasseraufbe-reitung 45
Synthese, Charakterisierung und Anwendung von funktionalen Materialien zur weitergehenden Behandlung von Spurenstoffen in Wasser 46

INTERNATIONALE KOOPERATIONSPARTNER 47

NATIONALE & INTERNATIONALE GREMIENARBEIT 49

DWA-, IWA- und internationale Arbeitsgruppen 49
Wasserchemische Gesellschaft 49
Zeitschriften Redakteur 49

NACHWUCHSFÖRDERUNG / WORKSHOPS / SONSTIGE AKTIVITÄTEN 51

Scienclisten 51

GEPLANTE VERANSTALTUNGEN IN 2022 52

32. Wassertechnisches Seminar, 23. Februar 2022, Online-Seminar: Pathogene und antibiotikaresistente Bakterien im Wasserkreislauf 52
49. Abwassertechnisches Seminar, 5. Juli 2022, Präsenz-Seminar: Wasserwiederverwendung – Potential und Anwendungen in Deutschland 52

PUBLIKATIONEN 53

DISSERTATIONEN UND AUSZEICHNUNGEN 63

LEHRE 65

FÖRDERGESELLSCHAFT DES LEHRSTUHLS FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT E.V. 67

MITARBEITERINNEN 68

KONTAKT 73

JÖRG E. DREWES

(PROF. DR.-ING.)

089/289 13713

JDREWES
@TUM.DE

Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls,

wir gehen in das dritte Corona-Jahr was wohl niemand für möglich gehalten hätte und das neue Normal hat viele Abläufe verändert und persönliche Begegnungen drastisch reduziert. Obwohl wir gehofft hatten, dass das nicht passiert, unterrichten wir unsere Studierenden nun im vierten Semester in Folge weitgehend im online Modus. Das ist leider ein Studium und Lernen mit deutlichen Abstrichen, was uns für unsere Studierenden sehr leidtut.

Trotz vieler Herausforderungen sind wir dennoch dankbar für ein produktives Jahr am Lehrstuhl mit bemerkenswerten Abschlüssen unserer Doktorandinnen und Doktorranden, einer sehr erfreulichen Entwicklung unser Drittmitteleinwerbungen und sehr spannenden Forschungsaktivitäten. Bezüglich der Pandemie waren wir im vergangenen Jahr mit Messprogrammen für Corona-Biomarker im Abwasser sehr beschäftigt und im engen Austausch mit Kommunen, Gesundheitsämtern, dem RKI und Bundesministerien. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter waren sehr aktiv ihre gewonnenen Erkenntnisse auch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu publizieren und mit der nationalen und internationalen Fachöffentlichkeit auch dieses Jahr in virtuellen Treffen und Vorträgen zu teilen.

Wir freuen uns für Herrn Dr.-Ing. Uwe Hübner für den erfolgreichen Abschluss seiner Habilitation. Stolz sind wir auch auf Herrn Dr.-Ing. Steffen Rommel, Frau Dr. rer. nat. Rofida Wahman, Herrn Dr.-Ing. Jochen Bandelin und Herrn Dr.-Ing. Thomas Lippert für den erfolgreichen Abschluss ihrer Promotionen in diesem Jahr. Eine besondere Auszeichnung kam Frau Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer zu, die für ihre Doktorarbeit im vergangenen Jahr mit dem Promotionspreis des Bundes der Freunde der TU München e.V. 2021 ausgezeichnet wurde. Wir gratulieren noch einmal ganz herzlich!

Ich freue mich sehr, Ihnen mit dieser Ausgabe unseren Jahresbericht 2021 überreichen zu können, um Ihnen einen kleinen Einblick in unsere Aktivitäten zu geben. Auch in 2021 wurden wir durch neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verstärkt, die sich Ihnen in diesem Jahresbericht mit ihren anderen Kolleginnen und Kollegen vorstellen.

2021 war auch für die TUM mit großen organisatorischen Veränderungen verbunden. Unsere Ingenieurfakultät Bau-Geo-Umwelt wurde zum 1. Oktober 2021 aufgelöst und wir sind nun im Rahmen der neuen Exzellenzinitiative zusammen mit anderen Fakultäten der Architektur, des Maschinenwesens, der Luft- und Raumfahrttechnik, der Elektrotechnik und Verfahrenstechnik in einer neuen TUM School of Engineering and Design organisiert. Innerhalb dieser School gibt es nun acht Departments und wir finden uns im Department of Civil and Environmental Engineering wieder. Diese Neuaufstellung kommt nicht überraschend mit entsprechenden Geburtswehen.

Ähnlich wie viele andere Veranstaltungen haben wir Pandemie-bedingt das diesjährige Abwassertechnische Seminar (ATS) virtuell durchgeführt. In 2022 werden wir unsere Seminarreihe mit dem 32. Wassertechnischen Seminar (WTS) als virtuelle Veranstaltung mit dem Thema *"Pathogene und antibiotikaresistente Bakterien im Wasserkreislauf"*, das federführend von Dr. Christian Wurzbacher organisiert wurde, am 23. Februar 2022 wieder aufnehmen. Dieses Thema ist nicht nur im Freistaat Bayern sondern auch in Deutschland brandaktuell und wir haben dafür führende Referent*innen gewinnen können. Das 49. ATS ist für den 5. Juli 2022 geplant und wird sich dieses Mal dem Thema *"Wasserwiederverwendung – Potential und Anwendungen in Deutschland"* unter meiner Federführung widmen. Die Programme dieser Veranstaltungen finden Sie in dieser Ausgabe des FORUMs sowie auf unserem Webportal. Dort können Sie sich auch online anmelden (www.cee.ed.tum.de/sww). Über Ihr Interesse an diesen Veranstaltungen 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 sowie Sustainable Resource Management. Neben einer Vielzahl von Vorlesungen, Übungen und Praktika betreuten die Mitarbeiter*innen des Lehrstuhls die beeindruckende Anzahl von 90 Masterarbeiten, Studien- und Bachelorarbeiten.

Neben meinen Lehrstuhlaufgaben kümmere ich mich als Academic Program Director um den Studiengang Umweltingenieurwesen und deren Weiterentwicklung an der TUM und engagiere mich weiterhin in der International Water Association (IWA) und im Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU). Im WBGU erstellen wir momentan ein neues Hauptgutachten mit dem Schwerpunkt ‚Planetare Gesundheit' (mehr dazu unter: https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/impulspapier-health).

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 viel Zuversicht, ein erfolgreiches Jahr und viel Freude beim Lesen.

Ihr,

Brigitte Helmreich

(Prof. Dr. rer. nat. habil.)

089/289 13719

B.HELMREICH @TUM.DE

Claus Lindenblatt

(Dipl.-Ing.)

089/289 13704

C.LINDENBLATT @TUM.DE

Versuchsanstalt des Lehrstuhls

Die Versuchsanstalt des Lehrstuhls führt Prozessvalidierungen für Trinkwasser- und Abwasseraufbereitungen im Labor- und Pilotmaßstab durch und übernimmt Material-, Anlagen- und Verfahrensuntersuchungen sowie Auftragsarbeiten für Industrie, mittelständische Betriebe und Behörden in Forschung und Entwicklung. Sie verfügt über ein Technikum (400 m²) und Versuchsfeld mit direktem Anschluss an die kommunale Kläranlage Garching. Dieser Anschluss ermöglicht es neben der Untersuchung von Trinkwasser kommunales Abwasser in verschiedenen Qualitäten für unterschiedliche Fragestellungen einzusetzen. Die Versuchsanstalt wird von Frau Prof. Dr. Helmreich geleitet.

Für Versuche stehen diverse Labor- und halbtechnische Versuchsanlagen mit Behältergrößen von 30 bis 800 L zur Verfügung. So können z.B. Verfahrensprozesse oder Trinkwasser- und Abwasserbehandlungsanlagen bis in den Anwendungsmaßstab entwickelt und validiert werden. Für die weitergehende Abwasserbehandlung stehen Anlagen zur Oxidation (Ozon, UV/H_2O_2) 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).

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, Dr. Oliver Knoop und Dr. Christian Wurzbacher geleitet werden.

SUSANNE PETZ

(DR. RER. NAT.)

089/289 13702

SUSANNE.PETZ @TUM.DE

Das chemisch-physikalische Labor ist mit modernen analytischen Geräten ausgestattet, die eine Analyse aller relevanter Standardparameter sowohl für Trink- als auch für Abwasser erlauben. Neben der Charakterisierung von Wasserproben über Summenpara-meter wie CSB und BSB 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.

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

Zudem verfügen wir über Geräte zur Bestimmung der Kornverteilung verschiedenster Materialien mittels Trockensiebung.

OLIVER KNOOP

(DR. RER. NAT.)

089/289 13702

OLIVER.KNOOP @TUM.DE

Im analytischen Labor hat sich auf die Charakterisierung und Identifizierung von organischen Molekülen aus wässrigen Proben in der Spurenstoffanalytik (Target Screening) mittels chromatographischer Trenntechniken gekoppelt mit hochsensitiven massenspektrometrischen Detektionsverfahren (LC-MS/MS) spezialisiert. Hier können u.a. anderem auch Perfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) zuverlässig im Wasserkreislauf erfasst werden. Zur Analyse von flüchtigen organischen Substanzen, wie Weichmachern oder flüchtigen organischen Säuren, können mit Hilfe von Headspace-GC/FID, sowie Mikroplastik-Partikel eines Thermo-desorptions-Pyrolyse-GC/MS erfasst werden.

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

CHRISTIAN WURZBACHER

(DR. RER. NAT.)

089/289 13797

C.WURZBACHER @TUM.DE

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 oder digitale PCR). Zur Charakterisierung von mikrobiellen Gemeinschaften kommen Hochdurchsatzsequenzierungstechnologien zum Einsatz (Illumina MiniSeq und Oxford Nanopore Technologies MinION).

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

Brigitte Helmreich

(Prof. Dr. rer. nat. habil.)

089/289 13719

b.helmreich@tum.de

Arbeitsgruppe Entwässerungssysteme

Der Klimawandel stellt durch die zunehmende Häufigkeit von Wetterextremen wie Starkregenereignissen und Dürreperioden die Siedlungsentwässerung vor große Herausforderungen. Daher rücken Anpassungsstrategien als Reaktion auf die Folgen des Klimawandels immer mehr in den Vordergrund. Bereits bei der Neuplanung oder der Verdichtung von Quartieren in Siedlungen ist es wichtig, gleichermaßen alle Akteure der grauen, grünen und blauen Infrastruktur von Beginn an in die Planung zu integrieren. Ein neues Forschungsvorhaben beschäftigt sich daher mit dem Thema klimagerechtes Bauen, in dem alle diese Akteure von Anfang an mit eingebunden werden. Zusammen mit anderen Forschungspartnern begleiten wir zehn ausgewählte Modellvorhaben in Bayern wissenschaftlich, bei denen u.a. der lokale Wasserhaushalt mit ausgewählten Elementen der wassersensiblen Stadt unterstützt werden soll. Ein weiteres Forschungsvorhaben beschäftigt sich der Optimierung von Versickerungsmulden, die auch ein wichtiges Werkzeug der wassersensiblen Stadt sind. Hier steht jedoch nicht nur die Entwässerungssicherheit und der Schadstoffrückhalt, sondern auch die Biodiversität und der Insektenschutz im Vordergrund.

Qualitative Aspekte von Niederschlagsabflüssen sind bereits seit vielen Jahren Schwerpunkt der Arbeitsgruppe. Daher wurde in 2021 in einem weiteren Forschungsvorhaben die Komplexierung von Schwermetallen mit Bioziden und Pestiziden aus Dach- und Fassadenabflüssen betrachtet. Ein anderes Projekt hat sich mit der Sickerwasserprognose von Bioziden und ihrer Metabolite aus Gebäudefassaden ins Grundwasser beschäftigt.

Abbildung 5: Beispiel für ein Gründach als Werkszeug der wassersensiblen Stadt.

In einem weiteren interessanten Projekt wurden Erhebungen sowie ein Vergleich von Instrumenten zum Substanzwerterhalt von Infrastrukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung durchgeführt, die anschließend in Handlungsempfehlungen für die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung resultierten.

PHILIPP STINSHOFF

(M.SC.)

089/289 13717

PHILIPP.STINSHOFF@TUM.DE

Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum

Die rasant fortschreitende Urbanisierung führt in Städten zu starker Nachverdichtung und zu Neuerschließungen. Die daraus resultierende zunehmende Versiegelung und Reduzierung von innerstädtischen Grünflächen führt unweigerlich zu Veränderungen des lokalen Wasserhaushaltes, Verstärkung von Effekten wie der urbanen Hitzeinsel und einem Rückgang der Biodiversität in Siedlungsräumen. Durch die global beobachteten Klimaveränderungen, hin zu häufigeren Extremereignissen wie Starkregen und Dürreperioden, intensivieren sich die negativen Effekte von fehlenden Freiflächen in Städten. Ein wichtiger Baustein, um diesen Effekten entgegenzuwirken, können multifunktional begrünte Versickerungsmulden im Siedlungsraum sein.

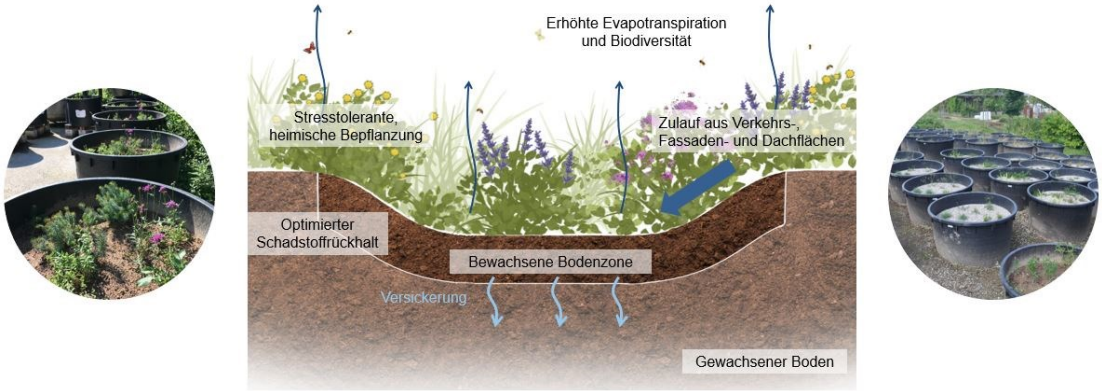


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Effekten einer multifunktionalen Versickerungsmulde.

Ziel ist nicht nur die Entwicklung eines verbesserten siedlungswassertechnischen Versickerungssystems, sondern auch ein optimiertes Pflanzen- und Tierhabitat (vgl. Abbildung 6). Die Forschung an angepasster und geeigneter Bepflanzung wird hierbei von Mitarbeitern der HSWT übernommen. Am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft (SWW) wird die Entwicklung einer geeigneten und optimierten bewachsenen Bodenzone mittels Substratbeimengung fokussiert. Im ersten Halbjahr 2021 sind weitestgehend die Laborversuche zum Schadstoffrückhalt von unterschiedlichen Substraten abgeschlossen worden. Im Juli 2021 wurde sowohl an der HSWT als auch am SWW halbtechnische Versuche im Freigelände mit Bepflanzung zur Untersuchung der stofflichen Belastung und Betriebsstabilität aufgebaut (vgl. Abbildung 6). Die Versuche konzentrieren sich am SWW auf die Entwässerungssicherheit und den Schadstoffrückhalt von Schwermetallen und Bioziden aus Verkehrsflächen-, Fassaden- und Dachflächenabflüssen. Im Frühjahr 2022 ist die Pilotierung im Siedlungsraum geplant mit den bewährten Boden-Substratgemischen und verschiedener Bepflanzung aus den halbtechnischen Versuchen im Freigelände. Zusätzlich wird eine Baumrigolen mit den Boden-Substratgemischen in der Pilotierung mit betrachtet. Dieses Forschungsprojekt bildet damit die Grundlage für einen zukünftigen Leitfaden für Betreiber und Planer aus welchem dann die ökologischen und ökonomischen Vorteile, sowie der Aufwand für den Unterhalt ersichtlich werden.

FÖRDERUNG:

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ

KOOPERATION:

HOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN-TRIESDORF, BODENINSTITUT JOHANNES PRÜGL INGENIEURBÜRO FÜR BODEN- UND VEGETATIONSTECHNIK

Lea Rosenberger

(M.Sc.)

089/289 13716

lea.rosenberger@tum.de

Begleitforschung „Klimagerechtes Bauen – Modellvorhaben“

Die Folgen des anthropogenen Klimawandels sind auch in Bayern sichtbar und werden, je nach Höhe der zukünftigen weltweiten Emissionen, in den nächsten Jahrzehnten signifikante Auswirkungen haben. Bayern muss sich in Zukunft auf häufigere Extremwetterereignisse, wie z. B. intensive und längere Hitzewellen und Trockenphasen sowie länger anhaltende Regenereignisse und Starkregen einstellen. Entsprechend müssen das städtische Umfeld, der Bau und die Gestaltung von Gebäuden und Freiflächen bereits heute den sich verändernden äußeren Umständen gerecht werden und sich den Herausforderungen stellen.

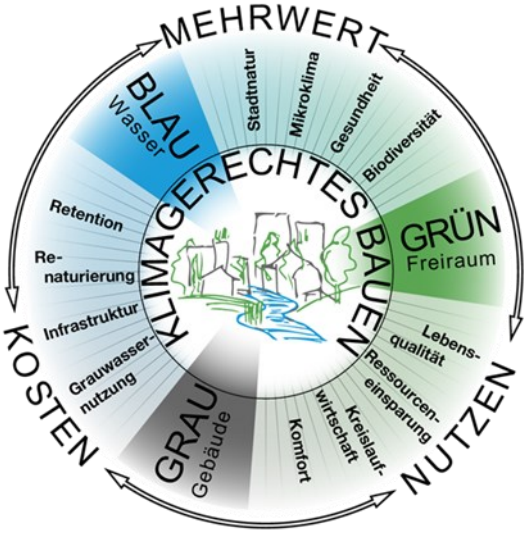


Abbildung 7: Aspekte des klimagerechten Bauens.

Ein wichtiger Baustein des klimagerechten Bauens ist das Regenwasser-management vor Ort. Eine wassersensitive Siedlungsentwicklung hat das Ziel, dem natürlichen lokalen Wasserhaushalt möglichst nahe zu kommen, um die kommunalen Entwässerungssysteme nicht zu überlasten, da diese nicht auf die Auswirkungen des Klimawandels vorbereitet sind (z. B. Überflutungen, Mischwasserüberläufe bei Starkregen).

Im Rahmen des Projektes werden dafür quantitative und qualitative Aspekte aus wasserwirtschaftlicher Sicht untersucht. Für ausgewählte Modellprojekte werden Simulationen verschiedener Klimaszenarien (Starkregen bis hin zu extremen Trockenperioden) durchgeführt und zur Bewertung des Einflusses der blau-grünen Maßnahmen auf die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel genutzt.

Das Forschungsprojekt dient der wissenschaftlichen Begleitung zur Umsetzung von zehn Modellprojekten in Bayern im Hinblick auf urbane Klimaanpassung (Adaption) und dem Klimaschutz (Mitigation) im Wohnungsbau. Ziel ist es, unter Berücksichtigung der langfristigen Wirtschaftlichkeit die Machbarkeit von blau-grün-grauen Klimaanpassungsmaßnahmen im kommunalen Wohnungsbau aufzuzeigen, die sich in Zeiten des Klimawandels und der damit verbundenen zunehmenden Anzahl von Extremwetterereignissen positiv auswirken.

Förderung:
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Kooperation:
Lehrstuhl für Energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen TUM,
Institut für Immobilienökonomie GmbH

STEFFEN ROMMEL

(DR.-ING.)

BIS 31.07

S.ROMMEL @TUM.DE

Erhebungen und Vergleich von Instrumenten zum Substanzwerterhalt von Infrastrukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung

Die ordnungsgemäße Wasserver- und Abwasserentsorgung sind wesentliche und unverzichtbare Pflichtaufgaben der Daseinsvorsorge der Gemeinden. Daher ist die zuverlässige Instandhaltung dieser Infrastrukturen zwingend erforderlich. Für eine zukunftsfähige Instandhaltungsstrategie der Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur müssen geeignete Kombinationen aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus des Objekts eingesetzt werden. Im Sinne gleichwertiger Lebensverhältnisse, muss die Förderung von Trinkwasser- und Kanalnetzen dabei mit Konzepten zum Umgang mit der demografischen Entwicklung verknüpft werden.

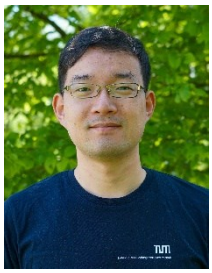
Ziel einer in Auftrag gegebenen Studie war die Erarbeitung von Hilfestellungen zum Substanzwerterhalt der bayerischen Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung. Dazu wurde eine Übersicht über Instrumente zur Sanierungsplanung und zur Unterstützung des Substanzwerterhaltes von Infrastrukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie eine Übersicht über fachliche und finanzielle Förderung des Werterhalts von Wasserinfrastrukturen in Deutschland und anderen europäischen Staaten zusammengestellt. Ebenso wurden die Ergebnisse bewertet und Handlungsempfehlungen zur Nutzung von Instrumenten zum Substanzwerterhalt für die bayerische Wasserwirtschaft abgeleitet.

FÖRDERUNG:

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ

Abbildung 8: Erneuerung eines Kanalteilstücks.

Die im Rahmen dieser Studie abgeleiteten Handlungsempfehlungen bieten der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung vielfältige Instrumente zur Verfügung, welche die Instandhaltung der Wasserinfrastruktur erleichtern können.



PANFENG ZHU

(M.SC.)

089/289 13704

PANFENG.ZHU @TUM.DE

FÖRDERUNG:

CHINA SCHOLARSHIP COUNCIL

Wechselwirkung von Schwermetallen und Bioziden/ Herbiziden aus Regenwasserabfluss von Gebäuden mit gelösten organischen Stoffen

Gebäudeoberflächen sind eine wichtige Quelle für die Verschmutzung von Regenwasserabflüssen, insbesondere gealterte Metalldächer und Rohrleitungen, Bitumenbahnen unter Gründächern sowie neu gestrichene Fassaden. Zu den freigesetzten Schadstoffen gehören Schwermetalle (Cu/Zn), Biozide (BAC) und Herbizide (MCPP). Aufgrund ihrer hohen Konzentrationen stellen sie eine Gefahr für die Umwelt dar. Daher werden jetzt dringend hocheffiziente Behandlungsmethoden vor Ort benötigt, um das Ökosystem zu schützen. Die Grundlage für die Entwicklung solcher Behandlungsanlagen ist ein gründliches Verständnis ihrer Wechselwirkungen mit gelösten organischen Stoffen (DOM), da dies ihre Migration in die Umwelt beeinflusst.

In unserer Studie wurde EEM-PARAFAC verwendet, um die Wechselwirkungen zwischen Cu, Zn, BAC, MCPP und DOM bei verschiedenen pH-Werten zu bewerten. Die Mechanismen der BAC/MCPP-DOM-Wechselwirkung wurden durch 2D-FTIR-COS aufgedeckt.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich das verwendete DOM aus den beiden unterschiedlichen fluoreszierenden Komponenten C1 und C2 zusammensetzt. Sowohl für Cu/Zn als auch für BAC/MCPP wurde eine stärkere Wechselwirkung mit C1 als mit C2 beobachtet. Eine Erhöhung des pH-Wertes verstärkte die Wechselwirkung zwischen Cu/Zn und DOM. Im Gegensatz dazu wurde die Wechselwirkung zwischen BAC/MCPP und DOM durch hohe pH-Werte beeinträchtigt. Die FTIR-Analyse in Verbindung mit der 2D-COS-Analyse ergab, dass die an der BAC/MCPP-Titration beteiligten Mechanismen Wasserstoffbrückenbindungen, π-π-Wechselwirkungen und elektrostatische Effekte umfassen. Die Reihenfolge der Mechanismen, die während der Wechselwirkung mit DOM wirksam werden, wird durch die Molekularstruktur von BAC/MCPP beeinflusst.

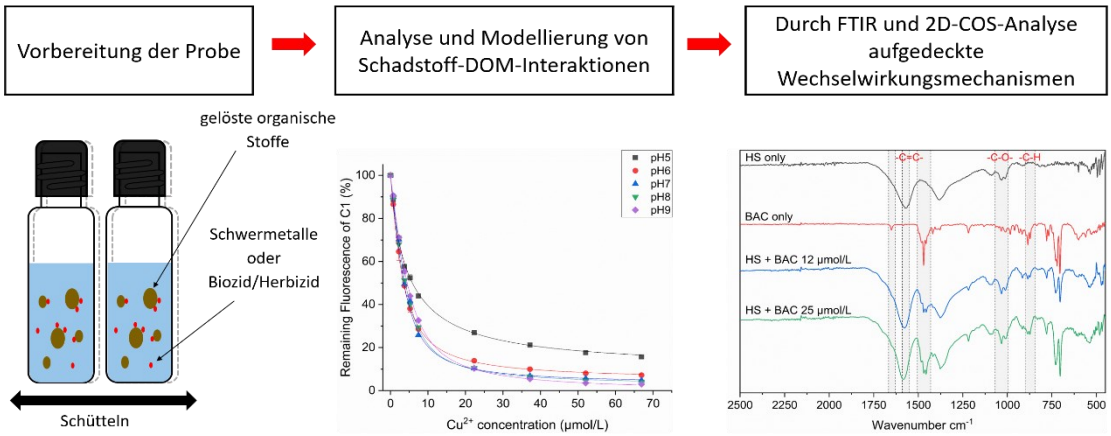


Abbildung 9: Grafische Zusammenfassung der Studie über die Wechselwirkungen zwischen von der Gebäudeoberfläche stammenden Schadstoffen und DOM.

PABLO VEGA

(M.SC.)

0802/4643 255

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 beregneten 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 Auslaugungmechanismus von Stoffen in einer Fassade aus Putz und Mörtel während eines zufälligen Regenereignisses beschreiben kann. Auf dieser Basis soll eine Bewertung der Umwelteigenschaften erfolgen.

FÖRDERUNG:
VERBAND FÜR DÄMMSYSTEME, PUTZ UND MÖRTEL

KOOPERATION:
FRAUENHOFER INSTITUT FÜR BAUPHYSIK

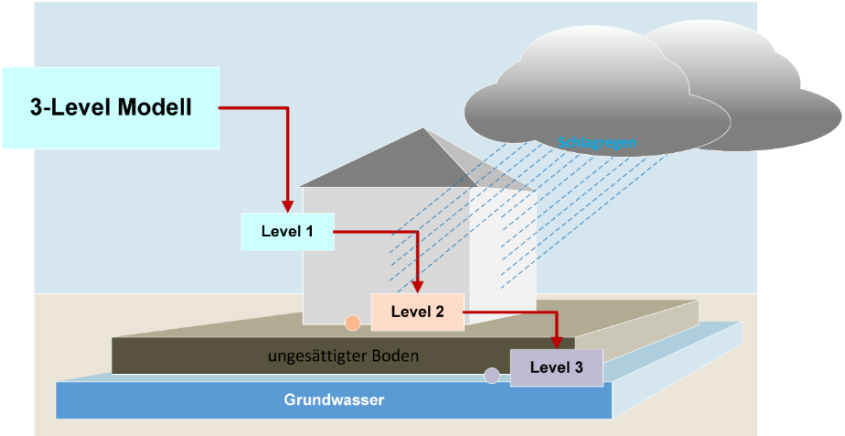


Abbildung 10: „3-Level Modell“ Schema. Das Modell ist in drei verschiedene „Levels“ unterteilt. „Level 1“ ist das Fassadenabflussmodell, „Level 2“ ist der Auslaugungsprozess und der Stofftransport auf der Fassade und schließlich ist „Level 3“ die Sickerwasserprognose und die Bewertung der Umweltauswirkungen.

Drei spezifische Unterziele geplant:

1) Identifikation der Mechanismen, die der Auslaugung von Inhaltsstoffen aus beregneten Bauprodukten zugrunde liegen.
2) Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der Stofffreisetzung (Emission) aus Putzen und Mörtel.
3) Im Anschluss daran folgt die Modellierung des Stofftransports durch "den Boden" bis hin zu einem definierten Beurteilungsort und der Vergleich mit Grenzwerten. Entwicklung der Sickerwasserprognose.

KONRAD KOCH

(PD DR.-ING. HABIL.)

089/289 13706

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, sucht die Arbeitsgruppe nach Ansätzen, wie einerseits der Energiebedarf für die Aufbereitung gesenkt und andererseits mehr Energie aus dem Abwasser zurückgewonnen werden kann.

Über die letzten Jahre haben wir uns in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekt mit der Frage beschäftigt, welchen Einfluss eine Anreicherung von CO_2 bei der Vergärung von Klärschlamm hat. Interessanterweise zeigte sich, dass es sowohl zu einer - zugegebenermaßen - geringfügigen Erhöhung der Methanproduktivität gegenüber die nicht begasten Kontrolle kam, aber auch die Resilienz des Systems gegenüber Störungen (in diesem Fall eine kontinuierliche Erhöhung der Raumbelastung) verbessert wurde. Diese vielversprechenden Ergebnisse sollten nun in einem weiteren Forschungsprojekt, das dankenswerterweise von der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert wird, mit nachwachsenden Roh- und Reststoffen weiter untersucht werden.

Nach pandemiebedingten Verzögerungen konnte nun auch der Pilotreaktor zur Demonstration der mikrobiologischen Methanisierung auf der Kläranlage Garching in Betrieb genommen werden. Mit einem Rieselbettvolumen von über 1 m^3 ist es die größte Versuchsanlage dieser Art weltweit. Wir hoffen bald über erste Erfahrungen und Ergebnisse berichten zu können!

In einem großen, vom Deutschen Akademischen Austauschdienst geförderten Verbundprojekt (siehe: https://www.seed.tum.de/) mit verschiedenen Lehrstühlen der TUM und Partneruniversitäten im globalen Süden wollen wir gemeinsam Ansätze entwickeln, wie im ländlichen Raum eine nachhaltige Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen realisiert werden kann. Wir werden uns insbesondere mit der Identifikation organischer Reststoffströme beschäftigen, um daraus Biogas und gleichzeitig einen hochwertigen Dünger für den Einsatz in der Landwirtschaft zu gewinnen. In Abhängigkeit der generierten Biogasmenge kann dies entweder zum Kochen, zum Kühlen von Lebensmitteln oder auch zur Erzeugung von Elektrizität genutzt werden.

FELIX MÜLLER

(M.SC.)

089/289 13714

FEL.MUELLER @TUM.DE

ENCOVER: Energetische Nutzung von CO_2 zur Verringerung des Restmethanpotentials

Die bedeutendste Quelle von Treibhausgas-Emissionen ist die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Um das Ziel der der Treibhausgas-Neutralität bis zum Jahr 2050 zu erreichen, muss die Energiebereitstellung in Zukunft vermehrt auf Basis nachwachsender Roh- und Reststoffe erfolgen. Der Biogaserzeugung kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, da diese im Gegensatz zu den meisten anderen erneuerbaren Energieformen speicherbar ist. Leider verbleibt bisher noch ein nicht unerheblicher Anteil des Methanpotentials im Gärrest. Dabei haben Studien gezeigt, dass eine Anreicherung des anaeroben Abbauprozesses mit CO_2 unter bestimmten Voraussetzungen zu einer Erhöhung der Methanproduktivität beitragen kann, während gleichzeitig die Resilienz des Prozesses erhöht wird.

Das Ziel des Projektes ist die energetische Nutzung von CO_2 zur Verringerung des Restmethanpotentials. Dabei werden im Prozess der Biogasgewinnung nachwachsende Roh- und insbesondere Reststoffe eingesetzt, deren Verhalten mit CO_2-Anreicherung im anaeroben Abbau bisher noch nicht untersucht worden ist. Die Nutzung erscheint aber besonders aussichtsreich, da im Gegensatz zum bisher insbesondere untersuchten Substrat Klärschlamm, eine Stimulation durch einen deutlich besseren Substratumsatz als wahrscheinlich gilt.

Im Rahmen der Untersuchungen soll das CO_2-Aufnahmepotential und die zusätzliche CH_4-Produktion quantifiziert werden. Anhand von Isotopenanalysen und mikrobiologischen Untersuchungen sollen die ablaufenden Mechanismen und Prozesse aufgeschlüsselt und besser verstanden werden. Die Untersuchungen werden mittels kontinuierlich betriebener Reaktoren im Technikumsmaßstab durchgeführt.

Die Reaktoren werden mit verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen und in Kombination mit Gülle gefüttert. Bei der CO_2-Anreicherung wird stets ein Reaktor begast, während der zweite als Referenz unter ansonsten identischen Bedingungen zur Kontrolle dient. Das Begasen der Reaktoren erfolgt semi-kontinuierlich. Aus den gewonnenen Erkenntnissen über die Prozessführung der CO_2-Anreicherung von nachwachsenden Rohstoffen gilt es schließlich, Empfehlungen für die Nutzung des Effektes für die Praxis quantitativ in Bezug auf die CO_2-Bilanz und Wirtschaftlichkeit abzuleiten und darzustellen.

Abbildung 11: Kontinuierlich betriebene Reaktoren im Technikumsmaßstab.

FÖRDERUNG:
FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

KOOPERATION:
UNIVERSITÄT HEIDELBERG, BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT

MICHELE PONZELLI

(M.SC.)

089/289 13711

M.PONZELLI @TUM.DE

Hybrider, nanotechnologischer Bioprozesse für die Abwasserbehandlung

Die Fähigkeit von Mikroben, funktionalisierte Graphenverbindungen zu reduzieren, kann für die weiterführende biologische Abwasserreinigung genutzt werden. Die Zugabe von kostengünstigem Graphenoxid zu einem anaeroben Abbauprozess kann Umwandlungsprozesse von persistenten Schadstoffen in ihre weniger toxischen Äquivalente einleiten. Die Rolle von bioreduziertem Graphenoxid (bioRGO) beim anaeroben Abbau von Schadstoffen scheint zweierlei zu sein, da es als Elektronen-Shuttle zwischen den Mikroorganismen und den Schadstoffen fungieren und den direkten Elektronentransfer zwischen den Mikroorganismen fördern kann.

Dieses Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung einer hybriden nanotechnischen Behandlung auf der Grundlage von bioRGO. Wir werden die Redox-Umwandlungsprozesse und die Stoffwechselwege einer Reihe von Schadstoffen untersuchen, die bei aerober Behandlung bekanntermaßen persistent sind (z. B. halogenierte, Nitro- und Azo-Verbindungen). Die Zugabe von Graphenoxid wird unter methanogenen und sulfatreduzierenden Bedingungen untersucht und bewertet. Da das Vorhandensein von bioRGO auch die Methanproduktion steigern kann, wird das Verfahren auch im Hinblick auf die Produktion und Qualität des Biogases evaluiert.

FÖRDERUNG:
EUROPÄISCHE KOMMISSION

KOOPERATION:
KATALANISCHES INSTITUT FÜR WASSERFORSCHUNG

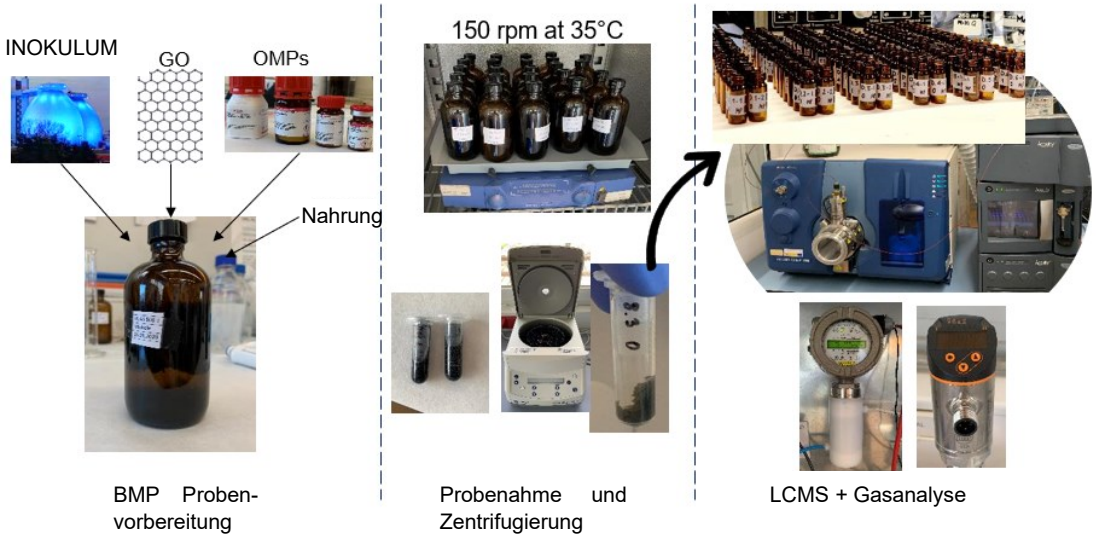


Abbildung 12: Versuchsaufbau eines Batch-Versuchs zur Ermittlung der Biogasproduktion und der Entfernung von Mikroverunreinigungen.

MOHAMMAD JAVAD BARDI

(M.SC.)

089/289 13717

M.J.BARDI @TUM.DE

Biogasgewinnung im ländlichen Raum

Laut einem Bericht der Internationalen Energieagentur (IEA) haben immer noch über 1,3 Milliarden Menschen auf der ganzen Welt keinen Zugang zu bezahlbarer und nachhaltiger Energie. Gleichzeitig wurde geschätzt, dass der Energiebedarf aufgrund des Bevölkerungswachstums innerhalb der nächsten Jahrzehnte um 50 % steigen wird. Im globalen Süden ist diese Situation sogar noch schlimmer, nur 58 % der städtischen Bevölkerung hat Zugang zu Energie. Darüber hinaus wurde berichtet, dass über 600 Millionen Bewohner in den ländlichen Gebieten und Holz bzw. Holzkohle für die tägliche Energieerzeugung nutzen. Die Umstellung auf die Nutzung erneuerbarer und nachhaltiger Energieträger, wie z. B. Biogas aus der Vergärung organischer Abfälle, würde in vielen Fällen zu einer deutlichen Reduzierung der Luftverschmutzung in Innenräumen und zu gesundheitlichen Verbesserungen sowie zu Zeit- und Kosteneinsparungen führen. Die Nutzung von Biogas kommt der gesamten Gemeinschaft zugute, da das Heizen und Kochen im Haushalt auch eine bedeutende Emissionsquelle in den Innenräumen darstellt.

Einerseits ist die Bewältigung der Herausforderungen, die der Zugang zu erschwinglicher und nachhaltiger Energie mit sich bringt, ein hochkomplexes und verflochtenes Thema. Andererseits gibt die Notwendigkeit einer verbesserten Effizienz Anlass zu einer netzunabhängigen Umsetzung für einen erschwinglichen Zugang zu nachhaltigen Energieträgern und zur Reduzierung von Kohlenstoffemissionen. Daher zielt dieses Projekt darauf ab, maßgeschneiderte und belastbare Konzepte für ländliche Gemeinden in Ländern des globalen Südens zu entwickeln, um anfallende biologische Abfallströme, wie z.B. tierische Exkremente, Ernterückstände, Bioabfall und Klärschlamm, zur Biogasgewinnung zu nutzen und direkt vor Ort als Energieträger zu nutzen. Diese Forschung ist Teil des TUM SEED Centers und wird mehrere Fallstudien erstellen, die zeigen, dass auch mit relativ einfachen Methoden eine deutliche Verbesserung der Lebensqualität in ländlichen Gebieten erreicht werden kann:

- Bereitstellung von Biogas als erneuerbarer Energieträger zum Kochen, Heizen, Kühlen (von Waren) und zur Stromerzeugung,
- Verringerung der Abholzung und Verhinderung der Luftverschmutzung in Innenräumen durch den Ersatz von Brennholz durch erzeugtes Biogas, einschließlich sozialer Vorteile durch den Wegfall des Sammelns von Brennholz,
- Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität durch den Einsatz von organischem Dünger, der ebenfalls im Biogasprozess anfällt,
- Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch eine kontrollierte Freisetzung von Methan aus den organischen Abfallströmen im Fermenter.

FÖRDERUNG:
DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCHDIENST

KOOPERATION:
TUM SEED CENTER

CAROLINA FEICKERT FENSKE

(M.SC.)

089/289 13707

C.FEICKERT @TUM.DE

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. Ein wichtiger Ansatz für eine flexible und bedarfsgerechte Energiespeicherung ist die Erzeugung von Methan (CH_4) aus Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) (Power-to-Methane). Dabei wird H_2 aus nicht genutztem regenerativem Strom mittels Elektrolyse hergestellt und CO_2 aus Kläranlagen, Biogasanlagen oder der Industrie kann direkt am Ort der Entstehung genutzt werden.

Ein besonders vielversprechendes Konzept ist dabei die mikrobiologische Erzeugung von Methan in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren, in denen sog. Archaeen auf Aufwuchskörpern immobilisiert sind und die zugeführten Gase für ihren Stoff- und Energiewechsel nutzen.

In vorangegangenen Projekten konnte die Methanisierung in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren im Technikumsmaßstab mit einer Methanproduktion von bis zu 15,4 $L_{CH4}/(L_{Reaktionsvolumen}*d)$ und einer Methankonzentration im Produktgas von über 96 % erfolgreich realisiert werden. Damit wäre eine Einspeisung ins vorhandene Erdgasnetz ohne Aufreinigung möglich.

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, LANDESENTWICKLUNG UND ENERGIE

KOOPERATION:
BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT

Mit einem Reaktionsvolumen von 1 m^3 wird nun die Einsatzfähigkeit des Reaktorkonzeptes im halbtechnischen Maßstab unter Beweis gestellt. Damit ist der Reaktor einer der derzeit größten anaeroben Rieselbettreaktoren weltweit.

Abbildung 13: Pilotreaktor auf der Kläranlage Garching.

Die Aufwertung von Biogas am Entstehungsort Kläranlage hat ein ganzheitliches Potential, da alle für den Betrieb des Reaktors erforderlichen Ressourcen lokal genutzt werden können.

Nach dem Inokulieren des Reaktors mit Faulschlamm, wird die Gaszufuhr von H_2 und Biogas als alternative CO_2 Quelle kontinuierlich erhöht. Dabei wird bereits eine Methanproduktion von 2,8 $L_{CH4}/(L_{Reaktionsvolumen}*d)$ und eine Methankonzentration im Produktgas von über 98 % erzielt. Eine weitere Erhöhung der Gaszufuhr erfolgt in Abhängigkeit der Prozessstabilität.

MERIAM MUNTAU

(M.SC.)

089/289 13716

MERIAM.MUNTAU@TUM.DE

Erhöhte Methanproduktivität in Biogasanlagen durch CO_2-Anreicherung

Zur Reduktion des Energiebedarfs und der CO_2-Emissionen deutscher Kommunen ist es zwingend notwendig einen verbesserten Ausgleich zwischen Energieverbrauch und -produktion bei gleichzeitiger Reduktion des CO_2-Fußabdrucks von Kläranlagen zu schaffen. Derzeit wird die in den Abwasserinhaltsstoffen gebundene chemische Energie zumindest teilweise in Form von energiereichem Methangas durch die anaerobe Vergärung von Klärschlamm zurückgewonnen während CO_2 als ein Nebenprodukt entsteht.

Neueste Studien zeigen eine Steigerung der Methanausbeute bei der anaeroben Vergärung durch Anreicherung des Klärschlamms mit CO_2. Bisher wurden allerdings nur Annahmen über mögliche biologische Umwandlungspfade von CO_2, die zu einer erhöhten Methanbildung führen, getroffen. Ziel dieses Projektes ist es, die der CO_2-Umwandlung zugrunde liegenden Prozesse mit Hilfe von Isotopenmarkierung des eingebrachten CO_2 und vergleichender molekularbiologischer Untersuchungen der sich unter CO_2-Anreicherung etablierenden Biozönose, zu identifizieren. Hierfür wird in zwei parallel geschalteten Fermentern im Labormaßstab eine kontinuierliche anaerobe Vergärung von Klärschlamm durchgeführt, wobei in einem Reaktor eine CO_2-Anreicherung erfolgt, während der andere als Kontrollreaktor dient.

FÖRDERUNG:
DEUTSCHE FORSCHUNGS-GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:
UNIVERSITÄT HEIDELBERG; BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT

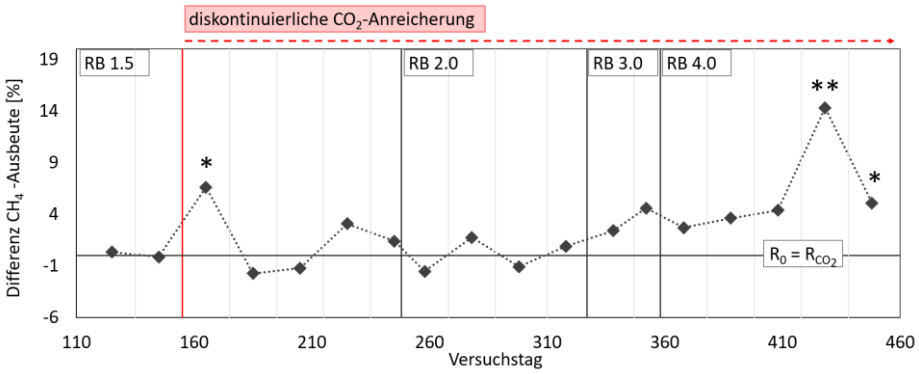


Abbildung 14: Durchschnittliche Abweichung der CH4-Ausbeute pro hydraulischer Verweilzeit bei unterschiedlichen Raumbelastungen (RB) von Versuchsfermenter im Vergleich zur Kontrolle.

Die diskontinuierliche CO_2-Injektion in den Versuchsfermenter führte zu einem initialen Anstieg der Methanausbeute im Vergleich zur Kontrolle. Allerdings stellte sich eine dauerhaft erhöhte Methanproduktivität erst bei einer hohen Raumbelastung und der daraus resultierenden erhöhten Verfügbarkeit an organischen Fettsäuren (FOS) ein. Dies deutet darauf hin, dass der Effekt einer erhöhten CO_2 zu CH_4-Biokonversion nur bei einer ausreichend hohen Raumbelastung oder bei Substraten, die zu hohen FOS Konzentrationen in der Fermentationsbrühe führen, wirksam wird. Die Ergebnisse sollen zu einer Optimierung des Vergärungsprozesses mittels Nutzung des „Abfallproduktes“ CO_2 beisteuern und somit helfen die Energiewende weiter voran zu treiben.

UWE HÜBNER

(PD DR.-ING. HABIL.)

089/289 13706

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 Konzentrationen von ng/L bis wenigen µg/L (z.B. Pharmaka, per- und polyfluorierte Alkylverbindungen)
- Krankheitserreger (Bakterien, Viren, Protozoen)
- Antibiotika-resistente Bakterien und Resistenzgene
- Nährstoffe in niedrigen Konzentrationen (P, N)

Der Eintrag dieser Verunreinigungen in die Gewässer stellt ein potentielles Risiko für die aquatische Umwelt und, im Falle einer Nutzung der Gewässer, auch für die menschliche Gesundheit dar. Diese Forschungsgruppe beschäftigt sich mit der Entwicklung, Untersuchung und Optimierung von Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Entfernung dieser Kontaminationen aus Kläranlagenabläufen. Die Forschungsarbeiten beinhalten sowohl die weitergehende Wasserbehandlung zum Schutz der Gewässer als auch eine Entwicklung von Konzepten für die Wasserwiederverwendung.

In einem gemeinsamen Projekt mit der Münchner Stadtentwässerung untersuchen wir beispielsweise, ob bei einer Ozonung des gereinigten Abwassers neben der Entfernung von Spurenstoffen auch eine effektive Desinfektion erreicht werden und somit die vorhanden UV-Anlage abgestellt werden kann, indem das Abwasser mit einer Filtration vorbehandelt wird. Dazu wurden Filterversuche durchgeführt und verschiedene Filtrate sowie der Ablauf der Nachklärung bei unterschiedlicher Ozondosis oxidiert.

Abbildung 15: Laborozonanlage zur Untersuchung der Spurenstoffentfernung und Desinfektion.

EMIL BEIN

(M.SC.)

089/289 13708

EMIL.BEIN @TUM.DE

$ISCO_3$: 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, blasenfreie Gasaustausch über Membrankontaktoren verspricht Vorteile gegenüber konventionellen Methoden, unter anderem eine gleichmäßige Verteilung von Gas und dadurch auch eine höhere Energieeffizienz. In Kombination mit katalytisch aktivem Filtermaterial wird eine effektive Entfernung von monozyklischen, aromatischen Schadstoffen (BTEX) angestrebt (Abbildung 16).

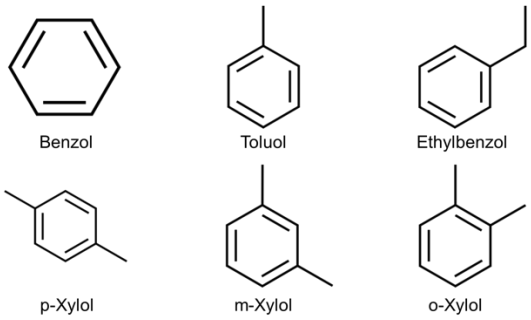


Abbildung 16: Die verschiedenen Verbindungen der „BTEX“.

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

Für eine erfolgreiche Anwendung wird zunächst grundlegende Forschung über den passiven, blasenfreien Gaseintrag bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten im Labormaßstab betrieben (Abbildung 17). Die Tests mit verschiedenen Membranmaterialien sollen die optimalen Einsatzmöglichkeiten, ebenso die Limitierungen der Technologie aufzeigen. Dabei werden auch verschiedene granulare Metalloxide eingesetzt, die nach der Membran für eine katalytisch getriebene Produktion von Hydroxylradikalen sorgen sollen, um ozon-resistente Kontaminanten anzugreifen.

KOOPERATION:
TEL AVIV UNIVERSITY

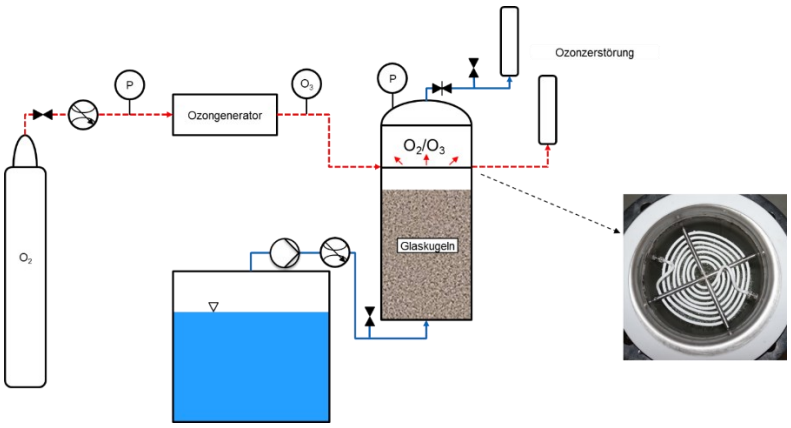


Abbildung 17: Experimenteller Aufbau für die Tests des in situ Ozoneintrages.

In weiteren Experimenten werden anschließend die Transformationsprodukte der BTEX nach Ozonung sowie deren biologische Abbaubarkeit untersucht.

MILLARAY SIERRA OLEA

(M.SC.)

089/289 13780

MIA.SIERRA @TUM.DE

Ozonierung mit schwerem Sauerstoff (^{18}O): eine neue Markierungstechnik zur Aufklärung von Ozonierungsprodukten

Die chemische Oxidation mit Ozon ist eine etablierte Technologie für die effiziente Entfernung von Spurenstoffen im Ablauf von Kläranlagen. Trotz ihrer breiten Anwendung hat sie einen Nachteil, nämlich die Bildung stabiler und potenziell toxischer Oxidationsprodukte (OPs). Bis heute ist es nicht möglich, die Reaktivität aller Spurenstoffe gegenüber Ozon, die Bildung ihrer OPs und deren biologische Stabilität und Toxizität zu untersuchen. Daher kann eine systematische Untersuchung mit Fokus auf reaktive funktionelle Gruppen innerhalb der Spurenstoffe ein Schlüsselfaktor sein, um die Mechanismen der Reaktion mit Ozon besser zu verstehen. Diese Informationen ermöglichen die Vorhersage der Reaktion von Ozon mit Spurenstoffen und verbessern unser Verständnis der Bildung und des Verhaltens von OPs.

In diesem Projekt haben wir eine neue Markierungstechnik entwickelt, die dazu beiträgt, übertragbare Erkenntnisse über die Reaktion verschiedener funktioneller Gruppen mit Ozon und daraus resultierende Ozonierungsprodukte zu gewinnen. Wir verwenden schwere Sauerstoffisotope (^{18}O), um schwere Ozonmoleküle zu erzeugen, die mit Spurenstoff reagieren und deren OPs markieren können. Der Betrieb der Ozonanlage wurde zunächst mit verschiedenen Verhältnisen von N_2/O_2 getestet, um die erwarteten ^{18}O-Reinheiten in einem geschlossenen Kreislaufsystem zu charakterisieren (Abbildung 18). Erste Experimente mit $^{18}O_3$ wurden mit einem tertiären Amin (Venlafaxin) durchgeführt, um dessen Ozonierungsumwandlungsprodukt, das N-Oxid-Venlafaxin (Abbildung 18), zu markieren, das ausschließlich durch einen Sauerstofftransfer vom Ozon gebildet wird.

FÖRDERUNG:
DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT

KOOPERATION:
HELMHOLTZ-ZENTRUM UMWELTFOSCHUNG

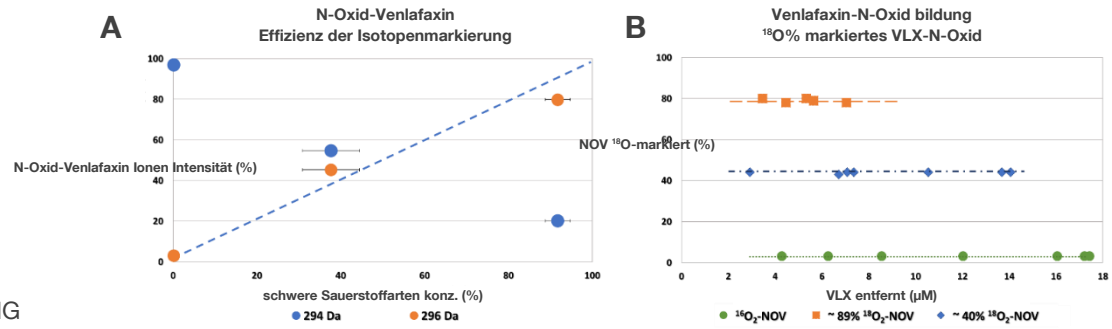


Abbildung 18 (A) Die relative Intensität der interessierenden Ionen für die Experimente mit Konzentrationen von ~99%$^{16}O_2$, ~34% $^{18}O_2$ und ~89%$^{18}O_2$. (B) Markierung von NOV in Abhängigkeit von den Verhältnissen 18O3 /16O3, die bei den Ozonierungsexperimenten mit gelöstem $^{16}O_3$, ~89% $^{18}O_3$ und ~34% $^{18}O_3$ angewandt wurden.

Mit diesem neuartigen Ansatz sind wir in der Lage, OPs aus Sauerstofftransferreaktionen, sowohl von einzelnen Spurenstoffen als auch aus der organischen Matrix im Abwasser (EfOM) zu bestimmen. Die Markierung erleichtert auch den Nachweis, die Identifizierung und die Aufklärung der erzeugten OPs.

.

NEBOJŠA ILIĆ

(M.SC.)

089/289 13718

NEBOJSA.ILIC@TUM.DE

Entwicklung adaptiver fortschrittlicher Methoden und Systeme zur Entfernung persistenter Per- und Polyfluoralkyl-Substanzen aus Wasser

Als Mitglied des Marie Curie International Training Network NOWELTIES zielt dieses Projekt darauf ab, Methoden und Prozessoptimierungen zur Entfernung von Per- und Polyfluoralkyl-Substanzen (PFAS) aus kommunalen und industriellen Abwässern zu entwickeln. Basierend auf einer kritischen Literaturrecherche wurden zwei vielversprechende Verfahren identifiziert, die in dieser Studie untersucht werden sollen.

Gemeinsam mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena wollen wir bewährte Konzepte zur Entfernung durch Ultraschallkavitation weiter entwickeln und das Optimierungspotenzial dieser Prozesse durch eine Reihe sorgfältig konzipierter Experimente ermitteln. Die Vorteile eines solchen Verfahrens sind seine Einfachheit und Robustheit sowie der Betrieb ohne zusätzlichen Aufwand für Chemikalien oder zur Entsorgung. Ziel ist es, die hohen Betriebskosten aufgrund des Energiebedarfs durch eine vorgeschaltete Aufkonzentration der PFAS mittels Nanofiltration oder Umkehrosmose zu senken. Das finale Ziel ist die Entwicklung eines Konzepts, das in der Lage ist, Industrieabwässer vor der Einleitung in die Gewässer effizient und effektiv zu behandeln.

FÖRDERUNG:
EUROPÄISCHE KOMISSION

Als zweite Forschungsrichtung entwickeln und testen wir zusammen mit dem Forschungszentrum für Katalyse der TUM die Adsorption von PFAS an metallorganischen Gerüstmaterialien (metal organic frameworks, MOF), die speziell dafür synthetisiert werden, eine besonders hohe und selektive Adsorptionsfähigkeit gegenüber PFAS zu erreichen. Dies geschieht durch:

1. strukturelle Modifikationen der Materialien sowohl durch Änderung der strukturellen Eigenschaften der Materialoberfläche (unterschiedliche funktionelle Gruppen, unterschiedliche Eigenschaften und erwartete Leistung) als auch durch die Einführung struktureller Defekte.
2. Modifizierung der synthetisierten MOFs und Herstellung von Verbundwerkstoffen, die das Potenzial der verwendeten Materialien maximieren.

KOOPERATION:
ZENTRALINSTITUT FÜR KATALYSEFORSCHUNG, FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA, UNIVERSITY OF SANTIAGO DE COMPOSTELA

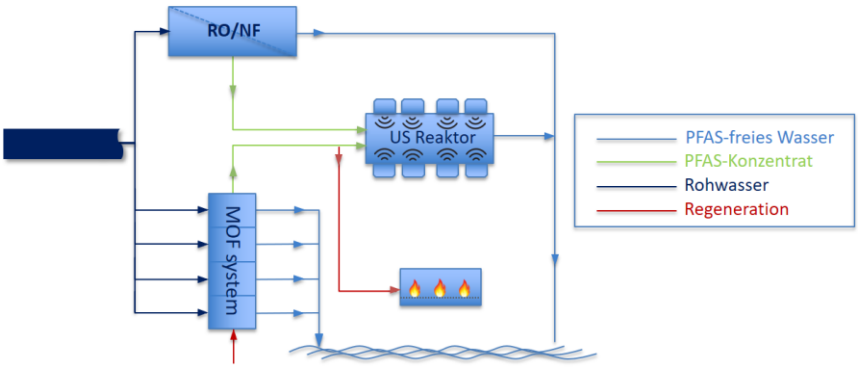


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Behandlungskonzepts für PFAS-kontaminiertes Wasser.

EDWIN CHINGATE

(M.SC.)

089/289 13711

EDWIN.CHINGATE @TUM.DE

Bioenergetisch-metabolisches Modell zur Vorhersage von Spuren organischer Chemikalien durch Bakterielle Transformation

NOWELTIES ist ein Horizon 2020 Marie Sklodowska-Curie-Netzwerk für eine innovative Doktoranden-Ausbildung, das aus 14 einzelnen Forschungsprojekten besteht. Gemeinsames Ziel aller Projekte ist die Entwicklung moderner Wasseraufbereitungstechnologien, die es ermöglichen, den unterschiedlichen Aufbereitungsanforderungen für eine Vielzahl miteinander verbundener Ströme aus Recyclingkreisläufe gerecht zu werden. Im Rahmen dieses Projekts modellieren wir die bakterielle Umwandlung organischer Spurenstoffe (TOrCs) mit einem bioenergetisch-metabolischen Modell, das die Ansätze von Co-Metabolismus und Wachstum auf gemischten Substraten in einem Rahmen koppelt (Abbildung 20).

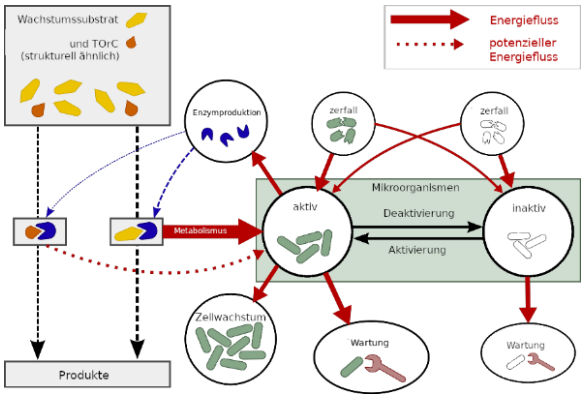


Abbildung 20: Illustration des an der TUM und der Universität Tübingen entwickelten bioenergetischen Modells.

Biofilter haben eine gute Entfernung von TOrCs unter oxischen und oligotrophen Bedingungen gezeigt. Ein Retentostat-System (Abbildung 21) wurde am Lehrstuhl aufgebaut, um grundlegende Untersuchungen zum Metabolismus der Mikroorganismen unter oligotrophen Bedingungen durchzuführen und die Biotransformation von TOrCs durch angepasste Bakteriengemeinschaften zu verstehen.

Abbildung 21: Derzeitiger Versuchsaufbau, der 10 Experimente parallel durchführen kann.

Anilin, Histidin und Dinatriumsuccinat wurden aufgrund ihrer molekularen Ähnlichkeiten mit einigen TOrCs als primäre Wachstumssubstrate für die Anpassung von Bakterien aus Belebtschlamm ausgewählt.

FÖRDERUNG:
EUROPÄISCHE KOMISSION

KOOPERATION:
KATALANISCHES INSTITUT FÜR WASSERFORSCHUNG

JÖRG E. DREWES

(PROF. DR.-ING.)

089/289 13713

JDREWES
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Wasserwiederverwendung

Entsprechend einer Einschätzung des World Resources Institute lebt ein Viertel der Weltbevölkerung in Regionen mit akuter und extremer Wasserknappheit. Die Situation dürfte sich in den nächsten Jahrzehnten weltweit verschlechtern. Vor allem das rasante Bevölkerungswachstum, die zunehmende Urbanisierung, die fortschreitende Industrialisierung und die landwirtschaftlichen Aktivitäten, verschärft durch die Auswirkungen des Klimawandels, belasten unsere globalen Wasserressourcen enorm.

Wasserrecycling und -wiederverwendung können Wasserressourcenprobleme effizient und nachhaltig überwinden, indem sie neue Quellen für eine hochwertige lokale Wasserversorgung schaffen und damit bereits knappe Süßwasserressourcen teilweise ersetzen. Insbesondere die Wiederverwendung von Niederschlagswasser oder weitergehend aufbereiteten (kommunalem) Klarwasser und deren Wiederverwendung kann die Herausforderungen, die mit zunehmenden Wassernutzungskonflikten verbunden sind, wirksam entschärfen. Im Mai 2020 hat die EU erstmalig eine neue Verordnung zu minimalen Anforderungen an die Wasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung veröffentlicht. Diese muss bis Juni 2023 in nationales Recht umgesetzt werden. Durch diese Entwicklung, aber insbesondere durch die spürbaren Folgen des Klimawandels gibt es nun auch für eine Wasserwiederverwendung in Deutschland großen Handlungsbedarf. Aufbauend auf einer Machbarkeitsstudie in Unterfranken, konnten wir 2021 das neue BMBF-Verbundvorhaben ‚Nutzwasser' beginnen, das im Demonstrationsmaßstab Konzepte einer sicheren Wasserwiederverwendung für eine urbane und landwirtschaftliche Bewässerung entwickelt.

CHRISTOPH SCHWALLER

(M.SC.)

089/289 13733

C.SCHWALLER @TUM.DE

Nutzwasser als alternative Wasserressource für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung

Die Schweinfurter Trockenplatte ist eine Region mit traditionell ausgeprägter Wasserknappheit, in welcher durch die Auswirkungen des Klimawandels Nutzungskonflikte vermehrt zu Tage treten. Sie steht damit stellvertretend für viele Regionen in Deutschland, Europa und anderen Standorten, die sich einer neuen wasserwirtschaftlichen Situation gegenübersehen und in denen es dringend erforderlich ist auch unkonventionelle Lösungen zu sondieren. Aufbauend auf Erkenntnissen aus einem Vorgängerprojekt, soll in diesem Verbundvorhaben nun der nächste Schritt in die Demonstration erfolgen, um die mögliche Implementierung einer Nutzwasseranwendung als eine nachhaltige und innovative Lösung unter den Bedingungen von Reallaboren mit hohem Transferpotenzial zu untersuchen.

Das Projekt ist Teil des spezifischen Förderprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit dem Thema: „Wassertechnologien: Wiederverwendung“. Zielsetzung ist es, neue hochflexible und bedarfsgerechte Managementstrategien für eine Wasserwiederverwendung zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung praxisnah zu entwickeln. Konkrete Ziele des Vorhabens sind:

- Ausarbeitung der Voraussetzungen für eine genehmigungsrechtliche Implementierung für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungspraktiken
- Festlegung von Wasserqualitätsanforderungen für unterschiedliche Bewässerungspraktiken
- Entwicklung von zeitgemäßen digitalen Ansätzen zur automatisierten Erfassung, Archivierung und Bestimmung des Bewässerungsbedarfs unter Berücksichtigung von lokalen und regionalen Daten in Echtzeit
- Implementierung innovativer Multibarrieren-Behandlungsverfahren zur effizienten Reduktion von mikrobiologischen und chemischen Kontaminanten
- Erarbeitung einer automatisierten, bedarfsgerechten Bereitstellung von weitergehend behandeltem Abwasser (= "Nutzwasser") einschließlich automatisierter Systeme zur Qualitätssicherung unter Berücksichtigung von Echt-zeit Daten
- Entwicklung innovativer Konzepte zur Implementierung von Nutzwassersystemen im Bestand
- Konzeption von angepassten Betreibermodellen und Möglichkeiten des Technologietransfers
- Einbettung des Vorhabens von Projektbeginn in einen interaktiven Stakeholderprozess sowie
- Einrichtung einer innovativen Öffentlichkeitsarbeitsplattform, um Konzepte der Nutzwasseranwendung einer interessierten Öffentlichkeit

Link zur Webseite des Projektes: https://www.nutzwasser.org/public/index.html.

FÖRDERUNG:

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

KOOPERATION:

BRANDT GERDES SITZMANN UMWELTPLANUNG GMBH, ALB BAYERN E.V., COPLAN AG, HOLINGER AG, RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR WASSERFORSCHUNG GEMEINNÜTZIGE GMBH, LEIBNIZ-RECHENZENTRUM (WEITERE PARTNER SIEHE NÄCHSTE SEITE)

JAVAD AHMADI

(M.SC.)

089/289 13733

J.AHMADI @TUM.DE

Wasserwiederverwendung für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke mittels Aufbereitung über Hybrid-Membran-Ozonierung System

Bei Anwendungen der Wasserwiederverwendung spielen betroffene Schutzgütereine wichtige Rolle im Rahmen des Risikomanagements. Dazu gehören Oberflächenwasser, Grundwasser, Boden, Pflanzen und insbesondere die menschliche Gesundheit. Zur Gewährleistung eines angemessenen Sicherheitsniveaus in Bezug auf die unbekannten Risiken und Ungewissheiten hinsichtlich der möglichen Kontaminationsexposition und ihrer nachteiligen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit können geeignete Multibarrieren zu einer erheblichen Verringerung des Schadstoffrisikos beitragen. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts soll daher ein neues, hochflexibles und bedarfsgerechtes System zur Wasserwiederverwendung für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke entwickelt werden, bei dem eine Kombination weitergehender Aufbereitungstechnologien zum Einsatz kommt. Zu diesen weitergehenden Verfahren gehören chemische Oxidation (O_3), Adsorption (Aktivkohle), Ultrafiltration (UF) mit Membransystemen und UV-Bestrahlung. UF-Systeme wurden bereits in großtechnischen Projekten eingesetzt und lieferten vielversprechende Ergebnisse bei der Rückhaltung von Krankheitserregern, wenn sie mit gereinigtem Abwasser zur Wiederverwendung gespeist wurden. In früheren Studien wurde nachgewiesen, dass die Kombination von Ozonung und Aktivkohlefilter die Entfernung von organischen Spurenstoffen erheblich verbessern kann. Die Interaktion zwischen diesen Wasseraufbereitungsverfahren wird während eines langfristigen Betriebs von Pilotanlagen in der Kläranlage Schweinfurt untersucht, wobei der Schwerpunkt auf einer zuverlässigen und effizienten Entfernung relevanter Krankheitserreger, Antibiotikaresistenzen und organische Spurenstoffe liegt. In Anbetracht der Entfernungseffizienz der verschiedenen Behandlungsoptionen kann die Hybridisierung dieser Systeme eine angemessene und zuverlässige Wasserqualität für nicht trinkbare Anwendungen gewährleisten. Durch den Vergleich der Entfernung von organischen Spurenstoffen, relevanten Transformationsprodukten, Krankheitserregern und mobilen genetischen Elementen (wie z.B. Plasmide oder Phagen) während verschiedener Behandlungsschritte kann der Beitrag jedes Prozesses zur Leistung des gesamten Behandlungssystems quantifiziert werden. Darüber hinaus soll aus betrieblicher Sicht die Auswirkung der Ozonierung auf die Stabilität des UF-Membranprozesses und die Bildung von Membranfouling untersucht werden.

FÖRDERUNG:

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

KOOPERATION:

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WEINBAU UND GARTENBAU, WASSERWIRTSCHAFT DER REGIERUNG VON UNTERFRANKEN, DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V., XYLEM WATER SOLUTIONS DEUTSCHLAND GMBH, STADTENTWÄSSERUNG SCHWEINFURT

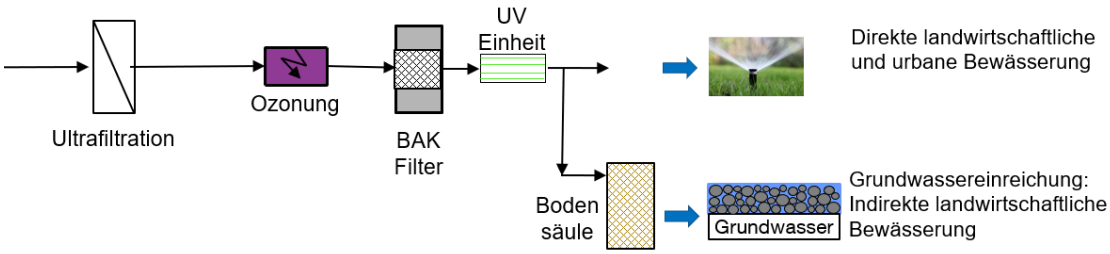


Abbildung 22: Multibarrieren-Behandlungssystem des Nutzwasser-Projekts zur Wasserwiederverwendung.

JONAS ANIOL

(M.Sc.)

089/289 13707

JONAS.ANIOL @TUM.DE

Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen

In dem 2020 abgeschlossenen BMBF-Verbundvorhaben TrinkWave wurden neue Multibarrieren-Aufbereitungsprozesse zur Wasserwiederverwendung auf Basis einer sequentiellen Grundwasseranreicherung (Sequential Managed Aquifer Recharge Technology, SMART) entwickelt sowie neue multidisziplinäre Bewertungsansätze für innovative Verfahrenskombinationen der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung erarbeitet.

Auch im Anschluss an das Verbundvorhaben werden die Technologien SMART sowie SMART*plus* an der TUM weiter untersucht und weiterentwickelt. Mit Hilfe der innovativen, halbtechnischen Anlage zur Simulation von SMART*plus* sollen die Leistungsfähigkeit der Inaktivierung von Pathogenen (insbesondere Viren), die Reduzierung von Antibiotikaresistenzen sowie die Entfernung von anthropogenen Spurenstoffen betrachtet werden. Aktuelle Schwerpunkte liegen dabei auf einer genaueren Charakterisierung des Konzepts der sequentiellen Redoxbedingungen sowie der weiteren Optimierung hinsichtlich der hydraulischen Bedingungen. Im Fokus stehen zudem die Integration weiterer Barrieren für die Etablierung eines Multi-Barrierensystems und die Weiterentwicklung einer adäquaten Prozessüberwachung an der halbtechnischen Anlage an der TUM. Mit Hilfe einer intensivierten Messdatenerfassung soll zudem der Einsatz von Machine Learning Ansätzen zur verbesserten und automatisierten Regelung des SMART*plus* Systems in Echtzeit untersucht werden.

Zudem soll die großtechnische Umsetzung des SMART Verfahrens in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben erprobt werden. Dabei sollen die bisher gewonnenen Erkenntnisse aus dem SMART*plus* System (TUM) in die Planung und Umsetzung mit einfließen.

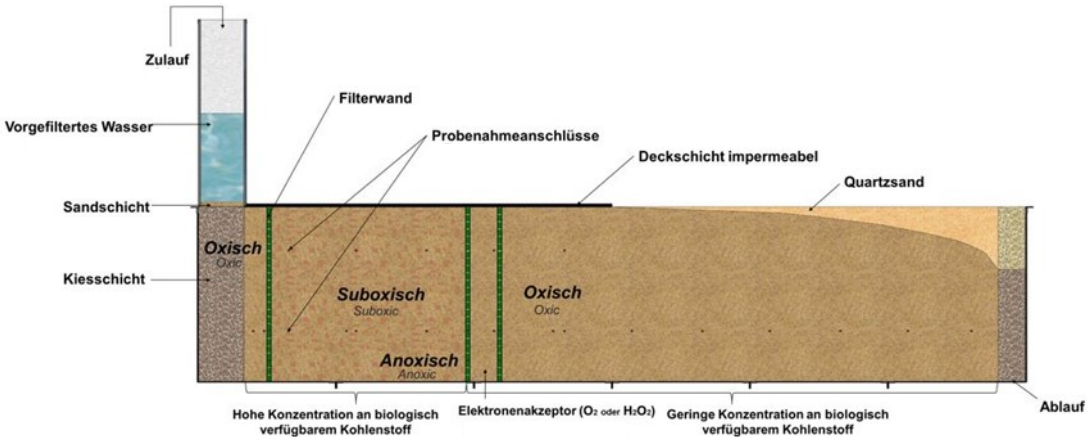


Abbildung 23: Planungsmodell der halbtechnischen Versuchsanlage SMARTplus an der TUM (verändert nach Karakurt-Fischer et al., 2020).

Daphne Keilmann-Gondhalekar

(Ph.D.)

089/289 22377

D.GONDHALEKAR@TUM.DE

Arbeitsgruppe Urban Water-Energy-Food (WEF) Nexus

Mit anhaltendem Wirtschaftswachstum, Verstädterung und Industrialisierung steigt die Nachfrage für Ressourcen weltweit, bspw. für Wasser, Energie und Nahrung, vor allem in Städten. Es resultieren starke Umweltbelastungen 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 24: WEF Nexus Ansatz.

Der Water-Energy-Food (WEF) Nexus Ansatz bietet eine Möglichkeit, wie Städte sich nachhaltiger entwickeln können. Der Ansatz besagt, dass viel Energie gebraucht wird, um Wasser in Städten bereitzustellen, und dass viel Wasser gebraucht wird, um Energie und Nahrung zu erzeugen. Die integrierte Planung dieser drei Sektoren kann die Verbesserung von Wasser-, Energie- und Nahrungssicherheit unterstützen sowie die Umsetzung der United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). Wasser Wiederverwendung mit integrierter Ressourcen Rückgewinnung ist ein Schlüsselpotential in der Operationalisierung des WEF Nexus Ansatzes. Bisher gibt es jedoch wenige Beispiele in denen dies in urbanen Maßstäben umgesetzt wurde. Weitere Fallstudien und Pilot Projekte sind dringend nötig, um die Machbarkeit dieses Ansatzes zu testen. Des Weiteren muss deren Entwicklung von Anfang an in einen partizipativen Ansatz mit den relevanten Interessensträgern eingebettet sein.

Innerhalb der 2021 von Dr. Gondhalekar gegründeten TUM Nexus Lab Initiative (Nexus@TUM: www.nexus.wasser.tum.de) analysiert die Urban WEF Nexus Forschungsgruppe die Interaktionen der Sektoren Wasser, Energie und Nahrung sowie anderer relevanter Sektoren wie Transport und Abfall, und leitet alternative Szenarien für die zukünftige urbane Entwicklung daraus ab, die der Entwicklung von Pilot Projekten in urbanen Maßstäben dienen. Die Forschungsgruppe arbeitet zu verschiedenen Fallstudien in Deutschland, Indien und Niger.

Abbildung 25: Serie von internationalen urbanen WEF Nexus Workshops.

Daphne Keilmann-Gondhalekar

(Ph.D.)

089/289 22377

D.GONDHALEKAR@TUM.DE

Förderung:
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Wasserwiederverwendung für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke mittels Aufbereitung über Hybrid-Membran-Ozonierung System

Dieses Projekt ist Teil eines größeren, vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, 2020-2023) geförderten Kooperationsprojekts mit dem Titel „Wissenschaft trifft Schule – Erneuerbare Energie angetrieben Wasser-Nahrungsmittel-Wirtschaft Nexus zur Verbesserung der Lebensbedingungen in der Dosso-Region im Niger“.

Ziel des Projektteils der Nexus-Gruppe ist es, einen Nexus-Dialog zu initiieren, wissenschaftliche Netzwerke zum Thema aufzubauen und zu stärken sowie ein Nexus-Pilotprojekt im Rahmen einer Klimaanpassungsstrategie mit nachhaltiger Wasserversorgung zu entwickeln und umzusetzen gekoppelt mit einer Analyse der Potenziale der Wasserrückgewinnung und der integrierten Ressourcenrückgewinnung als wichtige Nexus-Chance. Diese Studie wird anhand einer typischen Fallstudie durchgeführt, einem Sekundarschulcampus in einem Dorf in der Region Dosso im Niger. Das Projekt entwickelt und visualisiert mit-hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) alternative Entwicklungsszenarien mit geeigneten Technologieoptionen als Grundlage für eine partizipative Multi-Stakeholder-Diskussion, um von Projektbeginn an den Co-Design/-Creation-Prozess des Pilotprojekts abzusichern zusammen mit der lokalen Gemeinschaft und ermöglicht so Miteigentum. Parallel dazu zielt das Projekt darauf ab, vor Ort Kapazitäten aufzubauen, um eine nachhaltige Wassernutzung als Teil eines Klimanpassungs-Ansatzes in der Region zu verankern.

Abbildung 26: Leh, Indian Himalaya.

Durch die nachhaltige Bereitstellung von Trinkwasser und Wasser für verschiedene andere Verwendungszwecke, z.B. für die landwirtschaftliche Bewässerung oder Grundwasseranreicherung, zielt das Projekt darauf ab, eine Einnahmequelle im Modellmaßstab zu schaffen, die wiederum darauf abzielt, einen öffentlich-privaten, organisierten Betrieb zu ermöglichen. Auch das Potenzial der Ressourcenrückgewinnung durch die Erzeugung von Biogas und organischem Dünger wird analysiert. Solch ein innovativer Rahmen kann die Grund-lage für ein innovatives Entscheidungsfindungs- und sozioökonomisches Governance-Modell sein, das eine nachhaltigeren Entwicklung von Städten unter den Auswirkungen des Klimawandels sowie die Erreichung der UN-SDGs stützt. Darüber hinaus soll das Projekt durch die Umsetzung des Pilotprojekts Erkenntnisse über die Schlüsselfaktoren für die Operationalisierung des Nexus-Ansatzes und insbesondere der Wasserrückgewinnung gewinnen und so Ergebnisse generieren, die auf andere Regionen übertragbar sind. Die Ergebnisse haben sehr hohe Relevanz für die gebaute Umwelt und Städte in der Region und weltweit.

Pressemitteilung: https://www.th-koeln.de/hochschule/solaranlage-fuer-die-lokale-wirtschaft_76314.php

Daphne Keilmann-Gondhalekar

(Ph.D.)

089/289 22377

D.GONDHALEKAR@TUM.DE

Natalie Páez Curtidor

(M.Sc.)

089/289 3704

NATALIE.PAEZ@TUM.DE

Förderung:
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Nexus City: Verbesserung von Wasser, Energie und Nahrungssicherheit durch einen Nexus Ansatz in Städten in Indien

Städte in Entwicklungsländern und zunehmend auch in entwickelten Ländern stehen bereits heute vor ernsthaften wasserbezogenen Entwicklungsherausforderungen. Diese werden sich voraussichtlich mit der klimawandelbedingten Wasserunsicherheit und -knappheit verstärken und bereits bestehende und potenzielle Risiken für die öffentliche Gesundheit verstärken.

Die Nexus-Forschungsgruppe arbeitet seit fast einem Jahrzehnt in Leh Town, der Hauptstadt von Ladakh, einer semi-ariden Höhenregion im indischen Himalaya. Projektziel ist die Entwicklung eines WEF Nexus Pilotprojekts als Leuchtturmprojekt zur Wasserrückgewinnung mit integrierter Ressourcenrückgewinnung in Bergregionen der Region. Leh, mit ca. 60.000 Einwohner und am Indus gelegen, hat sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund des Wachstums der Tourismusbranche sehr schnell entwickelt. Infolgedessen steht die Stadt vor ernsthaften wasserbezogenen Entwicklungsherausforderungen. Derzeit wird ein sehr Wasser- und Energieintensives zentrales Abwassersystem gebaut. Das Projekt entwickelt neue Erkenntnisse über den Klimaschutz und die Anpassungsmöglichkeiten der lokalen Wasserversorgungs- und Abwasserwirtschaftssysteme. Auf dieser Grundlage gibt das Projekt politische Empfehlungen ab, die eine dezentrale städtische Wasserrückgewinnung und -Wiederverwendung zur Wasser- und Energieeinsparung sowie zur Rückgewinnung von Energie und Nährstoffen befürworten, um die Wasser-, Energie- und Ernährungssicherheit im Rahmen einer Strategie zur Resilienz gegen den Klimawandel zu unterstützen. Dieser Ansatz wird von der Nexus-Gruppe auf weitere Städte in Indien ausgeweitet.

Mehr Information über den WEF Nexus Ansatz und dessen Anwendung in der Urban WEF Nexus Forschungsgruppe im Nexus Documentar Film (2015): "If not now, when? Planning for the urban Water-Energy-Food Nexus" Duration: 18 minutes Link: https://vimeo.com/142941443

Abbildung 27: Leh, Indian Himalaya.

Die Nexus Gruppe agiert in Leh in enger Zusammenarbeit mit Seiner Heiligkeit Chetsang Rinpoche, Venerable Sanghasena am Mahabodi Centre, der Ladakh Ecological Development Group (LEDeG), Bremen Overseas Development Cooperation (BORDA), Himalayan Institute of Alternatives (HIAL), Water Foundation, Water Solutions Lab von Future Earth, und anderen. Dieses Projekt wurde von der Europäischen Kommission und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (2011-15), TUM Global Incentive Fund (2017-18), Bavarian State Ministry of Environment and Consumer Protection (2018-19), and German Federal Ministry for Education and Research (BMBF, 2018-2022) gefördert.

JÖRG E. DREWES

(PROF. DR.-ING.)

089/289 13713

JDREWES
@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 der Arbeitsgruppe Membranfiltration am Lehrstuhl liegen momentan die Unterdrückung von Biofouling durch die Integration von UV-LEDs in Membranmodule, der Kombination von Pulveraktivkohle und Ozon mit keramischen Ultrafiltrationsmembranen sowie der Rückhalt von mikrobiellen und chemischen Kontaminanten bei Hochdruckmembranen.

In einem 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.

Die Kopplung von Pulveraktivkohle mit Ultrafiltrationsmembranen resultiert in hohen Wirksamkeiten für den Rückhalt von mikrobiellen Kontaminanten aber auch organischen Spurenstoffen. Dabei gilt es die Mechanismen des Rückhaltes von Antibiotikaresistenzträgern näher aufzuklären, um eine hohe Ablaufqualität zu gewährleisten. Weiterhin muss die Bildung von Deckschichten so optimiert werden, dass sich betriebliche Vorteile ergeben. Diese Wasserqualitäten ließen eine Wiederverwendung für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungen sowie die künstliche Grundwasseranreicherung zu.

PHILIPP SPERLE

(M.SC.)

089/289 13708

PHILIPP.SPERLE @TUM.DE

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

Im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes wird ein innovatives Bestrahlungssystem auf Basis pulsierender UVC-LEDs mit dem Ziel entwickelt, durch eine UV-Vorbehandlung die Ausbildung von Biofouling in nachgeschalteten Umkehrosmose (UO)-Membranverfahren zu vermeiden. Die neuartigen UVC-LEDs besitzen eine Vielzahl von Vorteilen, wodurch sie gegenüber herkömmlichen Quecksilberdampflampen umweltschonender eingesetzt und auf Grund ihrer kleinen Baugröße potentiell als in-situ Behandlung in das Druckrohr von UO Systemen integriert werden können.

Die Arbeitsgruppe Membranfiltration untersucht das neuartige Vorbehandlungsverfahren im Labor- und Pilotmaßstab. 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 anhand typischer Leistungskenngrößen eines Membranmoduls wie dem Verlust an Permeabilität oder dem Anstieg des Druckverlustes im Zulaufkanal (FCPD) (Abbildung 28). Die sich gebildeten Biofilme werden auf diverse Parameter wie den ATP Gehalt, die Zusammensetzung der extrazellulären polymeren Substanzen und die mikrobiologische Diversität analysiert. Zusätzlich wird die Entfernbarkeit der Biofilme untersucht.

Durch eine intermittierende Spannungsversorgung werden die UVC-LEDs in einen Pulsationsbetrieb versetzt. Grundlegende Untersuchungen sollen Aufschluss über die Inaktivierungsleistung und Ausbildung von Biofouling bei verschiedenen Pulsationsregimes und Bestrahlungsstären geben.

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

KOOPERATION:
UV-EL GMBH, DELTA UMWELTTECHNIK GMBH

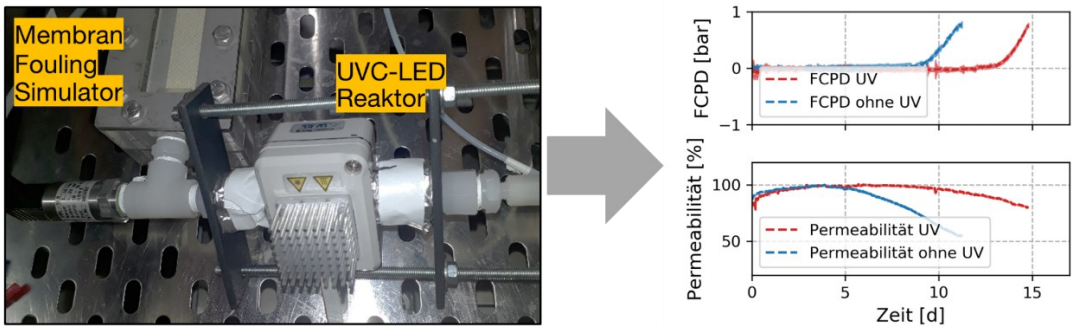


Abbildung 28: UVC-LED angeschlossen an einem Membran Fouling Simulator und die Auswirkungen der UV Vorbehandlung auf den Anstieg des Druckverlustes im Zulaufkanal (FCPD) sowie dem Verlust an Permeabilität (Sperle et al., Membranes 2020, 10, 415).

CHRISTIAN HILLER

(DIPL.-ING.)

CHRISTIAN.HILLER@TUM.DE

FÖRDERUNG:

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

Optimierung der Entfernungseffizienz von antibiotika-resistenten 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 wer-den 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 BMBF-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 Trink-wasser 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 Wasserrückspülung und nach der chemischen Rückspülung. Zusätzlich wurde die Wiederverkeimung und die Antibiotikaresistenz-entwicklung im Filtrat der Membranfiltration untersucht.

CHRISTIAN WURZBACHER

(DR. RER. NAT.)

089/289 13797

C.WURZBACHER@TUM.DE

Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme

Die Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe Mikrobielle Systeme beschäftigt sich mit der Untersuchung mikrobieller Prozesse in aquatischen und technischen Systemen, von der biologischen Abwasserreinigung bis hin zu Ökosystemen in Oberflächengewässern. Wir suchen nach Wegen, um die mikrobiellen Funktionen besser zu verstehen. Ein Forschungsschwerpunkt ist die Interaktion und Diversität von Organismen innerhalb mikrobieller Biofilme mit einem Schwerpunkt auf Pilzen und deren Funktion.

Mikroben besitzen eine Reihe von Enzymen für den Abbau aller Arten von Stoffen, 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 Substanzen umwandeln können. Von besonderem Interesse sind die weitgehend unerforschten aquatischen Pilze, die potenziell in Abwasserreaktoren eingesetzt werden könnten. Weitere Forschungsarbeiten befassen sich mit der Charakterisierung der taxonomischen und funktionellen Vielfalt mikrobieller Gemeinschaften mit spezifischen Funktionen, z. B. im Hinblick auf mikrobielle Abbau- oder Antibiotikaresistenzgene im Wasserkreislauf. Molekulare Methoden werden häufig quantitativ (qPCR) oder qualitativ (Hochdurchsatz-Sequenzierung, Mikroskopie, Durchflusszytometrie) eingesetzt. In einem neuen BMBF-Projekt wird das Potenzial von Biomarkern in Abwässern am Beispiel der Häufigkeit des SARS-CoV-2-Virus in kommunalen Abwasserströmen untersucht.

KATERYNA NOSENKO

(M.SC.)

089/289 13711

K.NOSENKO @TUM.DE

ANNA UCHAIKINA

(M.SC.)

089/289 13712

ANNA.UCHAIKINA @TUM.DE

ALEXANDER MITRANESCU

(M.Sc.)

089/289 13709

ALEXANDER.MITRANESCU @TUM.DE

Abwasser Biomarker CoV2: Abwasserepidemiologie am Beispiel eines SARS-CoV-2 Biomarkers für die Abschätzung von COVID-19-Infektionen auf der Populationsskala

Die Abwasserepidemiologie (engl., wastewater-based epidemiology, WBE) bekommt zunehmend Zuspruch als eine diagnostische Methode, um den Konsum von Drogen und Medikamenten für gesamte Siedlungsgebiete abzuschätzen. Auch SARS-CoV-2 kann als ein Biomarker im Rahmen einer Abwasserdiagnostik genutzt werden, um einerseits eine Änderung im Infektionsgeschehen frühzeitig zu erkennen und andererseits die Dunkelziffer von COVID-19-Fällen auf der Populationsskala besser aufzuklären. Dafür muss die Virusmenge im Abwasser zuverlässig analysiert und nachgewiesen werden. Der Nachweis von SARS-CoV-2 basiert auf verschiedenen PCR-Tests mit zuvor aufbereiteten Abwasserproben (siehe Arbeitsschema in Abbildung 29). Hierzu besteht Forschungsbedarf zu standardisierten Methoden für behüllte Viren wie SARS-CoV-2, zur Optimierung der Aufbereitungsverfahren für die Erfassung der Virenmenge im Rohabwasser und zur aktiven Einbindung ins Krisenmanagement der Behörden.

Für die Einordnung der ermittelten Viruskonzentration im Abwasser ist es darüber hinaus sehr wichtig weitere Faktoren zu beachten, wie die Bevölkerungsdichte, das Abwassernetz und dessen Abdeckung, das anfallende Abwasservolumen, Fremdwasseranteile und stoffspezifische Größen wie Ausscheidungsraten und das Verhalten von SARS-CoV-2 im Kanalnetz. Um die Unsicherheit dieser Einschätzung zu verringern, müssen diese Faktoren bei der Abschätzung des Infektionsgeschehens berücksichtigt werden. Mit den Ergebnissen aus diesem Projekt kann ein neuartiges SARS-CoV-2 Biomarker-Konzept entwickelt werden, das zum einen als ein Frühwarnsystem dienen soll und zum anderen auch zur Abschätzung der Ausbreitung von Infektionen direkt von den Behörden genutzt werden kann. Ein solches Konzept ließe sich voraussichtlich auch auf eine Abschätzung des Infektionsgeschehens durch andere Viren oder dessen Früherkennung bzw. Nachverfolgung ausdehnen.

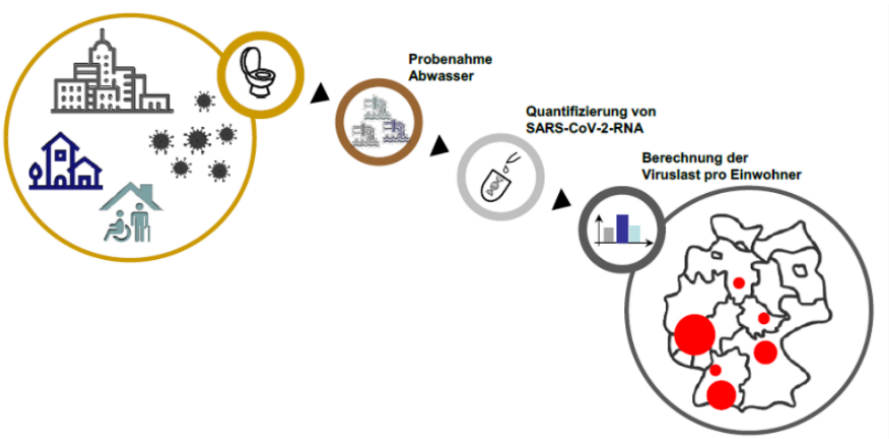
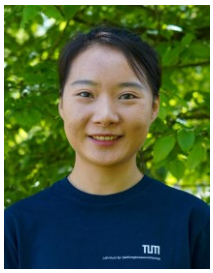


Abbildung 29: Konzept des Abwassermonitorings von SARS-CoV-2.Bild: Johannes Ho, Claudia Stange. Kollaborationspartner TZW Karlsruhe. Förderung BMBF



LIJIA CAO

(M.SC.)

089/289 13712

LIJIA.CAO @TUM.DE

FÖRDERUNG:

CHINA SCHOLARSHIP COUNCIL

KOOPERATION:

STOCKHOLM UNIVERSITY

Beseitigung von organischen Spurenstoffen durch funktionelle mikrobielle Modellgemeinschaften

Organische Spurenstoffe (TOrCs) wie Arzneimittel, Pflegeprodukte und Pestizide geben in der aquatischen Umwelt zunehmend Anlass zur Sorge. Diese anthropogenen und xenobiotischen Verbindungen werden häufig in Oberflächenwasser, Grundwasser und sogar Trinkwasser in Konzentrationen von wenigen $ng \cdot L^{-1}$ bis zu mehreren $\mu g \cdot L^{-1}$ nachgewiesen. Die biologische Behandlung von Spurenstoffen ist eine vielversprechende Technologie, da mikrobielle Gemeinschaften über ein hohes Potenzial verfügen, TOrCs über enzymatische Abbauprozesse zu beseitigen. Die Komplexität der mikrobiellen Interaktionen, die auf zahlreichen Spezies in einer realistischen Umgebung beruhen, erschwert jedoch die Erforschung der Biotransformationsmechanismen von TOrCs, so dass diese bis heute schwer fassbar sind. Ziel dieser Studie ist es, die "Black Box" der TOrC-Biotransformation durch vereinfachte "Modellgemeinschaften" aufzudecken. Modellgemeinschaften mit reduzierter Komplexität, können verwendet werden, um diese Herausforderung zu meistern.

Die Modellgemeinschaften wurden aus der natürlichen Umwelt gewonnen, darunter Sedimentkerne (Osterseen, Bayern), Belebtschlamm (Kläranlage, Garching), technischer Sand (Biofiltrationskolonne im Labormaßstab, Garching), Leitungswasser (Garching) und Oberboden (Garching). Wir verwendeten die Methode der Verdünnung bis zur Extinktion, um Modellgemeinschaften in 96 Deep-Well-Platten zu kultivieren. Als Modellgemeinschaften wurden Gemeinschaften ausgewählt, die erfolgreich aufwachsen und eine Mischung aus 27 TOrCs effizient abbauen können. Die Auswirkungen der TOrC-Konzentration, der anfänglichen Zellzahlen und des Medientyps auf das Wachstum und die Abbauleistung der Gemeinschaften wurden untersucht. Die taxonomische Zusammensetzung der Modellgemeinschaften wurde charakterisiert. Der Zusammenhang zwischen der Biotransformation von TOrCs und den Wechselwirkungen zwischen den Modellgemeinschaften wird zukünftig im Detail betrachtet.

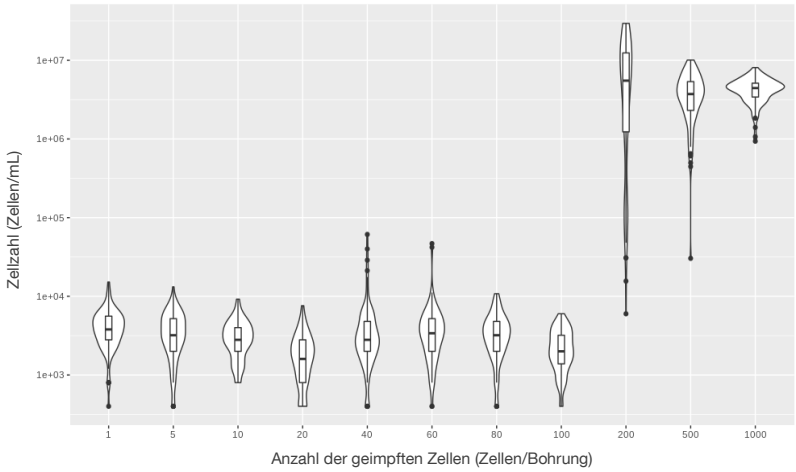


Abbildung 30: Die Auswirkung der Anzahl der inokulierten Zellen auf das Wachstum von Modellgemeinschaften.

Ali Nawaz

(Dr. rer. nat.)

089/289 193714

ali.nawaz@tum.de

Erforschung unbekannter aquatischer Pilze durch Laserdissektion und Lange-Leselängen-Sequenzierung

Pilze spielen eine Schlüsselrolle beim Abbau organischer Stoffe und beim Nährstoffkreislauf. Ihre Vielfalt wird auf 2,2 bis 3,8 Millionen Arten geschätzt. Ein großer Teil davon ist jedoch noch unbekannt, denn bisher sind nur etwa 149 000 Pilzarten offiziell beschrieben. Diese Diskrepanz zwischen bekannten und unbekannten Pilzen ist in aquatischen Lebensräumen noch ausgeprägter. Mykologen haben kulturunabhängige Sequenzierungstechnologien eingesetzt, um diese Lücke zwischen bekannten und unbekannten Pilzen zu schließen. Diese Bemühungen reichten jedoch nicht aus, um den Baum des Lebens (Fungal Tree of Life - FToL) mit neu beschriebenen Pilzarten zu füllen.

Daher arbeite ich im Rahmen der Microbial System Research Group an der Etablierung einer Methodik, der die Einzelzellanalyse mit der Amplifikation ganzer Genome und der Long-Read-Sequenzierung kombiniert. Wir haben verschiedene aquatische Lebensräume mit Erfolg getestet, um z. B. aquatische Hyphomyceten (bekannt für den Abbau von Laubstreu) und Chytriden (parasitäre Pilze) zu identifizieren.

Förderung:
Deutsche Forschungsgemeinschaft

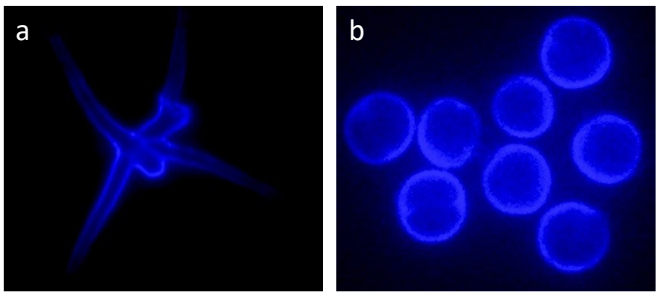


Abbildung 31: a) Sporen aquatischer Hyphomyceten und b) unbekannte mikrobielle Zellen aus einer Wasserprobe, gefärbt mit Calcofluor-White.

Darüber hinaus untersuchen wir auch die Wechselwirkungen verschiedener Pilzgruppen mit anderen Eukaryoten in einem Salzgradienten in der Ostsee. Hier analysieren wir sequenzierte Daten mikrobieller Gemeinschaften, um die Auswirkungen des Salzgradienten auf Prokaryoten- und Eukaryoten-Gemeinschaften, einschließlich Pilzen, mit Hilfe einer mikrobiellen Netzwerkanalyse zu klären.

Kooperation:
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Gotheburg University, Yokohama University

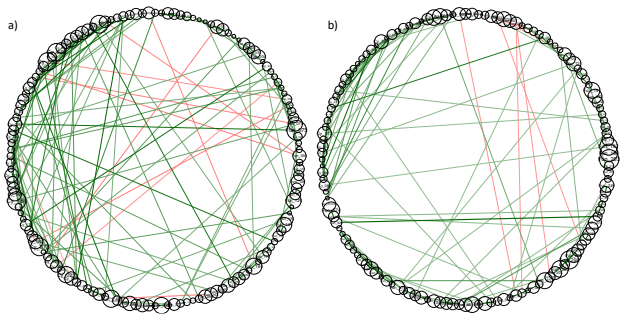
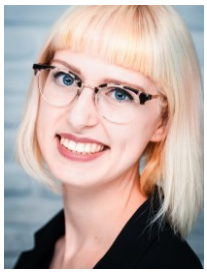


Abbildung 32: Mikrobielles Interaktionsnetzwerk von Pilzen mit Autotrophen in a) hochsalzigen und b) niedrigsalzigen Umwelten.



KATRIN STÜER-PATOWSKY

(M.SC.)

089/289 13720

KATRIN.STUEER@TUM.DE

FÖRDERUNG:
DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT

KOOPERATION:
BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT

Funktion von Wasserpilzen in Biofilmen der Abwasserbehandlung

Pilze sind als dominante Organismen im Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen in terrestrischen Ökosystemen bekannt und erfüllen damit eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf. Ihre Rolle im aquatischen Lebensraum ist jedoch weitestgehend unerforscht. Verschiedene Umwelt- und Diversitätsstudien zeigen ihr Vorhandensein in einer Großzahl aquatischer Habitate und heben den Mangel an Informationen über das Reich der Pilze hervor. In vergangenen Jahren wurde ein vollständig neuer Stamm, die Cryptomycota, in nahezu allen genommenen Wasserproben entdeckt.

Insbesondere technische biologische Systeme erfordern eine Betrachtung der gesamten mikrobiologischen Gemeinschaft, um die Prozesse zu verstehen und im Folgenden eine Optimierung zu ermöglichen. Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist es, einen Einblick in die Funktion und Diversität aquatischer Pilze in Kläranlagen zu gewinnen. Neben der Verwendung von mit Abwasser beschickten down-flow hanging sponge (DHS) Reaktoren als Modellsystem wird ein Screening verschiedener Kläranlagen durchgeführt. Da insbesondere Biofilme als vielversprechendes Habitat zur Untersuchung von Pilzen betrachtet werden, wird die Zusammensetzung dieser mit Hilfe von qPCR und ribosomalen Markergenen analysiert. Auch das Interaktionsnetzwerk auftretender Mikroorganismen im System und die funktionale Rolle der Pilze werden studiert. Zudem ist die Identifizierung grundlegender enzymatischer Stoffwechselwege der Pilze in den betrachteten Gemeinschaften beabsichtigt.

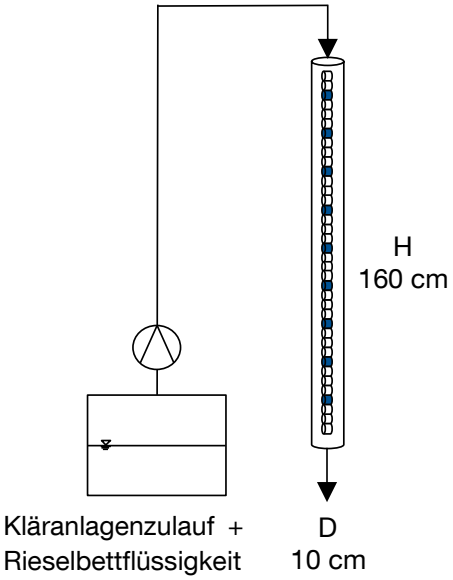


Abbildung 33: DHS Reaktor mit Polyurethan-Schwamm-Füllung.

OLIVER KNOOP

(DR. RER. NAT.)

089/289 13702

OLIVER.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 (< µg/L) der Substanzen in der Umwelt, jedoch können einige Substanzen auch in diesen Konzentrationen Effekte auf den Menschen und andere Organismen verursachen.

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.

Einige Schwerpunkte der Arbeitsgruppe im Überblick:

- Erweiterung der Target-Analytik für das Monitoring von Spurenstoffen in der (Ab-)Wasseraufbereitung
- 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.
- Etablierung der Analytik zur Bestimmung von perfluorierten Alkylsubstanzen in Wasseraufbereitungsprozessen (PFAS).

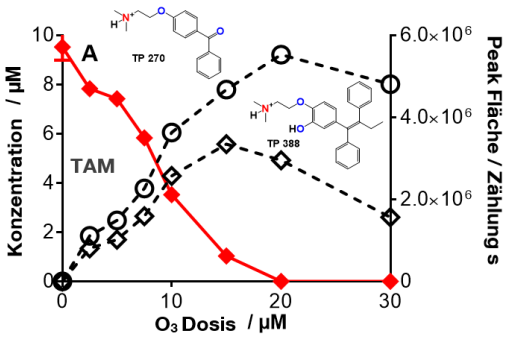


Abbildung 34: Links: AB Sciex QTRAP 5500 Massenspektrometer zur Identifikation von Transformations-produkten. Rechts: Beispiel für die Bildung von Transformationsprodukten bei der Ozonung.

MOHAMMED AL-AZZAWI

(M.SC.)

089/289 13720

MOHAMMED.AL-AZZAWI@TUM.DE

Probenaufbereitung für Umweltmatrix gebundene Mikro- & Submikroplastik: Validierung und Feldstudie

Die zuverlässige quantitative und qualitative Bestimmung von Mikroplastik in verschiedenen Umweltproben ist für die Bewertung von Mikroplastik ein wichtiger Schritt. Dazu ist es notwendig, Mikroplastikpartikel von natürlichen Partikeln wie Sand, pflanzlichen und tierischen Rückständen und anderen 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 entfernt werden. Organische Materie weist eine ähnliche Dichte wie Mikroplastik auf und kann durch ein Aufschlussverfahren wie oxidativen, alkalischen und Säureaufschlüssen oder einem enzymatischen Verdau entfernt werden. Diese Aufbereitungsmethoden können jedoch ggf. unbeabsichtigt auch die zu untersuchenden Mikroplastikpartikel beeinflussen.

Ziel der Studie war es, eine Probenaufbereitungsmethode zur Entfernung natürlicher, organischer Bestandteile einer Abwasser-Matrix zu optimieren, zu standardisieren und zu validieren. Dabei soll eine möglichst effektive Entfernung von organischen Rückständen erreichen werden, ohne die Mikroplastikpartikel selber zu verändern. Die Methoden wurden zur Anwendung auf sieben herkömmlichen Polymere, darunter PS, PE, PP, PET, PVC, PA und PLA validiert. Zuerst wurde die Validierung auf den Größenbereich von 80 – 300 µm ausgelegt. Danach wurden die zwei besten Methoden (Wasserstoffperoxid sowie Fenton-Reaktion) ebenfalls bei kleineren Mikroplastikpartikeln validiert (<10 µm).

Die auf der Fenton-Reaktion basierte Methode wurde für eine Feldstudie verwendet, bei der Abflüsse von zwei Kläranlagen beprobt wurden, um die Mikroplastik-Rückhalteleistung der nachgeschalteten Sandfilter zu bestimmen. Die Probenahmeeinrichtung ist geschlossen und komplett aus Metall, um Plastik-Kontamination zu vermeiden. Die Anlage bietet eine Hochleistungspumpe sowie drei modulare Stahl-Filterkaskaden (100 µm, 50 µm, 10 µm). Zusätzlich wurde der Ablauf vom 10 µm Filter beprobt, um auch die Partikel < 10 µm zu erfassen. Die beprobten Volumina betrugen 5000 – 7000 L für die zwei großen Filter (100 & 50 µm) sowie 200 L für den 10 µm Filter und 2,5 L für die Fraktion < 10 µm.

FÖRDERUNG:
BAYERISCHE FORSCHUNGS-STIFTUNG

KOOPERATION:
INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTTECHNIK

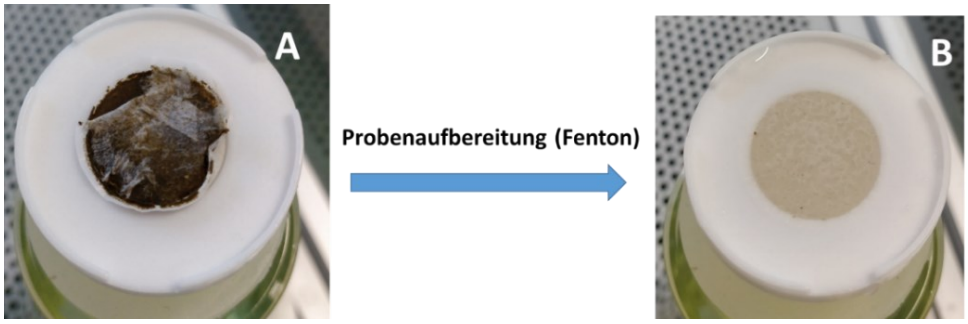


Abbildung 35: Probenaufbereitung zur Entfernung organischer Materie: A: Schlammprobe, B: Nach Fenton Behandlung.

JULIA REICHEL

(M.SC.)

BIS 30.06

JULIA.REICHEL @TUM.DE

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

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts „SubµTrack“ liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Analytik von „Submikropartikeln“ (50 nm -100 µm) und adsorbierten Schadstoffen, wie z.B. Pestiziden oder Insektiziden.

Mikro-, Submikro- und Nanopartikel werden zunehmend als Vektoren für organische Spurenstoffe angesehen. Um adsorbierte organische Spurenstoffe auf Polymeren zu bestimmen, musste bisher meist eine aufwendige Probenvorbereitung durchgeführt werden. Mit Hilfe einer neu entwickelten Methode der Thermodesorptions-Pyrolyse-Gaschromatographie-Massenspektrometrie (TD-Pyr-GC/MS) ist es möglich, adsorbierte organische Spurenstoffe auf den Partikeln sowie die Polymere in einem analytischen Set-up zu identifizieren. Dies ermöglicht einen hohen Probendurchsatz für die qualitative Analyse von Spurenstoffen und Polymeren, da die Messzeit pro Probe nur 2 h beträgt. Zuerst werden die adsorbierten Substanzen durch thermische Desorption (TD) von den Partikeln desorbiert und anschließend wird das Polymer durch die Pyrolyse (PYR) fragmentiert. Beide Techniken sind direkt mit demselben GC/MS-System gekoppelt, das die desorbierten Moleküle bzw. Pyrolyseprodukte analysiert, siehe Abbildung 36.

Im Rahmen dieser Methodenentwicklung wurden die Spurenstoffe Phenanthrene, Triclosan und α-Cypermethrin auf den Polymeren Polystyrol (PS), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polyetylen (PE) getestet. Es werden definierte und additivfreie Partikelgrößen verwendet, darunter PS-Mikro- (41 µm und 40 µm) und Nanopartikel (78 nm), sowie PE- und PMMA-Partikel in einer Größe von 48 µm. Es konnte gezeigt werden, dass die Sorption von Phenanthren (PMMA 48 µm << PS 40 µm < 41 µm < PE 48 µm < PS 78 nm) und α-Cypermethrin (PS 41 µm < PS 40 µm < PE 48 µm < PMMA 48 µm < PS 78 nm) stark polymerabhängig ist. Triclosan adsorbierte nur an die PE-Partikel und an die PS-Nanopartikel (78 nm).

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

KOOPERATION:
BS-PARTIKEL GMBH

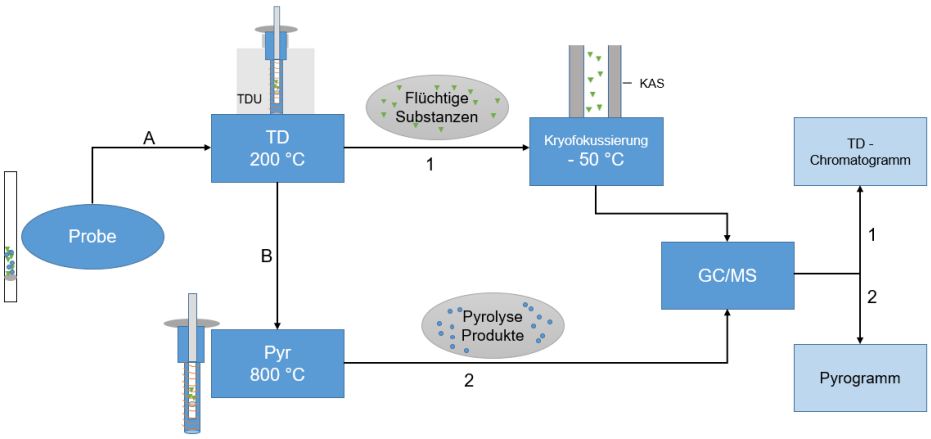


Abbildung 36: Flowchart TD-Pyr-GC/MS: (A) Thermodesorption der Probe (200 °C) (1) und Fokussierung der Analyten im Kaltaufgabesystem (KAS), gefolgt von der GC/MS Analyse. Anschließend wird die gleiche Probe (B) bei 800 °C pyrolysiert (2) und ins GC/MS geleitet.

JOHANN MÜLLER

(DR.-ING.)

BIS 31.03

JO.MUELLER @TUM.DE

Pilotprojekt: 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage Weißenburg, Erfahrungen im Regelbetrieb

Die weitergehende Abwasserbehandlung im Rahmen der sogenannten 4. Reinigungsstufe gilt als wichtiger Baustein für die Reduzierung der Gewässerbelastung mit anthropogenen Spurenstoffen. Im Rahmen eines Bayerischen Pilotprojekts wurde die Kläranlage der Stadt Weißenburg im Jahr 2017 mit einer weitergehenden Reinigungsstufe ausgestattet. Es kommt ein zweistufiges Verfahren bestehend aus einer Ozonung mit nachgeschalteter Filtration über Sand bzw. granulierte Aktivkohle zum Einsatz.

Schwerpunkte des seit Januar 2020 laufenden Projektes sind die Untersuchung der weitergehenden Abwasserbehandlung zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Weißenburg im Regelbetrieb, die Bewertung der Reinigungsleistung sowie die Ableitung von Empfehlungen für den Betrieb. Hierzu wird die Reinigungsleistung mittels eines Messprogramms für Spurenstoffe und weitere prozess- und abwasserrelevante Parameter beobachtet. Neben der Überwachung der Reinigungsleistung stellt die betriebliche und energetische Optimierung der Anlage ein weiteres Ziel der Studie dar. Hierbei steht insbesondere die Möglichkeit der Steuerung und Regelung der Ozondosierung über das ΔSAK_{254}-Konzept im Fokus der Untersuchungen. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfolgt weiterhin eine Erfassung und Auswertung der Betriebs- und Energiekosten im Regelbetrieb. Darüber hinaus erfolgt eine Bewertung üblicher Verfahren zur Spurenstoffelimination im Hinblick auf Synergieeffekte (z. B. weitergehende P-Elimination, CSB-Reduktion, Verbesserung der hygienischen Ablaufqualität des Abwassers).

Auf Basis der Ergebnisse dieses Vorhabens sollen anschließend Empfehlungen für die Auslegung und den Betrieb von weiteren Anlagen zur Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen in Bayern abgeleitet werden.

FÖRDERUNG:

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHER-SCHUTZ

KOOPERATION:

STADTENTWÄSSERUNG WEIßENBUR, WEBER-INGENIEURE GMBH, INGENIEURBÜRO DR. RESCH + PARTNER PARTG

Abbildung 37: Blick auf die weitergehende Reinigungsstufe der Kläranlage Weißenburg.

Susanne Minkus

(M.Sc.)

susanne.minkus@tum.de

Externe Doktoranden

Vergleich von aktivkohlebehandelten Proben hinsichtlich ihres individuellen Fingerabdrucks bestehend aus hochpolaren Molekülkandidaten

Realproben aus einer deutschen Talsperre wurden in Batchversuchen mit unterschiedlichen Typen und unterschiedlichen Mengen an Aktivkohle behandelt. Zuvor wurden die Proben mit einem Multikomponentenstandard aufgestockt. Vor der Messung wurden die Proben filtriert und erneut mit internen Standards aufgestockt. Anschließend wurden sie mittels polaritätserweiterter Chromatographie, bestehend aus hydrophiler Interaktionschromatographie (HILIC) und Umkehrphasen-Flüssigchromatographie (RPLC), aufgetrennt und mit hochauflösender Massenspektrometrie vermessen.

Der „Non-Target Screening“ Strategie folgend, werden zyklisch vollständige Massenspektren über den gesamten niedermolekularen Massenbereich aufgenommen.

Aus den Daten werden nun molekulare „Features“ extrahiert, beschrieben durch ihre Masse, Retentionszeit und Signalintensität. Die Features aus der mit Aktivkohle behandelten Probe werden mit denen aus der unbehandelten Probe verglichen und die Veränderungen der Signalintensitäten durch den Quotienten („Fold Change“) ausgedrückt. Es wird vorerst angenommen, dass ein logarithmischer „Fold Change“ von 0 Konsistenz bedeutet.

Susanne Minkus ist externe Doktorandin und bei der AFIN-TS GmbH in Augsburg angestellt. Betreut wird sie durch Prof. Dr. J.E. Drewes und Dr. PD T. Letzel.

Kooperation:
AFIN-TS GmbH, Westfälische Wasser- und Umweltanalytik GmbH

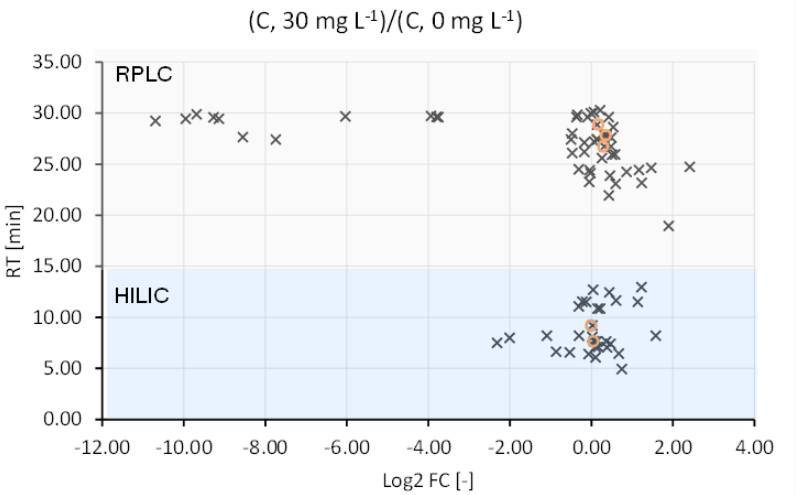


Abbildung 38: Die logarithmierten „Fold Changes“ (FC) sind gegen die chromatographische Retentionszeit (RT) aufgetragen. Polare Feature eluierten im Bereich < 15 min (blau). Interne Standards sind durch orange Kreise gekennzeichnet.

HANNA ULRICH

(DIPL.-GEOÖK.)

HANNA.E.ULRICH @TUM.DE

Screening auf unbekannte PFAS in einem belasteten Oberflächengewässer

Aufgrund chemikalienrechtlicher Beschränkungen für langkettige perfluorierte Verbindungen steigt die Anzahl an per- und polyfluorierten Ersatzstoffen in Industrie- und Konsumprodukten. Häufig ist weder deren chemische Struktur bekannt noch stehen analytische Standards und Methoden zur Bestimmung dieser Verbindungen zur Verfügung.

Die Non-Target- bzw. Suspected-Target-Analytik kann helfen, um unbekannte bzw. erwartete polyfluorierte Verbindungen in Wasserproben zu identifizieren. Zwischen Januar 2020 und Juli 2021 wurden monatlich Fließgewässerproben ober- und unterhalb einer industriellen PFAS-Einleitung entnommen. Mit Hilfe eines hochauflösenden und akkuraten LC-MS/MS-Geräts kann die exakte Masse der Moleküle in einer Probe bestimmt werden. Mittels eines geeigneten Workflows können die Daten reduziert und priorisiert werden, um PFAS herauszufiltern. Dafür wurden z.B. der Standard Massendefekt und Kendrick Massen Defekt (KMD) Plots genutzt. Der Abgleich mit Suspect-Listen und Fragment-Listen in denen nach charakteristischen Neutralverlusten und Fragmentmassen gesucht werden kann, ermöglicht eine vorläufige Identifizierung der priorisierten Signale.

In den unterhalb der Einleitung entnommen Proben konnten die erwarteten perfluorierten Carbonsäuren (PFCA) und die bekannten PFOA-Ersatzstoffe ADONA und GenX mittels Non-Target Workflow detektiert werden. Darüber hinaus wurden homologe Reihen teilfluorierter PFCA und weitere PFAS tendenziell identifiziert. Erkenntnisse aus diesem Non-Target Ansatz können für die Optimierung zukünftiger Abwasser-Monitoring-Programme genutzt werden.

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT

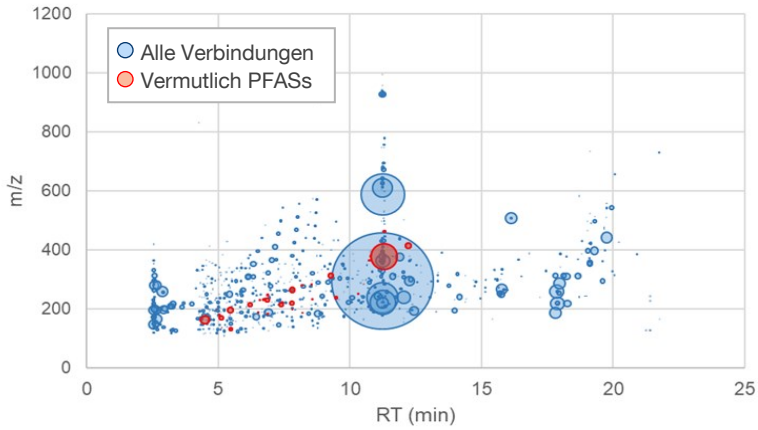
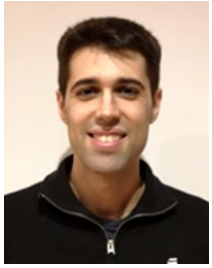


Abbildung 39: Mittels HR LC-MS/MS detektierte Verbindungen in einer Oberflächengewässerprobe unterhalb einer PFAS-Einleitung und Reduktion auf wahrscheinlich fluorhaltige Verbindungen. Die Größe der Punkte entspricht der Peakfläche des Messsignals.

Hanna Ulrich ist externe Doktorandin und beim Bayerischen Landesamt für Umwelt angestellt. Betreut wird Hannas Doktorarbeit an der TUM von Prof. Dr. J.E. Drewes und Dr. PD T. Letzel.

Gastwissenschaftler



Sergi Vinardell

(M.Sc.)

SVINDARDELL
@UB.ED

Sergi Vinardell ist Chemieingenieur mit besonderem Interesse an Umwelttechnik und Abwasserbehandlung. Er ist derzeit Doktorand an der Universität Barcelona (Spanien) und in seiner Forschung widmet es sich insbesondere der Bewertung der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Einführung von anaeroben Membranbioreaktoren (AnMBR) zur Abwasserbehandlung auf Kläranlagen im Hauptstrom. Während seiner Promotion war er an europäischen und nationalen Projekten beteiligt und hat an vielen Untersuchungen im Zusammenhang mit anaerober Vergärung und Membranrückgewinnungsprozessen mitgearbeitet. Seine Forschungsarbeit führte zur Veröffentlichung zahlreicher Artikel in hochrangigen Fachzeitschriften auf seinem Gebiet.

Sergi Vinardell hat während seiner Promotion zwei Forschungsaufenthalte an renommierten europäischen Universitäten absolviert: Einen sechsmonatigen Aufenthalt an der Universität Montpellier (Frankreich) und einen einmonatigen Aufenthalt an unserem Lehrstuhl von Oktober bis November 2021.

Anwar Dawas

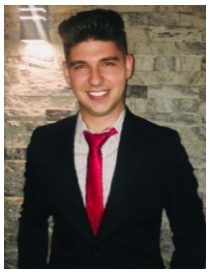
(Ph.D.)

ANWARDD
@GMAIL.COM

Dr. Anwar Dawas ist Postdoktorandin an der Tel Aviv Universität, Fakultät für Maschinenbau, The Porter school of the Environmental and Earth Sciences in Israel. Sie promovierte im Fach Umweltingenieurwesen am Technion in Haifa zum Thema "Integration of anammox and nitrifying bacteria in engineered systems for energy-efficient ammonium removal". Ihre derzeitige Forschung in der Forschungsgruppe von Dr. Ines Zucker konzentriert sich auf weitergehende Oxidationsprozesse zur Entfernung von Schadstoffen im Wasser.

Anwar's aktuelle Forschung ist Teil eines gemeinsamen Projekts der Tel Aviv Universität und unseres Lehrstuhls, das sich mit der chemischen In-situ-Oxidation mittles Ozon ($ISCO_3$) zur Entfernung von Schadstoffen im Grundwasser befasst. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung, Erprobung und Optimierung eines neuartigen ozonbasierten In-situ-Oxidationsverfahrens zur effektiven Entfernung von BTEX aus Wasser. Kernelemente des neuen Konzepts sind die passive Injektion von gasförmigem Ozon über Diffusion durch gaspermeable Membranen und deren Betrieb in aufeinanderfolgenden Barrieren zur Maximierung der Dekontamination. Die Verteilung des Ozons über mehrere Injektionspunkte entlang der Membranoberfläche erleichtert die räumliche Verteilung im Grundwasserleiter gegenüber derzeitigen Injektionssystemen.

Anwar besuchte die TUM im November 2021 für einen Monat im Rahmen des vom BMBF geförderten "Young Scientists Exchange Program", das Teil der deutsch-israelischen Wassertechnologiekooperation ist. Während ihres Aufenthalts untersuchte sie den Einfluss der Schadstoffkonzentration (BTEX) und der Radikalfänger-Kapazität des Wassers auf deren Entfernung durch Ozonierung und ozonbasierte weitergehende Oxidation.



CAIQUE OLIVERIA

(M.SC.)

CAIQUE.OLIVEIRA@TUM.DE

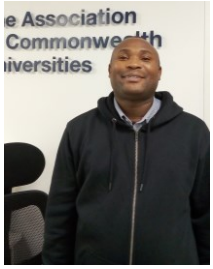
Photokatalytische Recyclingmembranen aus TiO_2 und Graphenoxid (GO) und ihre Anwendungen in der Abwasseraufbereitung

Anthropogene Spurenstoffe (EC) haben in den letzten Jahren die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Gemeinschaft auf sich gezogen, da sie bereits in Abwasser, Oberflächen-, Untergrund- und sogar Trinkwasser nachgewiesen wurden. Obwohl ihre Wirkungen nicht vollständig verstanden sind, weisen Studien auf ihre potentiellen toxikologischen Risiken hin. Herkömmliche Abwasserbehandlungsanlagen und Wasserbehandlungsanlagen sind bei der vollständigen Entfernung von ECs ineffizient und erfordern zu diesem Zweck weitergehende Behandlungen. Dieses Projekt zielt darauf ab, einen photokatalytischen Membranreaktor zu entwickeln und zu untersuchen. Dieser soll durch die Kombination von Katalysatoren und Membranen synergetische Vorteile bieten. Die Immobilisierung des Katalysators auf Membranoberflächen ist eine vielversprechende Alternative zu seiner Rückgewinnung und Rückhaltung im Reaktionsmedium. Dieser Zusammenschluss ermöglicht auch die Verringerung von Membranfouling durch den Abbau der Foulants über den Katalysator, wodurch ein stabiler Permeatfluss aufrechterhalten und der Energieverbrauch minimiert wird.

Eine der Neuheiten dieses Projekts ist die Entwicklung und Bewertung der Leistung photokatalytischer Membranen (PM), bestehend aus recycelten Membranen (UO-Membran nach Lebensdauer in UF/MF-Membran umgewandelt), TiO_2-Nanopartikeln, die auf umweltfreundlicherem Weg synthetisiert wurden, und Graphenoxid (GO). Dazu werden fünf Schritte adressiert. Der erste besteht aus der Synthese und Charakterisierung der PM und der vorläufigen Entfernungs-/Abbautests von Farbstoffen, sowie der synthetischen Matrix von pharmazeutischen Wirkstoffen (PhACs). Der zweite Schritt betrifft die Bewertung der Fähigkeit der Membran, ECs aus kommunalem Abwasser nach der Sekundärbehandlung zu entfernen. Im dritten wird die Leistung des Systems mit immobilisiertem und suspendiertem Katalysator bewertet. Viertens werden die Betriebsparameter optimiert und schließlich eine wirtschaftliche Analyse der Capex und Opex des Prozesses durchgeführt.

Vorläufige Ergebnisse zeigten eine Leistungssteigerung der mit Nanokompositen modifizierten Membranen (Farbentfernung ~100 % und nahezu konstanter Fluss) im Vergleich zu Membranen ohne Modifikation (Farbentfernung ~56 % und Flussverlust ca. 32 %). Zusätzlich konnte die modifizierte Membran während einer eineinhalbstündigen Permeation mit UV-C-Bestrahlung mehr als 90 % einiger PhACs entfernen.

Caique Oliveira ist ein externer Doktorand der Bundesuniversität Minas Gerais (Brasilien) und seine Doktorarbeit wird von Prof. Dr. Jörg Drewes an der TUM und Prof. Dr. Míriam Amaral betreut.



MARTINS OMOROGIE

(PH.D.)

MO.OMOROGIE
@TUM.DE

Synthese, Charakterisierung und Anwendung von funktionalen Materialien zur weitergehenden Behandlung von Spurenstoffen in Wasser

Zusammenfassend wurden funktionelle Materialien ($CeWO_4$/Plastik-Abfall-Solarkatalysatoren und MgO/nanokristalline Cellulose/SBA-16 mesoporöses Siliciumdioxid-Komposit) synthetisiert, um Umweltmikroplastik und Antibiotika/antivirale Medikamente in kontaminiertem Wasser zu reduzieren.

Während des dreimonatigen Aufenthalts von Dr. Omorogie wurden nicht nur Synthese, Charakterisierung und Anwendungsvorbereitung von $CeWO_4$/Abfall-Kunststoff-Solarkatalysatoren und MgO/nanokristalliner Cellulose/SBA-16 mesoporösem Silica-Komposit durchgeführt, sondern auch die Erstellung von drei Manuskripten, die bei internationalen per-reviewed Zeitschriften. Zwei Übersichtsmanuskripte und eine Forschungsarbeit über:

a) Global distribution, effects, and analytical techniques for environmental microplastics
b) Environmental Microplastics– Overview on the conventional & advanced oxidation processes for their removal
c) Surface equilibrium and dynamics for the adsorption of anionic dyes onto MnO_2/biomass micro-composite

Diese synthetisierten Solarkatalysatoren zeigen das Potenzial, Mikroplastik in der Umwelt zu fragmentieren. Außerdem sind die Mikroverbundwerkstoffe potenziell brauchbare Materialien für die Behandlung von mit Antibiotika und antiviralen Arzneimitteln kontaminiertem Wasser.

Abbildung 40: Exkursion mit Masterstudierenden Bau- und Umweltingenieuren auf der Kläranlage Garching am 4 August, 2021.

Dr. Omorogie war von Juni bis August am Lehrstuhl. Während seines Aufenthalts erhielt er die Zusage eines Stipendiums der Alexander von Humboldt-Stiftung. Daher wird er ab Mitte nächsten Jahres zurück sein, diesmal für 18 Monate.

Internationale Kooperationspartner

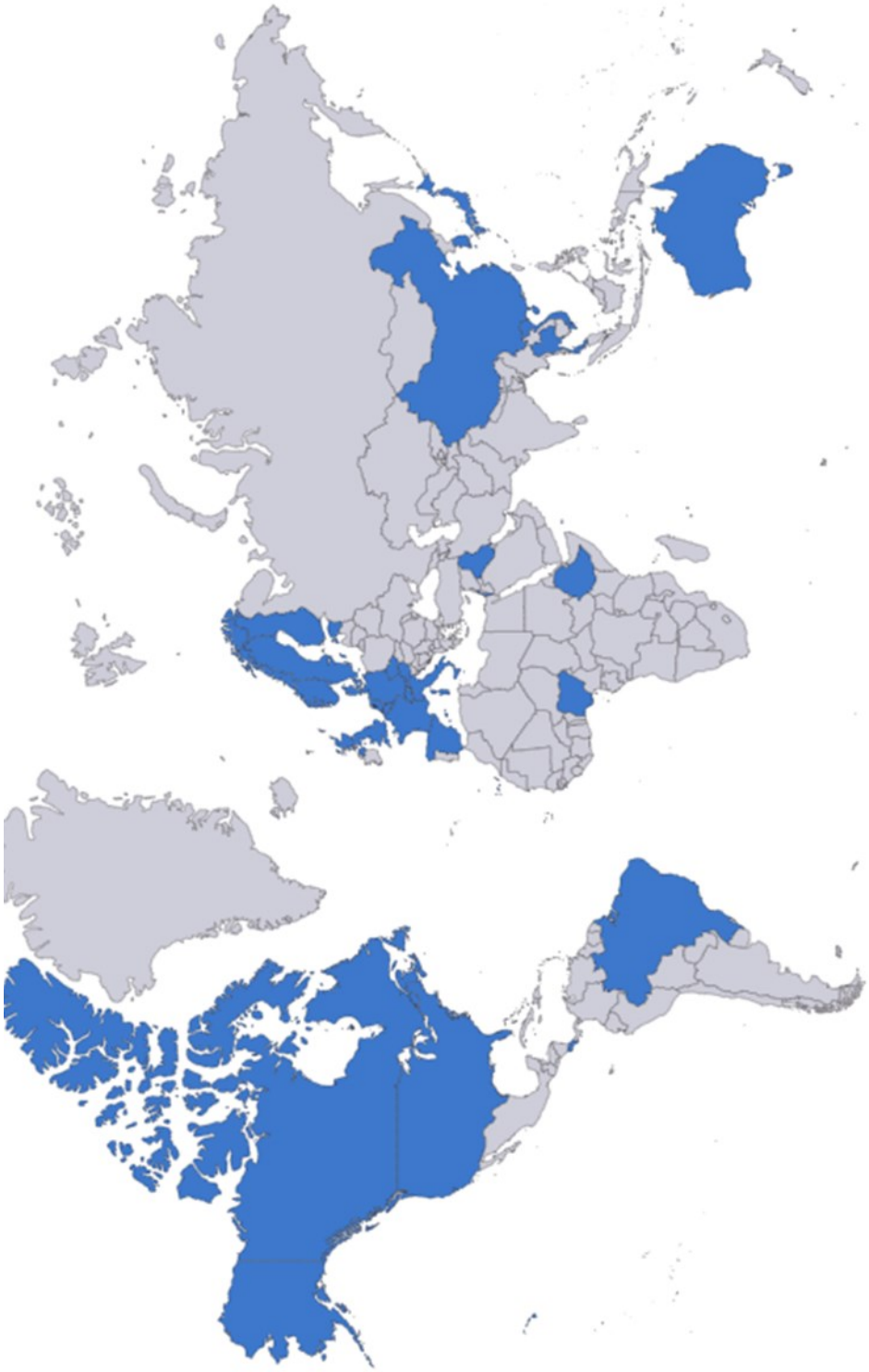


Abbildung 41: Internationale Kooperationspartner des Lehrstuhls.

Land	Institut
Äthiopien	Addis Ababa University
Australien	University of Queensland Curtin University University of New South Wales University of Sydney
Belgien	Flemish Institute for Technological Research Université catholique de Louvain University of Antwerp
Brasilien	Universidade Federal de Minas Gerais Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Universidade Federal da Bahia Universidade Federal de Viçosa Universidade Federal do Rio de Janeiro
China	Harbin Institute of Technology Tsinghua University
Costa Rica	University of Costa Rica
Dänemark	Aarhus University Aalborg University University of Southern Denmark
Estland	University of Tartu
Finnland	University of Jyväskylä
Frankreich	Université de Montpellier
Japan	Yokohama National University Toho University Hosei University
Kanada	Université du Québec à Chicoutimi Université Laval
Niederlande	Delft University of Technology
Nigeria	Adekunle Ajasin University, Akungba
Norwegen	University of Oslo
Schweden	University of Gothenburg Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala University Karolinska Institutet KTH Royal Institute of Technology Stockholm University Chalmers University of Technology
Schweiz	Swiss Federal Institute of Technology Lausanne Swiss Federal Institute of Technology Zurich
Singapur	Nanyang Technological University National University of Singapore
Spanien	University of Barcelona
Südkorea	Seoul National University Chonnam National University
Thailand	Mae Fah Luang University
Tschechische Republik	Czech Academy of Sciences University of Chemistry and Technology, Prague Charles University
Vereinigte Staaten	University of Colorado Boulder Colorado School of Mines University of Arizona University of California at Berkeley University of Wisconsin-Madison University of Michigan, Ann Arbor
Vereinigtes Königreich	Cranfield University Brunel University London The James Hutton Institute University of Aberdeen University of Plymouth Aberystwyth University

Nationale & Internationale Gremienarbeit

DWA-, IWA- und internationale Arbeitsgruppen

Brigitte Helmreich ist derzeit aktiv tätig in verschiedenen Arbeitsgruppen der DWA. Sie ist stellvertretende Obfrau des **DWA-Fachausschusses ES-3** „Anlagenbezogene Planung“, Sprecherin der Arbeitsgruppe **DWA-ES-3.1** „*Versickerung von Niederschlagswasser*“, Mitglied der Arbeitsgruppe **DWA-ES-3.11 „***Multifunktionale Flächen*“ **sowie** Mitglied der Arbeitsgruppe **DWA-ES-3.7** *„Dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung“.* Zudem ist sie aktives Mitglied im **DWA-Fachausschuss IG-2** „Branchenspezifische Industrieabwässer und Abfälle“**.**

Jörg E. Drewes engagiert sich im **DWA-Fachausschuss KA-8** *„Weitergehende Abwasserbehandlung“*, in den **DWA-Arbeitsgruppen Biz 11.4** *„Internationale Wasserwiederverwendung“* sowie **KA-8.1** *„Anthropogene Stoffe im Wasserkreislauf“ und* ***KA-8.4*** *‚Wasserwiederverwendung‘*. Er ist weiterhin im Management Committee der **IWA Water Reuse Specialist Group** tätig sowie im **Strategic Council** der International Water Association (IWA). Herr Drewes ist weiterhin Mitglied der **Trinkwasserkommission** des BMG/Umweltbundesamtes. Er fungierte auch als **Sprecher der Expertenkommission** ‚Wasserversorgung in Bayern‘ der Bayerischen Staatsregierung. Er ist der Sprecher der Expertenkommission *‚Chemicals of Emerging Concern in Ambient Waters‘* des **California State Water Resources Control Board, USA** und Mitglied in der Expertenkommission ‚Proposed Criteria for Direct Potable Reuse in California’ des **National Water Research Institute (NWRI), USA**.

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

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.

Zeitschriften Redakteur

Jörg E. Drewes ist seit 2020 Associate Editor der Zeitschrift *ACS Environmental Engineering and Technology Water*.

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

Konrad Koch und **Uwe Hübner** sind Gast-Editoren der Zeitschrift *Water* für Spezialausgabe zu den Themen “Biomethane Potential Tests - A Key Tool for Anaerobic Digestion Research and Practice” und „Oxidative Processes in Water and Wastewater Treatment Systems“.

Nachwuchsförderung / Workshops / Sonstige Aktivitäten

Wir freuen uns, dass die **Roland-Mall-Stiftung** in 2021 drei begabten Studierenden aus dem Bereich Wasser und Umwelt ein Stipendium von monatlich 500 € über die gesamte Regelstudienzeit des Masterstudiums überreichen konnte. Die ausgewählten Studierenden, Frau **Lilian Busse**, Herr **Poojesh Bertram-Mohammadi** und Herr **Thomas Obermaier**, wurden aufgrund ihres bisherigen Engagements und Werdegangs ausgesucht.

Scienclisten

Im Jahr 2021 wurden auf dem Arbeitsweg insgesamt über 21.925 km durch die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft zusammen geradelt. Dies entspricht einer CO_2-Einsparung von rd. 3,2 Tonnen im Vergleich zum Auto bzw. 8 Tonnen im Vergleich zum Flugzeug (economy). Ziel ist es den Gesamt- sowie den Einzelbetrag im Jahr 2022 weiter zu erhöhen. Die höchste Einzelkilometerleistung erzielte letztes Jahr Dr. Konrad Koch, wofür er mit dem Scienclisten Cup des Lehrstuhls ausgezeichnet wurde.

Geplante Veranstaltungen in 2022

32. Wassertechnisches Seminar, 23. Februar 2022, Online-Seminar: Pathogene und antibiotikaresistente Bakterien im Wasserkreislauf

In den letzten Jahren hat sich das Spektrum an analytischen Verfahren zur Identifizierung und Quantifizierung von Mikroorganismen und Viren (=Bioanalytik) rasant weiterentwickelt. Die vom Gesetzgeber oftmals geforderte Quantifizierung von Bakterien mit Kultivierungsmethoden stehen heutzutage moderne Methoden entgegen, welche in kurzer Zeit die Identität, die Quantität, die Vitalität und die Diversität an Mikroorganismen und Viren erkennen.

Spezifische pathogene Bakterien und Viren sowie antibiotikaresistente Bakterien können innerhalb weniger Stunden bestimmt werden. Omics-Methoden wie z.B. Next Generation Sequencing oder Microarrays ermöglichen eine hoch differenzierte Analyse in der Diversität von Bakterien und Viren.

All diese Methoden haben sich in der medizinischen Diagnostik durchgesetzt oder ermöglichen zumindest Forschung auf höchstem Niveau. Aus diesem Grund sollten diese Methoden zukünftig für die mikrobiologische Wasseranalytik genutzt werden können und in die Praxis übertragen werden.

In unserem Seminar wollen wir den Übertrag von der Wissenschaft in die Praxis diskutieren. Es ist enorm wichtig, dass die neuen Methoden verlässliche Ergebnisse liefern.

Schlussendlich sollte die Gesamtheit des Wasserkreislaufes mit dem Bezug auf Menschen und Tieren (One-Health-Ansatz der EU) betrachtet werden. Dies wird insbesondere hinsichtlich des Klimawandels und die Einschränkung der Ressource Wasser immer mehr von Bedeutung sein.

Anmeldung über https://www.cee.ed.tum.de/sww/wts32/

49. Abwassertechnisches Seminar, 5. Juli 2022, Präsenz-Seminar: Wasserwiederverwendung – Potential und Anwendungen in Deutschland

Diese virtuelle Veranstaltung gibt einen Überblick über aktuelle gesetzliche Entwicklungen einer Wasserwiederverwendung in Europa und Deutschland und vermittelt einen Einblick in das Potential dieser Wassernutzung unterfüttert durch Berichte von Anwendungen und Planungen in Deutschland.

Publikationen

Wissenschaftliche Zeitschriften (Peer-reviewed)

1) Arcanjo, G.S.; Ricci, B.C.; dos Santos, C.R.; Costa, F.C.R.; Silva, U.C.M.; Mounteer, A.H.; Koch, K.; da Silva, P.R.; Santos, V.L.; Amaral, M.C.S. (2021): Effective removal of pharmaceutical compounds and estrogenic activity by a hybrid anaerobic osmotic membrane bioreactor – Membrane distillation system treating municipal sewage. Chemical Engineering Journal 416, 129151.
2) Bein, E.; Zucker, I.; Drewes, J.E.; Hübner, U. (2021): Ozone membrane contactors for water and wastewater treatment: A critical review on materials selection, mass transfer and process design. Chemical Engineering Journal 413, 127393.
3) Costa, F.C.R.; Ricci, B.C.; Teodoro, B.; Koch, K.; Drewes, J.E.; Amaral, M.C.S. (2021): Biofouling in membrane distillation applications - a review. Desalination 516, 115241.
4) Dos Santos, C.R.; Arcanjo, G.S.; de Souza Santos, L.V.; Koch, K.; Amaral, M.C.S (2021): Aquatic concentration and risk assessment of pharmaceutically active compounds in the environment. Environmental Pollution 290, 118049.
5) Duan, H.; Zhao, Y.; Koch, K.; Wells, G.F.; Zheng, M.; Yuan, Z.; Ye, L. (2021): Insights into Nitrous Oxide Mitigation Strategies in Wastewater Treatment and Challenges for Wider Implementation. Environmental Science & Technology 55 (11), 7208-7224.
6) Fajnorová, S.; Sprenger, C.; Hermes, N.; Ternes, T.A.; Sala, L.; Miehe, U.; Drewes, J.E.; Hübner, U. (2021): Assessment of Full-Scale Indirect Potable Water Reuse in El Port de la Selva, Spain. Water 13 (3), 325.
7) Fenner, K.; Elsner, M.; Lueders, T.; McLachlan, M.S.; Wackett, L.P.; Zimmermann, M.; Drewes, J.E. (2021): Methodological Advances to Study Contaminant Biotransformation: New Prospects for Understanding and Reducing Environmental Persistence? ACS ES&T Water 1 (7), 1541-1554.
8) Filter, J.; Zhiteneva, V.; Vick, C.; Ruhl, A.S.; Jekel, M.; Hübner, U.; Drewes, J.E. (2021): Varying attenuation of trace organic chemicals in natural treatment systems – A review of key influential factors. Chemosphere 274, 129774.
9) Funck, M.; Al-Azzawi, M.M.S.; Yildirim, A.; Knoop, O.; Schmidt, T.C.; Drewes, J.E.; Tuerk, J. (2021): Release of microplastic particles to the aquatic environment via wastewater treatment plants: The impact of sand filters as tertiary treatment. Chemical Engineering Journal 426, 130933.
10) Gondhalekar, D.; Drewes, J.E. (2021): Infrastructure shaming and consequences for management of urban WEF Security Nexus in China and India. Water 13 (3), 267.
11) Heeger, F.; Bourne, E.C.; Wurzbacher, C.; Funke, E.; Lipzen, A.; He, G.; Ng, V.; Grigoriev, I.V.; Schlosser, D.; Monaghan, M.T. (2021): Evidence for Lignocellulose-Decomposing Enzymes in the Genome and Transcriptome of the Aquatic Hyphomycete *Clavariopsis aquatica*. Journal of Fungi 7 (10), 854.
12) Hellauer, K.; Michel, P.; Holland, S.I.; Hübner, U.; Drewes, J.E.; Lauro, F.M.; Manefield, M.J. (2021): Inferring trophic conditions in managed aquifer recharge systems from metagenomic data. Science of The Total Environment 772, 145512.
13) Helmreich, B. (2021): Rainwater Management in Urban Areas. Water 13 (8), 1096.
14) Hollinger, C.; Astals, S.; Fruteau de Laclos, H.; Hafner, S.D.; Koch, K.; Weinrich, S. (2021): Towards a Standardization of Biomethane Potential Tests: a Commentary. Water Sci Technol 83 (1), 247–250.
15) Hübner, U.; Wolff, D.; Achermann, S.; Drewes, J.E.; Wick, A.; Fenner, K. (2021): Analyzing (initial) biotransformation reactions as an organizing principle to unravel the extent of trace organic chemical biotransformation in biofiltration systems. ES&T Water 1 (8), 1921-1931.
16) Kagami, M.; Seto, K.; Nozaki, D.; Nakamura, T.; Wakana, H.; Wurzbacher, C. (2021): Single dominant diatom can host diverse parasitic fungi with different degree of host specificity. Limnology and Oceanography 66 (3), 667-677.

17) Karakurt-Fischer, S.; Rien, C.; Sanz-Prat, A.; Szewzyk, R.; Hübner, U.; Drewes, J.E.; Selinka, H.C. (2021): Fate and transport of viruses within a high rate plug-flow biofilter designed for non-membrane based indirect potable reuse applications. ES&T Water 1 (5), 1229-1239.

18) Kluge, M.; Wauthy, M.; Clemmensen, K.E.; Wurzbacher, C.; Hawkes, J.A.; Einarsdottir, K.; Rautio, M.; Stenlid, J.; Peura, S. (2021): Declining fungal diversity in Arctic freshwaters along a permafrost thaw gradient. Global Change Biology 27 (22), 5889-5906.

19) Kluge, M.; Wurzbacher, C.; Wauthy, M.; Clemmensen, K.E.; Hawkes, J.A.; Einarsdottir, K.; Stenlid, J.; Peura, S. (2021): Community composition of aquatic fungi across the thawing Arctic. Scientific Data 8, 211.

20) Liguori, R.; Rommel, S.H; Bengtsson-Palme, J.; Helmreich, B.; Wurzbacher, C. (2021): Microbial retention and resistances in stormwater quality improvement devices treating road runoff. FEMS Microbes 2, xtab 008.

21) Lippert, T.; Bandelin, J.; Vogl, D.; Tesieh, Z.A.; Wild, T.; Drewes, J.E.; Koch, K. (2021): Full-Scale Assessment of Ultrasonic Sewage Sludge Pretreatment Using a Novel Double-Tube Reactor. ACS ES&T Engineering 2021 1 (2), 298-309.

22) Mohr, M.; Dockhorn, T.; Drewes, J.E.; Karwat, S.; Lackner, S.; Lotz, B.; Nahrstedt, A.; Nocker, A.; Schramm, E.; Zimmermann, M. (2021): Assuring water quality along multi-barrier treatment systems for agricultural water reuse. Journal of Water Reuse and Desalination 10 (4): 332–346.

23) Muntau, M.; Lebuhn, M.; Polag, D.; Bajón-Fernández, Y.; Koch, K. (2021): Effects of CO2 enrichment on the anaerobic digestion of sewage sludge in continuously operated fermenters. Bioresource Technology 332, 125147.

24) Paez-Curtidor, N.; Gondhalekar, D.; Drewes J.E. (2021): Application of the Water-Energy-Food Nexus Approach to the Climate-Resilient Water Safety Plan of Leh Town, India. Sustainability 13 (19), 10550.

25) Reichel, J.; Graßmann, J.; Knoop, O.; Drewes, J.E.; Letzel, T. (2021): Organic Contaminants and Interactions with Micro- and Nano-Plastics in the Aqueous Environment: Review of Analytical Methods Molecules 26 (4), 1164.

26) Ricci, B.C.; Arcanjo, G.S.; Moreira, V.R.; Lebron, Y.A.R.; Koch, K.; Costa, F.C.R.; Ferreira, B.P.; Lisboa, F.L.C.; Miranda, L.D.; de Faria, C.V.; Lange, L.C.; Amaral, M.C.S. (2021): A novel submerged anaerobic osmotic membrane bioreactor coupled to membrane distillation for water reclamation from municipal wastewater. Chemical Engineering Journal 414, 128645.

27) Rommel, S.H.; Stinshoff, P.; Helmreich, B. (2021): Sequential extraction of heavy metals from sorptive filter media and sediments trapped in stormwater quality improvement devices for road runoff. Science of The Total Environment 782, 14687.

28) Rossmann, K.; Clasen, R.; Münch, M.; Wurzbacher, C.; Tiehm, A.; Drewes, J.E. (2021): 2021 SARS-CoV-2 Crisis Management with a Wastewater Early-Warning System in the Bavarian District of Berchtesgadener Land, Germany. Deutsches Ärzteblatt International 118 (27-28), 479-480.

29) Schwaller, C.; Hoffmann, G.; Hiller, C.X.; Helmreich, B.; Drewes, J.E. (2021): Inline dosing of powdered activated carbon and coagulant prior to ultrafiltration at pilot-scale – Effects on trace organic chemical removal and operational stability. Chemical Engineering Journal 414, 128801.

30) Schwaller, C.; Keller, Y.; Helmreich, B.; Drewes, J.E. (2021): Estimating the agricultural irrigation demand for planning of non-potable water reuse projects. Agricultural Water Management 244, 106529.

31) Silva, A.F.R.; Brasil, Y.L.; Koch, K.; Amaral, M.C.S. (2021): Resource recovery from sugarcane vinasse by anaerobic digestion – A review. Journal of Environmental Management 295, 113137.

32) Spieler, M.; Muffler, L.; Drewes, J.E. (2021): Wasserrechtliche Rahmenbedingungen der Wasserwiederverwendung in Deutschland (Teil 2). Korrespondenz Abwasser 68 (1).

33) Strassert, J.; Wurzbacher, C.; Hervé, V.; Antany, T.; Brune, A.; Radek, R (2021): Long rDNA amplicon sequencing of insect-infecting nephridiophagids reveals their affiliation to the Chytridiomycota and a potential to switch between hosts. Scientific reports 11 (1), 396.

34) Vega-Garcia, P.; Schwerd, R.; Schwitalla, C.; Johann, S.; Scherer, C.; Helmreich, B. (2021): Leaching prediction for vertical test panels coated with plaster and mortars exposed under real conditions by a PHREEQC leaching model. Chemosphere 280, 130657.

35) Vinardell, S.; Astals, S.; Koch, K.; Mata-Alvarez, J.; Dosta, J. (2021): Co-digestion of sewage sludge and food waste in a wastewater treatment plant based on mainstream anaerobic membrane bioreactor technology: A techno-economic evaluation. Bioresource Technology 330, 124978.

36) Voigt, K.; James, T.Y.; Kirk, P.M.; Santiago, A.L.D.A.; Waldman, B.; Griffith, G.W.; Fu, M.; Radek, R.; Strassert, J.F.; Wurzbacher, C.; Jerônimo, G.H. (2021): Early-diverging fungal phyla: taxonomy, species concept, ecology, distribution, anthropogenic impact, and novel phylogenetic proposals. Fungal Diversity 109, 59-98.

37) Wünsch, R.; Mayer, C.; Plattner, J.; Eugster, F.; Wülser, R.; Gebhardt, J.; Hübner, U.; Canonica, S.; Wintgens, T.; von Gunten, U. (2021): Micropollutants as internal probe compounds to assess UV fluence and hydroxyl radical exposure in UV/H_2O_2 treatment. Water Research 195, 116940.

38) Zhiteneva, V.; Carvajal, G.; Shehata, O.; Hübner, U.; Drewes, J.E. (2021): Quantitative microbial risk assessment of a non-membrane based indirect potable water reuse system using Bayesian networks. Science of The Total Environment 780, 146462.

39) Zhiteneva, V.; Drewes, J.E.; Hübner, U. (2021): Removal of trace organic chemicals during long-term biofilter operation. ES&T Water 1 (2), 300-308.

Andere wissenschaftliche Zeitschriften und Buchbeiträge

1) Cao, L.; Wolff, D.; Liguori, R.; Wurzbacher, C.; Wick, A. (2021): Microbial biomass, composition, and functions are responsible for the differential removal of trace organic chemicals in biofiltration systems.

2) Drewes, J.E. (2021): Klimawandel und Wasserverfügbarkeit. M. Ferber, H. Kaul (Hrsg). Bekenntnisse zur Verantwortung für die Umwelt. Hanns-Seidel Stiftung. Lau Verlag. 277-294.

3) Drewes, J.E.; Knoop, O. (2021): Neue Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung durch perfluorierte Verbindungen (PFAS)?. GWF Wasser/Abwasser 162 (4), 17-18.

4) Gondhalekar, D.; Hu, H.Y.; Chen, Z.; Tayal, S.; Bekchanov, M.; Sauer, J.; Vrachioli, M.; Al-Azzawi, M.; Drewes, J.E.; Patalong, H.; Uhl, H.D.; Grambow M. (2021): The emerging environmental economics of the Water-Energy-Food Nexus with water reclamation with resource recovery as key: the case of China, India and Germany. The Oxford Encyclopedia of Environmental Economics, Oxford University Press.

5) Helmreich, B., Müller, J. (2021): Die öffentliche Kanalisation in Bayern – Zustand und Investitionsbedarf. Mitgliederrundbrief, DWA-Landesverband Bayern 44, 2, S. 20-22.

6) Ho, J.; Stange, C.; Suhrborg, R.; Wurzbacher, C.; Drewes, J. E.; Tiehm, A. (2021): SARS-CoV-2 wastewater surveillance in Germany: long-term PCR monitoring, suitability of primer/probe combinations and biomarker stability.

7) Kluge, M.; Wurzbacher, C.; Wauthy, M.; Clemmensen, K.E.; Hawkes, J.; Einarsdottir, K.; Stenlid, J.; Peura, S. (2021): Fungal community composition along a gradient of permafrost thaw.

8) Knoop, O.; Drewes, J.E. (2021): Neue Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung durch perfluorierte Verbindungen (PFAS)? Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft Technische Universität München, München.

9) Knoop, O.; Schwaferts, C.; Al-Azzawi M.S.M.; Kunaschk, M.; Funck, M.; Türk, J.; Meier, F.; Elsner, M.; Ivleva, I.P.; Drewes, J.E. (2021): Analytik von Mikro- und Submikropartikeln aus Wasserproben: Status Quo und Ausblick, Korrespondenz Wasserwirtschaft 14, 2021, Nr. 3.

10) Liguori, R.; Rommel, S.H.; Bengtsson-Palme, J.; Helmreich, B.; Wurzbacher, C. (2021): Microbial retention and resistances in stormwater quality improvement devices treating road runoff. bioRxiv.

11) Oladoja N.A.; Helmreich B. (2021): Oxyanions in Aqua Systems—Friends or Foes? In: Oladoja N.A., Unuabonah E.I. (eds) Progress and Prospects in the Management of Oxyanion Polluted Aqua

Systems. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer, Cham. Online-ISBN: 978-3-030-70757-6.

12) Roßmann, K.; Großmann, G.; Frangoulidis, D.; Clasen, R.; Münch, M.; Hasenknopf, M.; Wurzbacher, C.; Tiehm, A.; Stange, C.; Ho, J.; Woermann, M. (2021): Innovative SARS-CoV-2 crisis management in the public health sector: Corona dashboard and wastewater surveillance using the example of Berchtesgadener Land, Germany. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz.

Konferenzen (Präsentationen)

1) Drewes, J.E. (2021): Ist die Wasserwiederverwendung eine Planungsoption für die zukünftige Wasserwirtschaft in Deutschland? 54. Essener Tagung. 9.-10. June 2021, online.
2) Drewes, J.E. (2021): Klimawandel und Trockenheit – Konsequenzen für eine sichere Wasserzukunft in Bayern. 6. Seeoner Begegnung ‚Lebenselexier Wasser', Bayerische Staatskanzlei. 14. June 2021.
3) Drewes, J.E. (2021): Neue Grenzwerte für Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) und Relevanz für die Trinkwasseraufbereitung. 29. Wasserhygienetage. 4.-5. February 2021, online.
4) Drewes, J.E. (2021): Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS): Konventionelle Verfahren der Trinkwasseraufbereitung. 31. Wassertechnisches Seminar an der TU München. 3. March 2021, online.
5) Drewes, J.E. (2021): Wasserwiederverwendung in Europa: Neue Entwicklungen, Herausforderungen und Chancen. Informationsveranstaltung im Projekt AQARES. 20. January 2021, online.
6) Drewes, J.E.; Hiller, C.; Schwaller, C. (2021): Internationale Aktivitäten zur Begrenzung und Verbreitung von Antibiotikaresistenzen über Abwasser in die Umwelt. DGMT Stakeholder Dialog – Multiresistente Keime im Abwasser und Oberflächenwasser. 2. March 2021, online.
7) Gondhalekar, D. (2021): Adopting water reclamation with inte- grated resource recovery as the cornerstone to plan climate change-resilient cities. Webinar on Integrated Water and Wastewater Management. 22. March 2021, online.
8) Gondhalekar, D. (2021): Nexus City: Water reclamation and resource recovery towards zero carbon urban development, Asian Development Bank Water Sector Group, Manila. 16. September 2021, online.
9) Gondhalekar, D. (2021): Planning the Urban Water-Energy-Food (WEF) Nexus Training Session / Innovation Lab, UN-Habitat Innovate4Cities conference. 14. October 2021, online.
10) Gondhalekar, D. (2021): Towards Zero Carbon or even better: Rejuvenation Cities, MIT Alumni Association "Climate Change Matters" Symposium, Stuttgart. 16. October 2021.
11) Gondhalekar, D. (2021): Urban water reclamation and reuse as a key Water-Energy-Food (WEF) Nexus opportunity in Munich, Germany and Leh, India. TREE of LIFE Landscape Webinar Series, University of Tehran, Iran. 24. February 2021, online.
12) Gondhalekar, D. (2021): Urban water reclamation and reuse as key Water-Energy-Food (WEF) Nexus synergy potential, 9th German-Brazilian Dialogue on Science, Research & Innovation on „Cities & Climate ", German House of Research & Innovation (DWIH), São Paulo. 17. May 2021, online.
13) Gondhalekar, D.; Saravanan, V.S.; Drewes J.E. (2021): Zero Carbon City Munich, through Water-Energy-Food (WEF) Nexus-based infrastructure development. German Sustainability Science Summit. 9. July 2021, online.
14) Hafner, S.; Astals, S.; Fruteau de Laclos, H.; Koch, K.; Weinrich, S.; Holliger, C. (2021): Making BMP measurement more reproducible: Results, recommendations, and resources from the IIS-BMP project. 5th International Conference on Monitoring & Process Control of Anaerobic Digestion Processes. 23-25. March 2021, online.

15) Helmreich B. (2021): Überflutungsvorsorge durch nachhaltiges Regenwassermanagement. Bayerischer Gemeindetag, Oberhaching. 1. December 2021.

16) Helmreich, B (2021): Wie gelingt eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung. Campus Talks. April 2021, TV report.

17) Helmreich, B. (2021): Aktueller Stand DWA-A 138-1. Grundstückentwässerungstage, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef. 03.-04. February 2021, online.

18) Helmreich, B. (2021): Aktueller Stand DWA-A 138-1. RegenwasserTage, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef. 22.-23. June 2021, online.

19) Helmreich, B. (2021): Forschung und Normen bei Versickerungsanlagen. Fortbildungsreihe Klimagerechtes Bauen, München. 26. January 2021, online.

20) Helmreich, B. (2021): Regenwasserversickerung ins Grundwasser nach dem DWA-A 138-1 – Was ist neu? 48. Abwassertechnisches Seminar Regenwasserbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels, Garching. 14. July 2021, online.

21) Helmreich, B. (2021): Tools der wasserresilienten Stadt – Regenwasserbewirtschaftung. Public Planning Lab, Interdisziplinäres Seminar des Baureferendariats, Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr. 6. December 2021, online.

22) Helmreich, B. (2021): Vorreinigung von Niederschlagsabflüssen im Straßenraum. Seminar Blue Green Streets -Regenwasserbewirtschaftung an urbanen Baumstandorten. HafenCity Universität Hamburg, Hamburg. 15.-16. February 2021, online.

23) Helmreich, B.; Müller, J. (2021): Neue Ergebnisse zum Zustand der Kanalisation in Bayern. DWA-Landesverbandstagung Bayern, Wasserwirtschaft im Blickpunkt – Daseinsvorsorge in Zeiten des Wandels, Weiden. 5.-6. October 2021, online.

24) Lebuhn, M.; Mößnang, B.; Strübing, D.; Koch, K. (2021): Convergent development of microbiomes from different inocula in thermophilic biomethanation of H_2 and CO_2. International Symposium on Anaerobic Microbiology. 16.-17. June 2021, online.

25) Lesch, H.; Helmreich, B.; Pauleit S. (2021): Zukunft Schwammstadt: wie wir mit Wetter-Extremen leben können. Morgen beginnt heute - der Umwelt und Verbraucher Podcast. 19. January 2021, Podcast.

26) Lippert, T.; Helmreich, B.; Drewes, J. (2021): Innovative Konzepte zur Elimination organischer Spurenstoffe am Beispiel PFAS - Projekt „Geschlossener Wasserkreislauf in der Industrie – Abwasserfreie Industrieproduktion“. 16. Bayerische Wassertage 2021, Augsburg. 24.-25. March 2021, online.

27) Lippert, T.; Lowicki, M.; Helmreich, B.; Drewes, J.E.; Frank, D.; Track, T. (2021): Entwicklung zukunftsfähiger Verfahrenskombinationen zur PFAS-Elimination in Industrieabwässern unter Nutzung von Multi Criteria Decision Aid (MCDA) Tools. Industrietage Wassertechnik. 24. November 2021, online.

28) Nawaz, A.; Wurzbacher, C. (2021): Back to the Future: Exploration and Identification of Aquatic Fungi. Symposium for European Freshwater Science. July 2021, online.

29) Sperle, P.; Drewes, J.; Wurzbacher, C.; Skibinski, B. (2021): UVC-LED based pretreatment for biofouling control in desalination processes with thin-film composite membranes. International Conference on UV LED Technologies & Applications. April 2022, online.

30) Stüer-Patowsky, K.; Gega, E.; Wurzbacher, C. (2021): Progressive Succession of Fungi in Biofilms of Down-flow Hanging Sponge Reactors. World Microbe Forum. June 2021, poster online.

31) Vega-Garcia, P.; Schwerd, R.; Helmreich, B. (2021): Development of a model to assess the environmental properties of common outdoor plasters and mortars. 15th International Conference on Urban Drainage, Melbourne, Australia. 25.-28. October 2021, online.

Abschlussarbeiten

Habilitationen

Hübner, Uwe: Advanced water treatment processes and water recycling.

Dissertationen

1) Bandelin, Jochen: Increasing the Energy Efficiency of Ultrasonic Pre-treatment Systems in Wastewater Treatment Plants.
2) Lippert, Thomas: Sewage Sludge Disintegration Using Innovative Ultrasound Reactors With Surface Transducers - Performance Assessment and Optimization of Operating Conditions.
3) Rommel, Steffen: Influencing Factors on the Treatment of Road Runoff using Decentralized Stormwater Quality Improvement Devices.
4) Wahman, Rofida: Pathway Effect Studies of Different Environmental Pollutants on *Lemna minor* and *Phragmites australis* Metabolism Using Polarity-Extended Chromatographic Separation With Mass Spectrometric Detection.

Masterarbeiten

1) Baba, Mohammed Majiya: Vergleich der Leistung von Füllkörpern in anaeroben Rieselbettreaktoren.
2) Bamgboye, Taiwo Temitope: Wastewater Reclamation and Reuse in Sub Saharan Africa Countries: Challenges and Opportunities in Nigeria
3) Becker, Lukas: Chancen und Herausforderungen der Avocado-Produktion in Mitteleuropa: WEF-Nexus-Potenzial in Bayern und der Metropolregion München.
4) Betianu, Radu Mihai: Biologische Umwandlung von organischen Spurenstoffen in einem sequenziell gesteuerten Grundwasseranreicherungssystem unter Verwendung von Algen als zwischengeschaltetem Oxidationsprozess.
5) Böttcher, Theresa: Einfluss der CO_2-Anreicherung auf die Leistung und Stabilität der anaeroben Vergärung bei hohen Raumbelastungsraten.
6) Carter, Kaitlyn: Isostrukturelle wasserstabile metallorganische Frameworks (MOFs) als PFAS-Adsorbentien: Korrelation zwischen Struktur und Leistung.
7) Degenhart, Julia: Eine kritische Literaturstudie zur stofflichen Belastung der Niederschlagsabflüsse von Nichtmetall-Dächern.
8) Fianelli, Francesco: Inbetriebnahme eines thermophilen Rieselbettreaktors und Optimierung der Prozessbedingungen.
9) Franco, Lukas: Formulierung eines Systemdynamikmodells zur Charakterisierung des urbanen Wasser-Energie-Nahrung-Nexus: Eine Fallstudie des Stadtteils Maxvorstadt in München, Deutschland.
10) Galster, Susanne: Kupfer und Zink als Dachmaterialien - Eine Überprüfung des Auftretens von Schadstoffen in Niederschlagsabflüssen und der Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffe.
11) Hasan, Syed Sarfraz: Kosten-Nutzen-Analyse des WEF Nexus-Ansatzes in Maxvorstadt, München, Deutschland: Einführung dezentraler Wasserwiederverwendung mit Ressourcenrückgewinnung als duales System.
12) Hernandez Robles, Gabriel: Machbarkeit der Generation von Energie mit Biogas im Haushalts-Maßstab; Bewertung der Auswirkungen der anaeroben Co-Vergärung von Belebtschlamm und Lebensmittelabfällen.

13) Janicek, Maximilian: Ermittlung des Fremdwasserreduktionpotentials durch Sanierung baulicher Schäden im Sammelkanal.
14) Karabulut, Özge: Nutzung landwirtschaftlicher Nebenprodukte als Rohstoff für die Biogasproduktion: Einfluss der Inokulumquelle und der Vorbehandlungsmethode auf das Biogaspotenzial und die Biogasproduktion.
15) Klier Rebecca: Abwasserent- und Trinkwasserversorgung im alpinen Gelände am Beispiel des Watzmann.
16) Kölle, Simon: Validierung des Systemdesigns für eine neuartige Ozonierungs-($^{18}O_3$)-Markierungsmethode.
17) Kurz, Johannes: Bewertung der Hemmwirkung von flüchtigen Fettsäuren in biochemischen Methanpotentialtests.
18) Lang, Camila: Entwurf eines Wasserwiederverwendungssystems mittels Constructed Wetlands: die Fallstudie Dar, Niger
19) Lechner, Johann: Test, Überprüfung und Bewertung eines neuartigen Bemessungsverfahrens für Langzeitspeicher von Niederschlagsabflüssen als Maßnahme zur Verbesserung des Wasserhaushalts und zur Klimaanpassung.
20) Lenert, Charlotte: Konzeption und Konstruktion eines automatisierten Wasserprobenahmesystems für den SMARTplus Bioreaktor.
21) Lok, Cheuk Sze Chelsea: Modellierung des Umweltpfads und des Verhaltens von Biozid-Transformationsprodukten aus externen Wärmedämmverbundsystemen (ETICS) von Fassaden.
22) Lowicki, Maximilian: Identifizierung geeigneter Behandlungsverfahren für PFAS-haltige Abwässer am Beispiel der chemischen Industrie.
23) Marciano, Pia: Auf dem Weg zur Bewertung des Wasser-Energie-Ernährungs-Gleichgewichts in Coimbatore City, Indien.
24) Marhoon, Ahmed: COVID-19, die Umwelt und Nachhaltigkeit: Auswirkungen, Folgerungen und der Wandel zu einer grünen Wirtschaft.
25) Md, Yasin: Verbesserte Gasströmungsbedingungen in einem anaeroben Rieselbettreaktor durch die Gleichstromkonfiguration.
26) Mirlach Andreas: Entwicklung einer Charakterisierungsprozedur für reflektierende UVC Reaktoren unter Verwendung von Aktinometrie und Biodosimetrie.
27) Mondorf, David: Nexus Wasser-Energie-Ernährungssicherheit in der kenianisch-ugandischen Grenzregion: Einfluss der Oberflächenwasserqualität auf die Trinkwasserversorgung im Flusseinzugsgebiet Sio-Malaba-Malakisi.
28) Nieß, Daniel: Neu etablierte mikrobielle Modellgemeinschaften mit geringer Komplexität - Wachstumsbeeinflussende Faktoren und Merkmale des biologischen Abbaus von TOrC.
29) Paez-Curtidor, Natalie: Anwendung des Water-Energy-Food Nexus in der Formulierung eines Klima-resilienten Water Safety Plans für Leh Stadt, Indien.
30) Petersen, Sophie: Ozonierung von Gabapentin: Reaktionskinetik und Bildung von Transformationsprodukten in wässriger Umgebung.
31) Röschert, Yul: Katalogisierung und Analyse von multifunktionalen Retentionsmaßnahmen im Kontext der wassersensiblen Siedlungsentwicklung.
32) Rossmanith, Christian: Reinigung von Abwasser aus der Epoxidharzherstellung.
33) Shahrour, Mahmoud: Erstellung von Abflusszeitreihen für die Abbildung von Wasserkraft; Beispielfall im urbs Modell: Europa.
34) Stoll, Clara: Konzept zur Verbesserung der Trinkwasserqualität an natürlichen Quellen in Entwicklungsländern.
35) Stoll, Jonas: Übersicht zum State-of-the-Art in der Vakuumerzeugung und Leitfaden zum Austausch von Flüssigkeitsringpumpen zugunsten trockenlaufender Vakuumpumpen.
36) Uchaikina, Anna: Variation von Prozessparametern zur Effizienzsteigerung einer Abwasserelektrolysezelle mit bordotierten Diamantelektroden.

37) Vongvicjhra, Nay: Bestimmung der Sorptionskapazität eines Filtermaterials zur Behandlung von Straßenabflüssen und des Effekts von Tausalzen auf die Schwermetallremobilisierung.

Studienarbeiten

1) Andalib, Afrina: Effizienzanalyse des Stofftransfers und der Exposition gegenüber Hydroxylradikalen bei porösen und nicht porösen Membrankontaktoren für die In-situ-Ozonierung und Peroxonbehandlung von Grundwasser.
2) Asamoah, Kwadwo Yeboah: Water Energy Food Nexus Projekt für Boki, Niger.
3) Basak, Nirjhar: Potential von erneuerbaren Energien in Leh, Indien: eine Auswertung mittels des Water-Energy-Food Nexus
4) Becker, Lukas: Restart of a Lab-Scale Continuous Anaerobic Digestion Experiment and Establishment of Steady-State Conditions.
5) Bergmann, Felix: Starkniederschlagssimulation und Bewässerungsberechnung bei Trockenperioden basierend auf einem wasserwirtschaftlichen Konzept für ein Wohnquartier der Zukunft.
6) Borges de Mendonça, Rodrigo: Wiederinbetriebnahme und Beschreibung einer Flat Sheet NF/RO Membrananlage im Labormaßstab.
7) Bruhse, Matthias: Einfluss von gelösten organischen Substanzen auf die Schwermetall-Adsorptionskapazität verschiedener Filtermaterialien für dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen.
8) Castillo Nolte, Alejandro: Urban Community Gardens als Strategie zur Abschwächung des Klimawandels im Kontext der urbanen Nahrungsmittelproduktion.
9) Colina, Andrijana: Wasserwiederverwendung mittels einer Pilotanlage mit natürlichem dezentralen Wasseraufbereitungsverfahren in Leh, Indien, mit Fokus auf landwirtschaftliche Bewässerung, Effizienz und Ökonomie.
10) Eder, Simon: Einsatz von multifunktionalen Böden in dezentralen Versickerungsanlagen wie Versickerungsmulden im urbanen Raum - Eine Literaturrecherche.
11) Fokkens, Kevin: CFD-Simulationen von röhrenförmigen Ultrafiltrationsmembranen im Meso- und Nanometer-Maßstab: Auswirkungen der Partikelkuchenschicht auf die Permeation mobiler genetischer Elemente.
12) Gega, Eva: Strategie und Monitoring von Schutzmaßnahmen als Teil eines Water Safety Plans für Leh, Indien.
13) Haas Goschenhofer, Sophie: Wasserhaushaltsmodellierung von Starkregenereignissen basierend auf einem wasserwirtschaftlichen Konzept für ein Wohnquartier der Zukunft.
14) Hillebrand, Veronika: Untersuchungen zum Stand der Energieversorgung von Kläranlagen.
15) Irshad, Umar: Nährstoffbedarf und mikrobielle Biozönose in anaeroben Rieselbettreaktoren.
16) Kaperoni, Marina: C40 Wettbewerb: Studenten erfinden Städte neu - Nachhaltige Gebäude in Balvanera Sur, Buenos Aires
17) Kim, Jiwon: Revitalisierung von Balvanera Sur - Wasser, grüne Infrastruktur, und mobile Applikation
18) Knabl, Magdalena: Potentielle ökologische Auswirkungen der städtischen und landwirtschaftlichen Bewässerung mit aufbereitetem Wasser.
19) Kordetzky, Christina: Untersuchung der Effektivität der Ozonierung mit vorgeschalteter Filtration auf der Kläranlage Gut Marienhof.
20) Kurz, Johannes: Eignung von Supermarktprodukten als Positivkontrollen für biochemische Methanpotentialtests.
21) Lang, Camilla: Risiko-Identifizierung und -Beurteilung für den Water Safety Plans für Leh, Indien.
22) Nieß, Daniel: Kultivierung und wachstumsbeeinflussende Faktoren von 18 aquatischen Pilzen und mikrobiellen Modellsystemen.

23) Ortega Fuerte, Andrea: Identifizierung und Klassifizierung von Wasser-Energie-Nahrungs-Nexus-Hubs in Lateinamerika.
24) Özal, Göksu Literaturrecherche zu Behandlungstechnologien für PFAS - Adsorptive & separative Verfahren.
25) Pakta, Arsa: Literaturrecherche und Zusammenarbeit mit der Greening Campus Initiative des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP), um die Technische Universität München (TUM) nachhaltig zu gestalten.
26) Philips, Harsha: Modellierung des Umweltverhaltens von Glyphosat und seines wesentlichen Metabolites AMPA.
27) Prasad, Meenakshi: Methoden für den destruktiven PFAS Abbau – eine Literaturstudie.
28) Rocha Santos, Giovanni: Management von Organozinn-Emissionen in der Plastikindustrie.
29) Röschert, Yul: Katalogisierung und Analyse von multifunktionalen Retentionsmaßnahmen im Kontext der wassersensiblen Siedlungsentwicklung
30) Rossmanith, Christian: Reduktion von TOC aus salinen Industrieabwässern durch Adsorption.
31) Saeed, Areeba: Integration eine Abfall Management und Recycling Konzepts für ein resilientes, wohnbares Balvanera Sur, Buenos Aires (C40 Wettbewerb)
32) Shaaban, Safenaz: Bewertung des Biomethanpotentials und der Hydrolysekonstante für verschiedene organische Reststoffe bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen.
33) Shadab, Saba: Dekarbonisierung öffentlicher Busse mit Biogas in den Städten Lille, Växjö und Augsburg: Ein WEF-Fallszenario.
34) Souf, Amr: Untersuchungen zum Effekt verschiedener Vorbehandlungsschritte auf die Adsorptionskapazität von Pulveraktivkohle bei der Entfernung von Spurenstoffen aus Kläranlagenablauf.
35) Speer, Anna: Fortführung des Modellaufbaus einer Schmutzfrachtberechnung für die Stadt Neuburg an der Donau.
36) Stoll, Jonas: Einsatz von Instrumenten zum Substanzwerterhalt von Infrastrukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung in europäischen Ländern am Beispiel Österreich und Schweiz.
37) Yasin, Md: Gasströmungsbedingungen in einem Rieselbettreaktor.

Bachelorarbeiten

1) Alt, Benedikt: Mykobiom (Pilzpopulationen) in natürlichen und künstlichen Feuchtgebieten.
2) Appelmann, Philipp: Hydroponische Landwirtschaft.
3) Höbenreich, Klara: Analyse der In- und Outputmessungen des Zweckverbands Klärwerk Steinhäule und des Zweckverbands Schlammverwertung Steinhäule.
4) Holzer, Joshua: Reinigungsstufe in der Abwasserreinigung: Gesetzliche Vorgaben, Verfahrensvarianten und Auswertung der Analysen der Pulveraktivkohleanlage zur Spurenstoffentfernung der Kläranlage Steinhäule.
5) Jesus, Jessica: Spurenstoffe aus Kläranlagen im Verhältnis zur mikrobiellen Zelle und deren Abbaumöglichkeiten.
6) Kick, Daniel: Einsatz von Baumrigolen bei der Klimaanpassung im Siedlungsgebiet.
7) Kleber, Max: Gründächer bei der Klimaanpassung im Siedlungsgebiet - Chancen und Risiko.
8) Kolb, Amelie: Extraktion von Astaxanthin aus der Mikroalge Haematococcus pluvialis mittels membrangestützter Flüssig-Flüssig Extraktion.
9) Kreitmair, Tobias: Untersuchungen zum Einfluss der Wassermatrix auf die Desinfektionswirkung von Ozon im Ablauf kommunaler Kläranlagen.
10) Mettin, Ramona: Länderspezifische Regelungen zum Umgang mit Niederschlagswasser in Deutschland.

11) Pena Islas, Maria Fernanda: Vergleich der Biogasaufbereitung in biologischen Ex-situ-Methanisierungsreaktoren.
12) Rennett, Nina: Auswertung langjähriger Betriebsdaten einer optimierten Sanierungsanlage für PAK-verunreinigtes Grundwasser.
13) Schelkopf, Melanie: Konzeptstudie über die Rückgewinnung von Phosphor als Vivianite aus Kläranlagen.
14) Steinert, Anna: Abwasserbasierte Epidemiologie zum Monitoring der SARS-CoV-2-Pandemie.
15) Stoß, Simon: Recherche polarer Substanzen aus Duschgelen zur Ergänzung einer Stoffdatenbank.
16) Weigenthaler, Verena: Klimaanpassung in Siedlungen - Konzept der wassersensiblen Stadtentwicklung als wasserwirtschaftliche Maßnahme.

Dissertationen und Auszeichnungen

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. Thomas Lippert** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 10. März 2021. Seine Arbeit mit dem Titel "*Sewage Sludge Disintegration Using Innovative Ultrasound Reactors With Surface Transducers - Performance Assessment and Optimization of Operating Conditions*" wurde von Frau Dr. Camilla Braguglia (Italian National Research Council), Herrn Prof. Jörg E. Drewes und Herrn PD Dr. Konrad Koch begutachtet.

Abbildung 42: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Thomas Lippert (Frau Dr. Braguglia war online dazu geschaltet).

Abbildung 43: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Steffen Rommel (Herr Prof. Dittmer war online zugeschaltet).

Herzlichen Glückwunsch an Herrn **Dr.-Ing. Steffen Rommel** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 7. Mai 2021. Seine Arbeit mit dem Titel "*Influencing Factors on the Treatment of Road Runoff Using Decentralized Stormwater Quality Improvement Devices*" wurde von Frau Prof. Brigitte Helmreich, Herrn Prof. Ulrich Dittmer, TU Kaiserslautern, und Herrn Prof. Markus Disse, TUM, begutachtet. Vorsitzender der Kommission war Herr Prof. Jörg E. Drewes.

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. Jochen Bandelin** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 2. Juli 2021. Seine Arbeit mit dem Titel "*Increasing the Energy Efficiency of Ultrasonic Pre-treatment Systems in Wastewater Treatment plants*" wurde von Frau Prof. Lise Appels (KU Leuven, Belgien) und Herrn PD Dr.-Ing. Konrad Koch begutachtet. Vorsitzender der Kommission war Herr Prof. Jörg E. Drewes.

Abbildung 44: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Jochen Bandelin (Frau Prof. Appels war online dazu geschaltet).

Abbildung 45: Promotionskomitee von Dr. rer. nat. Rofida Wahman

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr.-rer. nat. Rofida Wahman** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 23. September 2021. Ihre Arbeit mit dem Titel "*Pathway Effect Studies of Different Environmental Pollutants on Lemna minor and Phragmites australis Metabolism Using Polarity-Extended Chromatographic Separation with Mass Spectrometric Detection*" wurde von Herrn Dr. Thomas Letzel, Herrn Prof. Peter Schröder (Helmholtz Zentrum München) und Herrn Prof. Jörg E. Drewes begutachtet.

Wir freuen uns mit **Frau Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer** für die Auszeichnung ihrer Dissertation mit dem Promotionspreis 2021 des Bundes der Freunde der TU München e.V.

Abbildung 46: Verleihung des Promotionspreises 2021 an Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer durch den Bund der Freunde der TU München e.V.

Lehre

Unser Lehrstuhl bietet Vorlesungen für die Bachelorstudiengänge Umweltingenieurwesen und Bauingenieurwesen sowie für die Masterstudiengänge Environmental Engineering, Civil Engineering, Ingenieurökologie 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 Lehrveranstaltungen wurden 2021 angeboten:

Sommersemester

Bachelor

- Grundlagen Ökologie: Knoop, Oliver
- Kreislaufwirtschaft und Werkstoffe für nachhaltiges Bauen: Koch, Konrad
- Mikrobiologie: Wurzbacher, Christian
- Projektkurs Siedlungswasserwirtschaft: Drewes, Jörg
- Thermodynamik und Energietechnik Übung: Hübner, Uwe
- Thermodynamik und Energietechnik: Hübner, Uwe
- Umweltanalytik: Knoop, Oliver
- Umweltrecht: Spieler Martin (TUM-Lehrbeauftragter)

Master/PhD

- Advanced Water Treatment Engineering and Reuse: Drewes, Jörg
- Anaerobic Treatment and Energy Recovery: Koch, Konrad
- Applications of Urban Climate: Katzschner, Lutz (TUM-Lehrbeauftragter)
- Bewirtschaftung von Kanalnetzen und Regenwassermanagement: Helmreich, Brigitte
- Doktoranden und Masteranden Kolloquium – Proaktiv: Drewes, Jörg; Helmreich, Brigitte; Koch, K., Hübner, Uwe; Knoop, Oliver; Wurzbacher, Christian; Keilman-Gondhalekar, Daphne
- Industrial Wastewater Treatment and Reuse: Helmreich, Brigitte
- PhD Seminar SiWaWi: Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Planning the Urban Water-Energy-Food Nexus, lecture & project: Keilman-Gondhalekar, Daphne
- Technical Communication Skills in Water and Wastewater Treatment Engineering: Koch, Konrad
- Unit Operations Laboratory on Advanced Water Treatment: Hüber, Uwe
- Wastewater Treatment: Koch, Konrad

Wintersemester

Bachelor

- Grundlagen Verfahrenstechnik: Böhm, Bernhard (TUM-Lehrbeauftragter); Koch, Konrad
- Siedlungswasserwirtschaft Grundmodul: Helmreich, Brigitte; Koch, Konrad
- Verfahrenstechnik Übung: Böhm, Bernhard (TUM-Lehrbeauftragter); Koch, Konrad

Master/PhD

- Aquatic Microbiology: Wurzbacher, Christian
- Design and Operation of Wastewater Treatment Plants: Athanasiadis, Konstantinos (TUM-Lehrbeauftragter); Böhm, Bernhard (TUM-Lehrbeauftragter)
- Doktoranden und Masteranden Kolloquium – Proaktiv: Drewes, Jörg; Helmreich, Brigitte; Koch, Koch, Hübner, Uwe; Knoop, Oliver; Wurzbacher, Christian; Keilman-Gondhalekar, Daphne
- Engineered Natural Treatment Systems: Hübner, Uwe
- Hydrochemistry Laboratory: Knoop, Oliver; Helmreich, Brigitte; Petz, Susanne; Hübner, Uwe; Koch, Konrad
- Hydrochemistry: Helmreich, Brigitte
- Modeling of Aquatic Systems: Koch, Konrad
- PhD Seminar SiWaWi: Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Planungs- und Genehmigungsverfahren nach deutschem und europäischem Wasserrecht: Spieler, Martin (TUM-Lehrbeauftragter)
- Statistisch-stochastische Prognosen des baulich-betrieblichen Zustands von Entwässerungssystemen: Raganowicz, Andrzej (TUM-Lehrbeauftragter)
- Technical Communication Skills in Water and Wastewater Treatment: Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Unit Operations Laboratory on Advanced Water Treatment: Hübner, Uwe; Bein, Emil; Ilic, Nebojsa; Sierra Olea, Millaray
- Water and Wastewater Treatment Engineering: Drewes, Jörg

RAPHAELA HOFMANN

089/289 13727

FOERDERVEREIN @BV.TUM.DE

Fördergesellschaft des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft e.V.

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

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

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

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

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

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

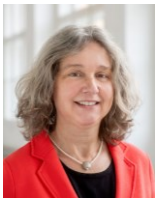
Die Geschäftsstelle wird von Frau Raphaela Hofmann geleitet.

MitarbeiterInnen

Lehrstuhlleitung

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

ArbeitsgruppenleiterInnen



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

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

Daphne Keilmann-Gondhalekar
(Ph.D.)
+49.89.289.13709
d.gondhalekar@tum.de

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

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

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

Christian Wurzbacher
(Dr. rer. nat.)
+49.89.289.13797
c.wurzbacher@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

Javad Ahmadi
(M.Sc.)
+49.89.289.13733
j.ahmadi@tum.de

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

Mohamad Javad Bardi
(M.Sc.)
+49.89.289.13717
m.j.bardi@tum.de

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

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

Shenbin Cao
(Ph.D.)
+49.89.289.13709
shenbin.cao@tum.de

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

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

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

Anna-Sonia Kau
(M.Sc.)
+49.89.289.13712
sonia.kau@tum.de

Thomas Lippert
(Dr.-Ing.)
+49.89.289.13716
thomas.lippert@tum.de

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

Joana Da Venda Mariz
(M.Sc.)
+49.89.289.13797
joana.mariz@tum.de

Alexander Mitranescu
(M.Sc.)
+49.89.289.13709
alexander.mitranescu
@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

Felix Müller
(M.Sc.)
+49.89.289.13714
fel.mueller@tum.de

Ali Nawaz
(Dr. rer. nat.)
+49.89.289.13714
ali.nawaz@tum.de

Natalie Páez Curtidor
(M.Sc.)
+49.89.289.13704
natalie.paez@tum.de

Kateryna Nosenko
(M.Sc.)
+49.89.289.13711
k.nosenko@tum.de

Michele Ponzelli
(M.Sc.)
+49.89.289.13711
m.ponzelli@tum.de

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

Steffen Rommel
(Dr.-Ing.)
+49.89.289.13733
s.rommel@tum.de

Lea Rosenberger
(M.Sc.)
+49.89.289.13716
lea.rosenberger
@tum.de

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

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

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

Philipp Stinshoff
(M.Sc.)
+49.89.289.13718
philipp.stinshoff
@tum.de

Katrin Stüer-Patowsky
(M.Sc.)
+49.89.289.13720
katrin.stueer@tum.de

Anna Uchaikina
(M.Sc.)
+49.89.289.13712
anna.uchaikina@tum.de

Rofida Wahman
(Dr. rer. nat.)
+49.89.289.13707
rofida.wahman@tum.de

GastwissenschaftlerInnen

Caique Oliveira
(M.Sc.)
caique.oliveira
@tum.de

Martins Omorogie
(Ph.D.)
mo.omorogie@tum.de

Sergi Vinardell
(M.Sc.)
svinardell@ub.ed

Anwar Dawas
(Ph.D.)
anwardd@gmail.com

Technisches Personal

Franziska Bedacht
+49.89.289.13732
franziska.bedacht
@tum.de

Heidrun Mayrhofer
+49.89.289.13732
heidrun.mayrhofer
@tum.de

Hubert Moosrainer
+49.89.289.13730
h.moosrainer@tum.de

Myriam Reif
+49.89.289.13715
m.reif@tum.de

Wolfgang Schröder
+49.89.289.13726
wolfgang.schroeder
@tum.de

Andrea Vogel
+49.89.289.13709
a.vogel@tum.de

Ursula Wallentits
+49.89.289.13732
u.wallentits@tum.de

Auszubildende

Marina Rath
+49.89.289.13715
marina.rath@tum.de

Vanessa Weiß
+49.89.289.13732
vanessa.weiss@tum.de

Chantal Cardoso Coutinho
+49.89.289.13732
chantal.cardoso-coutinho@tum.de

Lucas Hutner
+49.89.289.13715
lucas.hutner@tum.de

Kontakt

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
Am Coulombwall 3
85748 Garching
Tel. +49.89.289.13701
Fax +49.89.289.13718
https://www.cee.ed.tum.de/sww/
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
Millaray Sierra Olea, M.Sc.
Carolina Feickert Fenske, M.Sc.