

**forum** 93

Mitteilungsblatt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

**JAHRESBERICHT DES  
LEHRSTUHL FÜR  
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT  
2022**

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](mailto:sww@tum.de)

# Inhaltsverzeichnis

---

## Inhalt

<b>VORWORT</b> .....	<b>1</b>
<b>VERSUCHSANSTALT DES LEHRSTUHL</b> .....	<b>3</b>
<b>CHEMISCH-PHYSIKALISCHES, ANALYTISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES LABOR</b> .....	<b>4</b>
<b>ARBEITSGRUPPE ENTWÄSSERUNGSSYSTEME</b> .....	<b>6</b>
MULTIFUNKTIONALE VERSICKERUNGSMULDEN IM SIEDLUNGSRAUM .....	7
BEGLEITFORSCHUNG „KLIMAGERECHTES BAUEN – MODELLVORHABEN“ .....	8
DEZENTRALE NACHHALTIGE STADTENTWÄSSERUNGSSYSTEME - ENTWICKLUNG EINES REGENWASSERBEHANDLUNGSSYSTEMS FÜR SCHADSTOFFE AUS VERSCHIEDENEN QUELLEN IN WOHNGEBIETEN.....	9
QUANTIFIZIERUNG DER BINDUNG VON VERSCHIEDENEN BIOZIDEN UND SCHWERMETALLEN AN ZENTRIFUGAL FRAKTIONIERTES DOM DURCH DIALYSEGLEICHGEWICHT .....	10
ENTWICKLUNG EINES MODELLS ZUR BEWERTUNG DER UMWELTRELEVANTEN EIGENSCHAFTEN ÜBLICHER PUTZE UND MÖRTEL IM AUßENBEREICH .....	11
EINSATZ VON BIOKOHLE UND KOMPOST IN BEGRÜNTE VERSICKERUNGSMULDEN ALS GRÜNE INFRASTRUKTUR FÜR DIE REGENWASSERBEHANDLUNG .....	12
PILOTPROJEKT EHEM. BAYERNKASERNE MÜNCHEN: EVALUIERUNG VON BÖDEN UND SUBSTRATEN AUS SEKUNDÄRRÖHSTOFFEN HINSICHTLICH WASSERSPEICHERVERMÖGEN, SCHADSTOFFRÜCKHALT UND VEGETATIONSVERTRÄGLICHKEIT.....	13
<b>ARBEITSGRUPPE ENERGIEEFFIZIENTE ABWASSERBEHANDLUNG</b> .....	<b>14</b>
ENCOVER: ENERGETISCHE NUTZUNG VON CO <sub>2</sub> ZUR VERRINGERUNG DES RESTMETHANPOTENTIALS .....	15
HYBRIDER, NANOTECHNOLOGISCHER BIOPROZESSE FÜR DIE ABWASSERBEHANDLUNG.....	16
BIOGASGEWINNUNG IM LÄNDLICHEN RAUM.....	17
OPTIMIERUNG DER MIKROBIOLOGISCHEN METHANISIERUNG IM ANAEROBEN RIESELBETTREAKTOR UND DEMONSTRATION DES REAKTORBETRIEBS IM PILOTMAßSTAB .....	18
MODELLIERUNG DER ABBAU KINETIK VON LIGNOCELLULOSEREICHEN EINSATZSTOFFEN FÜR DIE FLEXIBILISIERUNG DES BIOGASPROZESSES IN DER PRAXIS.....	19
ENERGIEEFFIZIENTE KOMMUNALE ABWASSERBEHANDLUNG MITTELS ANAMMOX IM HAUPTSTROM.....	20
<b>ARBEITSGRUPPE WEITERGEHENDE WASSERBEHANDLUNG</b> .....	<b>21</b>
ISCO <sub>3</sub> : EINTRAG VON OZON IN GRUNDWASSER ÜBER GASPÉRMEABLE MEMBRANEN ZUR IN-SITU SANIERUNG VON BTEX SCHADENSFÄLLEN .....	22
FO <sub>3</sub> NC - REAKTIVITÄT UND TRANSFORMATION FUNKTIONELLER GRUPPEN VON SPURENSTOFFEN UND ORGANISCHER HINTERGRUNDMATRIX BEI DER OZONIERUNG VON ABWASSER .....	23
ENTWICKLUNG ADAPTIVER FORTSCHRITTLICHER METHODEN UND SYSTEME ZUR ENTFERNUNG PERSISTENTER PER- UND POLYFLUORALKYL-SUBSTANZEN AUS WASSER .....	24
AUFKLÄRUNG VON STOFFWECHSELSTRATEGIEN FÜR DEN ABBAU VON ORGANISCHEN SPURENSTOFFEN UNTER OLIGOTROPHEN UND OXISCHEN BEDINGUNGEN.....	25
ELIMINATION VON SPURENSTOFFEN AUF KLEINEN KLÄRANLAGEN AM FALLBEISPIEL DER KLÄRANLAGE IRSCHENBERG (<10.000 EW) .....	26
GRUNDLAGENFORSCHUNG ZU REINIGUNGSMECHANISMEN VON ZEMENTSTEINFILTERN BEI DER BEHANDLUNG VON ABWÄSSERN DER TEXTILINDUSTRIE .....	27
<b>ARBEITSGRUPPE WASSERWIEDERVERWENDUNG</b> .....	<b>28</b>
NUTZWASSER ALS ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE FÜR DIE URBA NE UND LANDWIRTSCHAFTLICHE BEWÄSSERUNG .....	29
NUTZWASSER, DIE ALTERNATIVE WASSERRESSOURCE FÜR URBA NE UND LANDWIRTSCHAFTLICHE BEWÄSSERUNGSZWECKE MITTELS AUFBEREITUNG ÜBER HYBRID-MEMBRAN-OZONIERUNG SYSTEM .....	30

TECHNOLOGIEN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG ZUR STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG IN URBANEN WASSERKREISLÄUFEN .....	31
<b>FORSCHUNGSGRUPPE URBAN WATER-ENERGY-FOOD NEXUS.....</b>	<b>32</b>
WEF NEXUS PILOTPROJEKT IN RETO DOSSO, NIGER: NACHHALTIGE WASSERVERSORGUNG MIT ANALYSE VON WASSERRÜCKGEWINNUNGS- UND INTEGRIERTEN RESSOURCENRÜCKGEWINNUNGSPOTENZIALEN IM RAHMEN EINER KLIMAAANPASSUNGSSTRATEGIE .....	33
NEXUS CITY: VERBESSERUNG VON WASSER, ENERGIE UND NAHRUNGSSICHERHEIT DURCH EINEN NEXUS ANSATZ IN STÄDTEN IN INDIEN .....	34
SEED-HIMALAYA: SUSTAINABLE ENERGIES, ENTREPRENEURSHIP AND DEVELOPMENT IN RURAL KASHMIR .....	35
<b>ARBEITSGRUPPE MEMBRANFILTRATION .....</b>	<b>36</b>
ENTWICKLUNG EINES UV-BESTRAHLUNGSSYSTEMS ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ VON UMKEHROSMOSE-MEMBRANVERFAHREN ZUR WASSERAUFBEREITUNG .....	37
OPTIMIERUNG DER ENTFERNUNGSEFFIZIENZ VON ANTIBIOTIKA-RESISTENTEN BAKTERIEN UND ANTIBIOTIKARESISTENZGENEN DURCH MIKRO- UND ULTRAFILTRATION IN KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN.....	38
FREESPACE: GRUNDLAGENFORSCHUNG ZUR AUSNUTZUNG HYDRO-DYNAMISCHER EFFEKTE ZUR VERRINGERUNG DES MEMBRANFOULINGS DURCH DIE EINFÜHRUNG SPEZIELLER ANORDNUNGEN NEUARTIGER FEED-SPACER-GEOMETRIEN IN KOMBINATION MIT UNREGELMÄßIGEN MEMBRANOBERFLÄCHENMUSTERN.....	39
<b>ARBEITSGRUPPE MIKROBIELLE SYSTEME.....</b>	<b>40</b>
ABWASSER BIOMARKER COV2: ABWASSEREPIDEMIOLOGIE AM BEISPIEL EINES SARS-CoV-2 BIOMARKERS FÜR DIE ABSCHÄTZUNG VON COVID-19-INFESTIONEN AUF DER POPULATIONSSKALA .....	41
ABWASSER BIOMARKER COV2: ABWASSEREPIDEMIOLOGIE AM BEISPIEL EINES SARS-CoV-2 BIOMARKERS FÜR DIE ABSCHÄTZUNG VON COVID-19-INFESTIONEN AUF DER POPULATIONSSKALA .....	42
BESEITIGUNG VON ORGANISCHEN SPURENSTOFFEN DURCH FUNKTIONELLE MIKROBIELLE MODELLGEMEINSCHAFTEN .....	43
AUFSPÜREN DER „DUNKLEN MATERIE“-PILZE IN VERSCHIEDENEN AQUATISCHEN LEBENSÄUMEN MIT FORTSCHRITTLICHEN MIKROSKOPISCHEN UND MOLEKULAREN METHODEN.....	44
FUNKTION VON WASSERPILZEN IN BIOFILMEN DER ABWASSER-BEHANDLUNG .....	45
MACHBARKEITSSTUDIE: EINFÜHRUNG EINER ABWASSERBASIERTEN EPIDEMIOLOGIE FÜR COVID-19 IN TASCHKENT .....	46
<b>ARBEITSGRUPPE SPURENSTOFFE IN DER UMWELT.....</b>	<b>47</b>
PROBENAUFBEREITUNG FÜR UMWELTMATRIX GEBUNDENE MIKRO- & SUBMIKROPLASTIK: VALIDIERUNG UND FELDDSTUDIE... ..	48
<b>EXTERNE DOKTORANDEN .....</b>	<b>49</b>
VERGLEICH VON AKTIVKOHLEBEHANDELTEN PROBEN HINSICHTLICH IHRES INDIVIDUELLEN FINGERABDRUCKS BESTEHEND AUS HOCHPOLAREN MOLEKÜLKANDIDATEN .....	49
SCREENING AUF UNBEKANNTE PFAS IN EINEM BELASTETEN OBERFLÄCHENGEWÄSSER .....	50
<b>GASTWISSENSCHAFTLER .....</b>	<b>51</b>
LAB TO LAND: FORSCHUNGSPROJEKT ZUR SKALIERBARKEIT VON INNOVATIONEN IN SANITÄRTECHNOLOGIEN ALS SCHLÜSSEL ZUR ERMÖGLICHUNG DES WEF-NEXUS-ANSATZES.....	51
N-DOPED GRAPHENE OXIDE/GRAPHITIC-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /AG <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> PLASMONIC MATERIAL FOR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF SOME EMERGING CONTAMINANTS IN WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) INFLUENT .....	51
DURCHFÜHRBARKEITSSTUDIE: EINFÜHRUNG EINES ABWASSER-ÜBERWACHUNGSSYSTEMS FÜR COVID-19 IN TASCHKENT .	52
PHOTOKATALYTISCHE RECYCLINGMEMBRANEN AUS TiO <sub>2</sub> UND GRAPHENOXID UND IHRE ANWENDUNGEN IN DER ABWASSERAUFBEREITUNG .....	53
<b>INTERNATIONALE KOOPERATIONSPARTNER.....</b>	<b>54</b>
<b>NATIONALE &amp; INTERNATIONALE GREMIENARBEIT .....</b>	<b>57</b>
DWA-, IWA- UND INTERNATIONALE ARBEITSGRUPPEN .....	57

# Inhaltsverzeichnis

---

WASSERCHEMISCHE GESELLSCHAFT .....	57
ZEITSCHRIFTEN REDAKTEUR.....	58
<b>NACHWUCHSFÖRDERUNG / WORKSHOPS / SONSTIGE AKTIVITÄTEN .....</b>	<b>59</b>
BETEILIGUNG AN DER EXPO 2020 IN DUBAI, UAE .....	59
SCIENCLISTEN.....	59
BETRIEBSAUSFLUG IM NOVEMBER 2022.....	60
<b>GEPLANTE VERANSTALTUNGEN IN 2023 .....</b>	<b>61</b>
50. ABWASSERTECHNISCHES SEMINAR – JUBILÄUMSVERANSTALTUNG ZU 50 JAHREN ABWASSERFORSCHUNG – IMPULSE FÜR DIE ZUKUNFT .....	61
12. AQUA URBANICA 2023 .....	61
<b>PUBLIKATIONEN .....</b>	<b>63</b>
<b>DISSERTATIONEN UND AUSZEICHNUNGEN.....</b>	<b>77</b>
<b>LEHRE .....</b>	<b>80</b>
<b>FÖRDERGESELLSCHAFT DES LEHRSTUHL FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT E.V.....</b>	<b>82</b>
<b>MITARBEITERINNEN.....</b>	<b>83</b>
<b>KONTAKT .....</b>	<b>88</b>



**JÖRG E.  
DREWES**

(PROF. DR.-ING.)

089/289 13713

JDREWES  
@TUM.DE

## Vorwort

---

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls,

das Jahr 2022 war voller Herausforderungen, die wir uns in dieser Ausprägung bei Beginn des Jahres nicht hätten vorstellen können, - ein Krieg vor unserer Haustür, der nicht enden will, grundlegende Menschenrechte ausgehebelt, extremste Trockenheit und Hitze in Europa, Gasknappheit, eine zweistellige Inflation, ein schwindender Multilateralismus... Trotz vieler Herausforderungen sind wir dennoch dankbar für ein produktives Jahr am Lehrstuhl und die Tatsache, dass wir unseren Studierenden nun auch wieder von Angesicht zu Angesicht begegnen können.

Im Rahmen der Pandemie waren viele Mitarbeiter:innen im vergangenen Jahr mit Messprogrammen für Corona-Biomarker im Abwasser weiterhin sehr beschäftigt. Mit dem Abbau von Testzentren erkannte schließlich auch die Politik den Wert eines objektiven Abwassermonitorings zur Einschätzung der Infektionslage auf der Bevölkerungsebene. Neue Monitoringprogramme und Dateninfrastrukturen wurden dafür vom Bund und den Ländern aufgelegt, deren Entwicklung wir im engen Austausch mit Kommunen, Gesundheitsämtern, dem RKI und Bundesministerien unterstützen konnten. Bezüglich unser diversen Forschungsprojekte, waren unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sehr aktiv ihre gewonnenen Erkenntnisse auch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu publizieren und mit der nationalen und internationalen Fachöffentlichkeit auch dieses Jahr in physischen Treffen und Vorträgen zu teilen.

Wir freuen uns sehr mit Herrn Dr.-Ing. Pablo Vega, Frau Dr. rer. nat. Susanne Minikus, Herrn Dr.-Ing. Christoph Schwaller sowie und Herrn Mohammed Al-Azzawi 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 Willy-Hager Preis der Willy-Hager Stiftung ausgezeichnet wurde. Wir gratulieren noch einmal ganz herzlich!

Ich freue mich sehr, Ihnen mit dieser Ausgabe unseren Jahresbericht 2022 überreichen zu können, um Ihnen einen kleinen Einblick in unsere Aktivitäten zu geben. Auch in 2022 wurden wir durch neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verstärkt, die sich Ihnen in diesem Jahresbericht mit ihren anderen Kolleginnen und Kollegen vorstellen.

In 2023 begehen wir das 50. ATS. Das 50. ATS-Jubiläum soll Anlass sein, die Entwicklungen in diesen Feldern über fünf Jahrzehnte mit ausgewählten führenden Expert:innen und der interessierten Fachöffentlichkeit zu diskutieren und einzuschätzen, welche Trends und Empfehlungen sich für den gesamten Abwassersektor in der Zukunft ableiten lassen. Freuen Sie sich auf eine 2-tägige Veranstaltung der besonderen Art im Science Congress Center der TU München auf dem Forschungscampus Garching am 5./6. Juli 2023.

Die Programme dieser Veranstaltungen finden Sie auf unserem Webportal. Dort können Sie sich auch online anmelden (<https://www.cee.ed.tum.de/sww/foerderverein/ats/>). 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 fast 100 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 bei der International Water Association (IWA) sowie als Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU). Im WBGU erstellen wir momentan ein neues Hauptgutachten mit dem Schwerpunkt 'Umwelt und Gesundheit', das der Bundesregierung im Frühjahr überreicht werden wird.

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 m<sup>2</sup>) und Versuchsfeld mit direktem Anschluss an die kommunale Kläranlage Garching. Dieser Anschluss ermöglicht es neben der Untersuchung von Trinkwasser kommunales Abwasser in verschiedenen Qualitäten für unterschiedliche Fragestellungen einzusetzen. Die Versuchsanstalt wird von Frau Prof. Dr. Helmreich geleitet.

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



**SUSANNE  
PETZ**  
(DR. RER. NAT.)

Bis 09/2022  
SUSANNE.PETZ  
@TUM.DE



**IGNACIO  
SOTTORFF  
NECULHUEQUE**  
(DR. RER. NAT.)

089/289 13702  
I.SOTTORFF  
@TUM.DE



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

089/ 289 13797  
C.WURZBACHER  
@TUM.DE

## Chemisch-physikalisches, analytisches und mikrobiologisches Labor

Das Labor ist eine zentrale Einrichtung der Versuchsanstalt und des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft. Es wird in die Bereiche chemisch-physikalisches Labor, Spurenstoffanalytik und mikrobiologisches Labor eingeteilt, die jeweils von Dr. Susanne Petz, Dr. Ignacio Sottorff und Dr. Christian Wurzbacher geleitet werden.

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 Summenparameter 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.

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

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



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

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

Auch in diesem Jahr hat das Thema “wasserbewusste Siedlung“ einen Schwerpunkt in der Arbeitsgruppe Entwässerungssysteme eingenommen. 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. Dabei darf auch nicht vergessen werden, dass Schadstoffe aus den Niederschlagsabflüssen urbaner Flächen entfernt werden müssen, um keinen Eintrag in Grund- und Oberflächengewässer zu verursachen.



*Abbildung 5: Pilotversuche zur Biodiversität im Projekt Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum; Exkursion der Arbeitsgruppe im Juli.*

Ein neues Forschungsvorhaben in 2022 beschäftigt sich mit dem Thema Energieeffizienzsteigerung durch die klimaangepasste, synergetische Nutzung von innovativem Energie- und Regenwassermanagement für das Stadtquartier ecoSquare. Hier entwickeln wir mit Partnern eine dezentrale Behandlungsanlage für Niederschlagsabflüsse verschiedener versiegelter Flächen (Gründächer, Fassaden, Verkehrswege) mit dem Ziel der Wasserwiederverwertung zur Bewässerung. Ein weiteres neues Forschungsvorhaben in 2022 zum Thema Urbane Grüne Infrastruktur ist in ein Graduiertenkolleg der DFG eingebettet. Die Doktorandin arbeitet in einem Team mit anderen Doktorand:innen aus anderen Disziplinen, um grundlegend den Schadstoffrückhalt in der belebten Bodenzone von Versickerungsanlagen wissenschaftlich aufzuklären.



**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 Versickerungsmulden im Siedlungsraum sein.

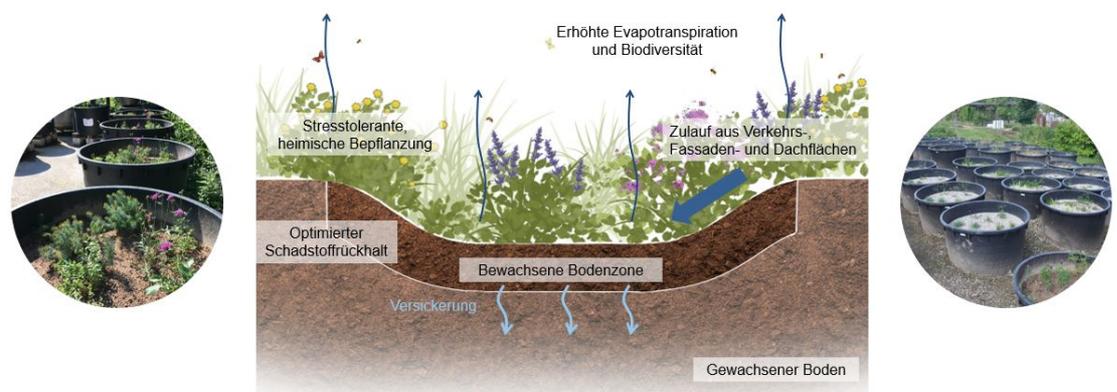


Abbildung 6: Darstellung einer multifunktionalen Versickerungsmulde und Bilder der halbertechnischen Versuche.

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

**KOOPERATION:**  
HOCHSCHULE  
WEIHENSTEPHAN-  
TRIEDORF,  
BODENINSTITUT  
JOHANNES PRÜGL  
INGENIEURBÜRO FÜR  
BODEN- UND  
VEGETATIONS-  
TECHNIK

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 halbertechnische 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 April 2022 sind Pilotflächen in München umgesetzt worden mit den bewährten Boden-Substratgemischen und ausgewählter Bepflanzung aus den halbertechnischen Versuchen. Zeitgleich wurden in Pfaffenhofen a. d. Ilm zwei Baumrigolen mit den Boden-Substratgemischen gebaut. Erste Ergebnisse der Pilotierungen werden für Ende 2023 erwartet. Dieses Forschungsprojekt bildet damit die Grundlage für eine zukünftige Handlungsempfehlung für Betreiber und Planer aus welchem dann die ökologischen und ökonomischen Vorteile, sowie der Aufwand für den Unterhalt ersichtlich werden.



**LEA  
ROSENBERGER**

(M.Sc.)

089/289 13716

LEA.ROSENBERGER  
@TUM.DE

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

**KOOPERATION:**  
LEHRSTUHL FÜR  
ENERGIEEFFIZIENTES  
UND NACHHALTIGES  
PLANEN UND BAUEN  
TUM,  
INSTITUT FÜR  
IMMOBILIEN-  
ÖKONOMIE GMBH

## 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.

Ein wichtiger Baustein des klimagerechten Bauens ist das Regenwassermanagement 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).

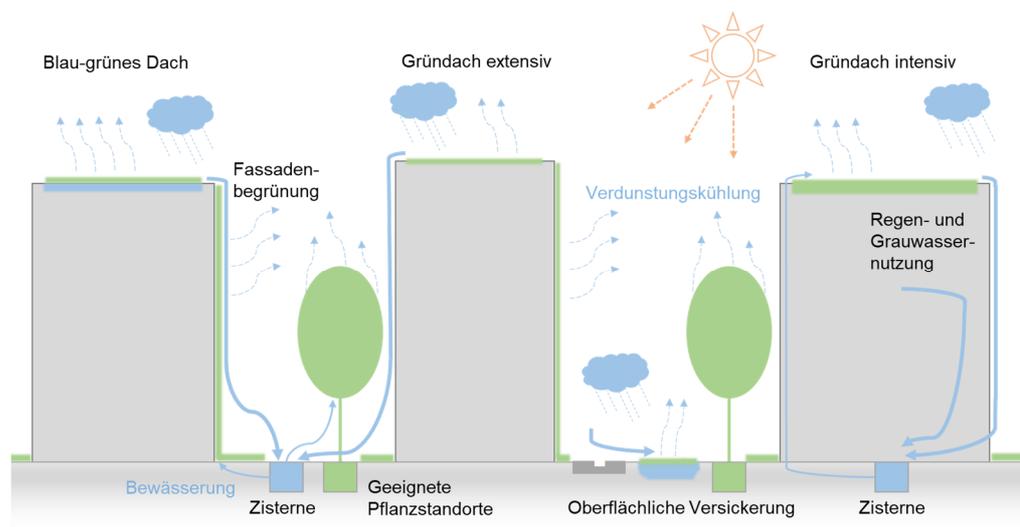


Abbildung 7: Wechselwirkungen von grün-grau-blauer Infrastruktur.

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 Projekt, das Teilprojekt des Zentrums Stadtnatur und Klimaanpassung der TUM ist, 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.



**DANIEL  
NIEß**

(M.Sc.)

089/289 13712

DANIEL.NIESS  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

BUNDESMINISTERIUM  
FÜR WIRTSCHAFT  
UND KLIMASCHUTZ

**KOOPERATION:**

FRÄNKISCHE  
ROHRWERKE GEBR.  
KIRCHNER GMBH &  
CO. KG,  
OPTIGRÜN  
INTERNATIONAL AG

## Dezentrale nachhaltige Stadtentwässerungssysteme - Entwicklung eines Regenwasserbehandlungssystems für Schadstoffe aus verschiedenen Quellen in Wohngebieten

Die Nachverdichtung von Städten und die damit verbundene Flächenversiegelung verstärkt den Hitzeinsel-Effekts und die Abflussproblematik bei Starkregenereignissen. Innovatives Regenwassermanagement soll genau diese Probleme minimieren. Großvolumige Regenwasserzisternen zur Multi-Use-Nutzung, werden durch die Gründach-, Fassaden- und Verkehrsflächenabflüsse des Quartiers gespeist. Die im Regenwasser gespeicherte Energie versorgt ein kaltes Nahwärmenetz je nach Bedarf mit Wärme oder Kälte, in Kombination mit einer geothermischen Anlage ist die Wärme- und Kälteversorgung des Quartiers so ganzjährig gesichert. Ebenso soll das Regenwasser zur Bewässerung der Grünanlagen verwendet werden was sowohl den urbanen Wasserkreislauf durch vor Ort Versickerung stärkt als auch dem Hitzeinsel-Effekt durch Verdunstung entgegenwirkt.

Um das Regenwasser für diese Zwecke zu nutzen muss es aufbereitet werden. Der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der TU München wird in enger Zusammenarbeit mit der „FRÄNKISCHE Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG“ an einer dezentralen Regenwasserbehandlungsanlage zur Aufbereitung von urbanen Regenwasserabflüssen forschen. Dies ist ein Novum da bisher die verschiedenen Abflüsse entweder direkt dem Oberboden zugeführt wurden (Fassaden und einige Dachformen), oder separate aufbereitet wurden. Das Ziel des Projektes ist die Festlegung eines Substratgemisches zur Behandlung von Verkehrs-, Fassaden- und Gründachabflüsse. Im Fokus steht hierbei die simultane Behandlung von Bioziden, Schwebstoffen, Schwermetallen, Nährstoffen sowie organischen Schadstoffen.

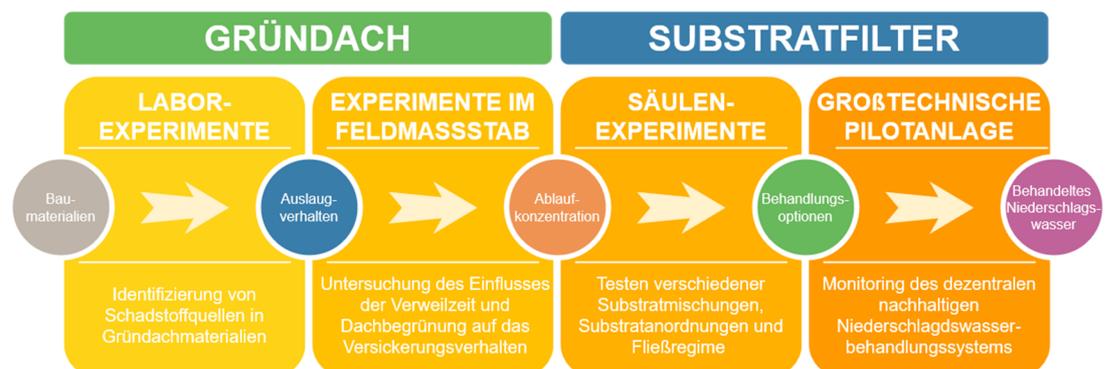
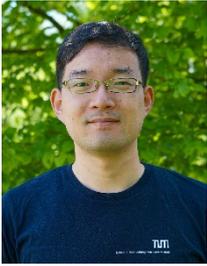


Abbildung 8: Projektstruktur und Beschreibung des Versuchsaufbaus.

In letzter Zeit sind Biozide aus Fassaden und Gründächern als potenzielle Gefahr für die Umwelt in den Mittelpunkt gerückt. Insbesondere Biozide aus Dachbegrünungen gewinnen aufgrund der zunehmenden Anzahl von Dachbegrünungen in städtischen Gebieten an Interesse in der Wissenschaft. Die SWW untersucht in Zusammenarbeit mit der „Optigrün international AG“ den Einfluss von Verweilzeit und Dachbegrünung auf das Auswaschungsverhalten von Bioziden. In einem weiteren Versuch werden beide Partner die Leistungsfähigkeit verschiedener Gründachsysteme bei der Behandlung von Siedlungsabflüssen testen.



**PANFENG  
ZHU**

(M.Sc.)

089/289 13704

PANFENG.ZHU  
@TUM.DE

FÖRDERUNG:  
CHINA  
SCHOLARSHIP  
COUNCIL

## Quantifizierung der Bindung von verschiedenen Bioziden und Schwermetallen an zentrifugal fraktioniertes DOM durch Dialysegleichgewicht

In städtischen Gebieten gelangen bei Regenereignissen Schadstoffe von Gebäudeoberflächen wie Schwermetalle (Cu/Zn) und Biozide durch Spül- und Auswaschungsvorgänge in das Regenwasser und verbreiten sich in der Umwelt. Leider gibt es keine hochwirksamen Vor-Ort-Behandlungsanlagen, mit denen die von ihnen ausgehenden Risiken für das Ökosystem gemindert werden könnten. Daher haben wir einige Studien durchgeführt, um die Wechselwirkungen zwischen Schwermetallen/Bioziden und DOM zu verstehen und Erkenntnisse für die Gestaltung von Behandlungssystemen zu gewinnen.

In früheren Studien wurde nachgewiesen, dass Schwermetalle und Biozide mit dem DOM interagieren können. Dabei handelt es sich jedoch um ein qualitatives Ergebnis. Um die Wechselwirkungen genau zu beschreiben, wird in der Studie die Dialysegleichgewichtsmethode verwendet. Vor Beginn des Dialysegleichgewichts wurde das verwendete DOM durch Zentrifugieren in verschiedene Teile nach ihrem Molekulargewicht fraktioniert, da DOM ein kompliziertes Gemisch ist, dessen unterschiedliches Molekulargewicht eine unterschiedliche Struktur und Bindungsfähigkeit für Schadstoffe bedeutet.

Die Quantifizierung der Bindung von Schadstoffen an fraktioniertes DOM wurde einzeln durchgeführt. Es wurden Proben innerhalb und außerhalb des Dialysebeutels entnommen. Die Schwermetalle wurden nach der Entfernung des DOM durch Säureaufschluss mittels AAS analysiert. Die Biozide wurden mittels HPLC-MS analysiert. Der Einfluss von Cu auf die Bindung von Bioziden an DOM wurde ebenfalls untersucht.

Bei diesen Studien wird die Bindung von Schadstoffen an fraktioniertes DOM untersucht und verglichen.

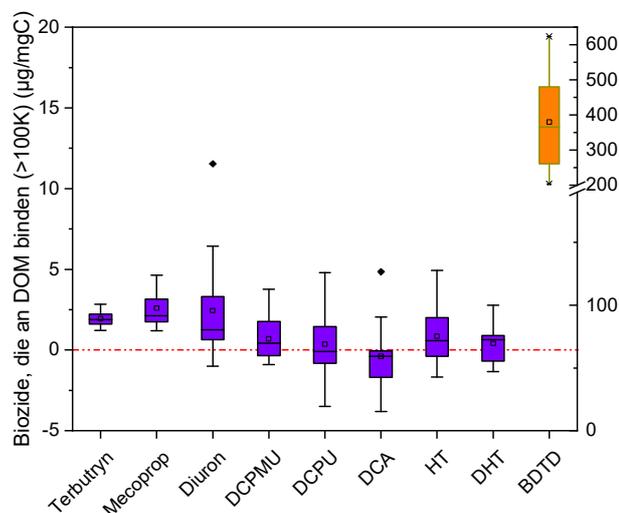


Abbildung 9: Die Menge der Biozide/Transformationsprodukte, die sich an das fraktionierte DOM (>100K) binden, die rechte Y-Achse ist für BDTD.



**PABLO  
VEGA**

(DR.-ING.)

Bis 08/2022

PABLO.VEGA-  
GARCIA  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
VERBAND FÜR  
DÄMMSYSTEME,  
PUTZ UND MÖRTEL

**KOOPERATION:**  
FRAUNHOFER  
INSTITUT FÜR  
BAUPHYSIK

## 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 Auslagerverhaltens von Putzen und Mörteln im Fall einer berechneten Fassade ist jedoch bisher nicht möglich, da es kein Übertragungsmodell gibt, mit dessen Hilfe von den Ergebnissen von Auslagerversuchen auf die tatsächliche Beeinträchtigung von Boden und Grundwasser geschlossen werden kann.

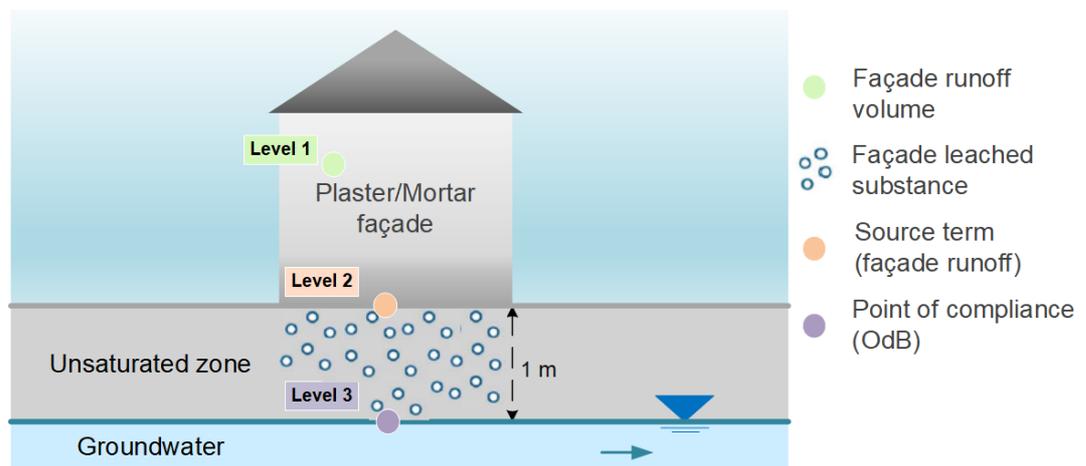


Abbildung 10: Quellterm der Auslaugungsstoffe (Fassadenabfluss), ungesättigte Transportzone und Ort der Beurteilung (OdB), wobei der Geringfügigkeitsschwellenwert von  $0,1 \mu\text{g/L}$  als Zielkonzentration dient.

Das Hauptziel des Projekts im Jahr 2022 war die Modellierung des Transports von vier organischen Ausgangsverbindungen (PCs), die sich im Fassadenabfluss befinden, nämlich Carbendazim, Diuron, Octylisothiazolinon (OIT) und Terbutryn, sowie 10 ihrer Transformationsprodukte (TPs) in einem ungesättigten Bodenkompartiment (sandiger oder lehmiger/schluffiger/lehmiger Boden) bis zum Ort der Beurteilung (OdB). Es zeigte sich, dass die vom Modell gelieferten PC-Konzentrationen am OdB, mit Ausnahme von OIT, über dem Geringfügigkeitsschwellenwert der LAWA von  $0,1 \mu\text{g/L}$  liegen, unabhängig davon, ob es sich nach den Rahmenbedingungen nur um sandige oder lehmige/schluffige/lehmige Böden handelt. Durch Einbau einer entsprechenden Oberbodenschicht (30 cm) mit einem organischen Anteil von 2 % können die PC-Konzentrationen jedoch deutlich reduziert werden.



**NATALIE  
PÁEZ CURTIDOR**

(M.Sc.)

089/289 13705

NATALIE.PAEZ  
@TUM.DE

## Einsatz von Biokohle und Kompost in begrünten Versickerungsmulden als grüne Infrastruktur für die Regenwasserbehandlung

Urbanes Regenwasser ist eine wichtige Schadstoffquelle, die die Qualität von Gewässern beeinträchtigt und sich auf die menschliche Gesundheit und Ökosysteme auswirken kann. Da der Klimawandel die Häufigkeit und Intensität von extremen Starkregenereignissen und Überschwemmungen erhöhen wird, ist die Verringerung der Schadstoffbelastung durch städtische Abflüsse von entscheidender Bedeutung für die städtische Nachhaltigkeit und die Anpassung an den Klimawandel. Die Einführung grüner Infrastrukturen - wie begrünte Versickerungsmulden oder Bioswales - für die Regenwasserbehandlung in Städten ist eine sinnvolle Strategie zur Bewältigung dieser Herausforderung. Herkömmliche Bioswales können zwar Sedimente und partikelförmige Schadstoffe wirksam entfernen, aber gelöste Schadstoffe nicht zuverlässig beseitigen.

Dieses Projekt hat das Ziel, die Entfernung gelöster Schadstoffe in begrünten Versickerungsmulden zu verbessern, indem der Einsatz von organischen Bodenverbesserungsmitteln untersucht wird, insbesondere von Biokohle und Kompost. Diese Materialien sind leicht verfügbar, haben niedrige Produktionskosten, fördern eine zirkuläre Ressourcennutzung und können potenziell eine breite Vielfalt von Schadstoffen entfernen. Zusätzlich unterstützen sie andere Funktionen, die für den nachhaltigen Betrieb von Bioswales wichtig sind.

FÖRDERUNG:  
DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-GE-  
MEINSCHAFT



Abbildung 11: Konzeptioneller Rahmen für den Einsatz organischer Bodenverbesserungsmittel in begrünten Versickerungsmulden.

Im Rahmen des Projekts werden Experimente im Labor- und Mesomaßstab durchgeführt, um die Entfernung mehrerer gelöster Schadstoffe (Schwermetalle, Biozide und Pestizide). Die Wirkung der Kombination von pyrolysierte Biokohle mit niedriger und hoher Temperatur zur Entfernung mehrerer Schadstoffe wird ebenfalls bewertet. Eine Bewertung des verstärkten biologischen Abbaus von TORCs wird ebenfalls durchgeführt, ebenso wie eine Bewertung der Auswirkungen von saisonalen Streusalzen und unterschiedlichen Sättigungsbedingungen.

Diese Forschung ist Teil des interdisziplinären Graduiertenkollegs "Urbane Grüne Infrastruktur" an der Technischen Universität München.



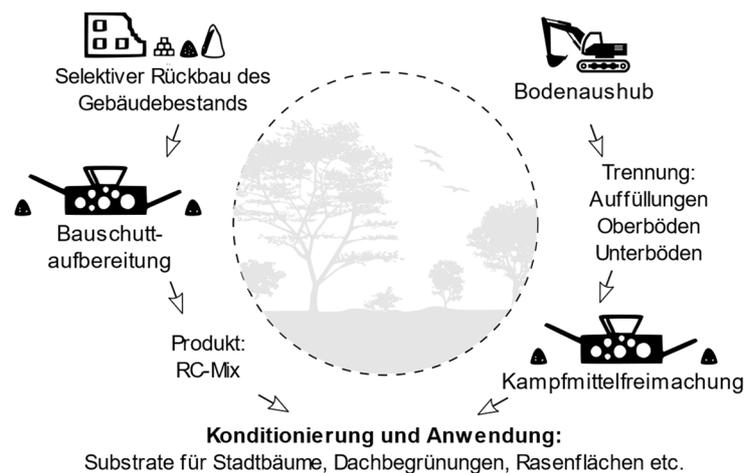
**SEBASTIAN  
KNOLL**

(M.Sc.)

S.KNOLL  
@TUM.DE

## Pilotprojekt ehem. Bayernkaserne München: Evaluierung von Böden und Substraten aus Sekundärrohstoffen hinsichtlich Wasserspeichervermögen, Schadstoffrückhalt und Vegetationsverträglichkeit

Im Rahmen der Baufeldfreimachung und der damit verbundenen Rückbaumaßnahmen auf dem Gelände der ehemaligen Bayernkaserne rechnet das zuständige Kommunalreferat damit, ca. 200.000 t Boden- und Abbruchmaterialien in Substraten des Garten- und Landschaftsbaus wieder verwenden zu können. Nicht zuletzt um die unmittelbare wirtschaftliche Belastung als auch die externalisierten Kosten (Verkehrsbelastung, CO<sub>2</sub>-Emissionen), die mit einer Verklappung außerhalb der Fläche verbunden wären, möglichst gering zu halten, strebt das Kommunalreferat eine weitestgehende Wiederverwendung/-verwertung auf der Fläche selbst an. Bei den in Frage kommenden Abbruchmaterialien handelt es sich um sog. RC-Mix. Dieser liegt in unterschiedlichen Güteklassen vor, die sich im vorliegenden Kontext über ihren Ziegel-Anteil voneinander abgrenzen.



**FÖRDERUNG:**  
LANDESHAUPTSTADT  
MÜNCHEN,  
KOMMUNALREFERAT

**KOOPERATION:**  
HOCHSCHULE  
WEIHENSTEPHAN-  
TRIEDORF,  
BODENINSTITUT  
JOHANNES PRÜGL

Abbildung 12: Ablaufschema der Sekundärrohstoffgewinnung für die Substratherstellung, Bayernkaserne München.

Ziel des Pilotversuchs ist die Prüfung, ob im Rahmen des Großprojekts „Bayernkaserne München“, aus dem das neue Stadtquartier Neufreimann entstehen soll, bauseitige Materialien aus Gebäuderückbau und Bodenaushüben in städtischen und privaten Grünflächen als Vegetationstrag- und durchwurzelbare Bodenschichten des Garten- und Landschaftsbaus rezykliert werden können, ohne dabei schädliche Bodenveränderungen erwarten zu lassen. In einem Feldversuch sollen vegetationstechnische sowie umwelt- und wasserwirtschaftliche Gütermerkmale von Baumgrabensubstraten, die bauseits aus unterschiedlichen Anteilen Boden und RC-Mix verschiedener Güten hergestellt wurden, untersucht werden. Das Versuchsdesign wurde an die individuellen planerischen und umweltrechtlichen Belange des BV Bayernkaserne angepasst, das Konzept soll jedoch mittelfristig auf ähnliche Projekte der LH München im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft übertragen werden können.



**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 ist. 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, beispielsweise über die Erzeugung von Biogas aus dem Klärschlamm.

Da in diesem Jahr kein neues Forschungsprojekt begonnen wurde, möchte ich an dieser Stelle die Gelegenheit nutzen, um auf unsere Aktivitäten rund um die Standardisierung der für die Anaerobtechnik so wichtigen biochemischen Methanpotentialtests (BMP-Tests) aufmerksam zu machen. Diese BMP-Tests bilden häufig die Grundlage für viele zentrale Entscheidungen rund um Faulbehälter und Biogasanlagen, wie deren Dimensionierung oder die Bewertung von Behandlungsverfahren. Obschon seit Jahrzehnten verschiedene Richtlinien für deren Durchführung verfügbar sind, werden diese leider weder in der Praxis noch in der Wissenschaft gewissenhaft umgesetzt. Daher haben wir gemeinsam mit 40 anderen renommierten internationalen Wissenschaftlern im Jahr 2015 eine einfach verständliche Richtlinie herausgegeben, die frei verfügbar ist (open access) und mittlerweile in mehr als 400 Studien erfolgreich angewandt wurde: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>. In einem darauf aufbauenden internationalen Ringversuch zeigte sich leider, dass die darin niedergelegten Validierungskriterien noch nachjustiert werden müssen, um die notwendige Qualitätssicherung der Ergebnisse zu gewährleisten: <https://doi.org/10.3390/w12061752>. Die notwendigen Anpassungen der ursprünglichen Richtlinie wurden in einer weiteren Veröffentlichung zusammengefasst: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.569>.

Obwohl BMP-Test insbesondere in der Wissenschaft vielfältig eingesetzt werden, ist das notwendige Wissen diesbezüglich leider oft beschränkt. Daher haben wir gemeinsam mit Kollegen aus den Vereinigten Staaten, Spanien, der Schweiz und Deutschland eine Website ins Leben gerufen, auf der alle relevanten Informationen rund um BMP-Tests verfügbar sind und die ständig aktualisiert werden: <https://www.dbfz.de/bmp>. Neben allgemeinen Informationen finden sich dort Anleitungen zu allen üblichen Messmethoden und den dazugehörigen Berechnungen in verschiedenen Sprachen. Ergänzt wird das Angebot mit dem von uns entwickelten Biogas Package für die Statistiksoftware R, die wahlweise auch als Webinterface mit dem Namen Online Biogas App (OBA) zur Verfügung steht. Die Software bietet vielfältige Möglichkeiten zur Planung von Versuchen, Umrechnung, Standardisierung und Datenauswertung.



**FELIX  
MÜLLER**

(M.Sc.)

089/289 13714

FEL.MUELLER  
@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
FACHAGENTUR  
NACHWACHSENDE  
ROHSTOFFE

*KOOPERATION:*  
UNIVERSITÄT HEIDEL-  
BERG,  
BAYERISCHE  
LANDESANSTALT FÜR  
LANDWIRTSCHAFT

## ENCOVER: Energetische Nutzung von CO<sub>2</sub> zur Verringerung des Restmethanpotentials

Die bedeutendste Quelle von Treibhausgas-Emissionen ist die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Um das Ziel der Treibhausgas-Neutralität bis zum Jahr 2050 zu erreichen, muss die Energiebereitstellung in Zukunft vermehrt auf Basis erneuerbarer Energien erfolgen. Der Biogaserzeugung kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, da diese im Gegensatz zu den meisten anderen erneuerbaren Energieformen speicherbar ist. Leider verbleibt bisher bei der Vergärung von nachwachsenden Roh- und Reststoffen noch ein nicht unerheblicher Anteil des Methanpotentials im Gärrest. Dabei haben Studien gezeigt, dass eine Anreicherung des anaeroben Abbauprozesses mit CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> zur Verringerung des Restmethanpotentials. Dabei werden im Prozess der Biogasgewinnung nachwachsende Roh- und insbesondere Reststoffe eingesetzt, deren Verhalten mit CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Aufnahmepotential und die zusätzliche CH<sub>4</sub>-Produktion quantifiziert werden. Anhand von Isotopenanalysen und mikrobiologischen Untersuchungen sollen die ablaufenden Mechanismen und Prozesse aufgeschlüsselt und besser verstanden werden. Die Untersuchungen werden sowohl mittels Batchversuchen als auch kontinuierlich betriebener Reaktoren im Technikumsmaßstab durchgeführt.

Die Reaktoren werden aktuell mit nachwachsenden Rohstoffen in Form von Maissilage gefüttert. Bei der CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Anreicherung von nachwachsenden Rohstoffen gilt es schließlich, Empfehlungen für die Nutzung des Effektes für die Praxis quantitativ in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz und Wirtschaftlichkeit abzuleiten und darzustellen.



Abbildung 13: Kontinuierlich betriebene Reaktoren im Technikumsmaßstab.



**MICHELE  
PONZELLI**

(M.Sc.)

Bis 10/2022

M.PONZELLI  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
EUROPÄISCHE  
KOMMISSION

**KOOPERATION:**  
KATALANISCHES  
INSTITUT FÜR  
WASSERFORSCHUNG

## Hybrider, nanotechnologischer Bioprozesse für die Abwasserbehandlung

Das Projekt nutzt ein Nanomaterial, um bestehende Behandlungstechnologien zu verbessern. Durch die Zugabe von Graphenoxid (GO) in anaerobe Abwasserbehandlungssysteme soll die Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen (OMP), d. h. persistenten Schadstoffen mit unbekanntem Langzeitwirkungen, verbessert werden.

Obwohl anaerobe Verfahren aufgrund des geringeren Energiebedarfs und der Möglichkeit, Energie in Form von Biogas zu erzeugen, gegenüber aeroben Verfahren bevorzugt werden, weisen sie einige Nachteile auf. Beispielsweise sind am anaeroben Abbau sehr viele unterschiedliche Mikroorganismen beteiligt, die diesen mehrstufigen Prozess symbiotisch bewerkstelligen. Durch die Zugabe von GO kann jedoch die Verbindung zwischen den Mikroorganismen verbessert und die Reaktionszeit drastisch verkürzt werden, wodurch auch der Abbau widerstandsfähiger OMPs möglich ist. In diesem Projekt wurden daher die Biogasproduktion sowie der Abbau und die Umwandlung von OMP in anaeroben Batchversuchen untersucht, die mit GO supplementiert wurden.

Als Voraussetzung für eine verbesserte Abbaukinetik muss GO zunächst durch mikrobielle Aktivität biologisch reduziert werden. Die Ergebnisse zeigten, dass ein solcher biologischer Abbau von GO innerhalb eines Tages erfolgt. Bemerkenswert ist, dass dies die erste Studie ist, die dies mit einer echten Kultur eines anaeroben Fermenters und nicht mit einzelnen oder im Labor kultivierten Mikrobenstämmen nachweist. Der Abbau der beiden Antibiotika Sulfamethoxazol und Trimethoprim, die als Modell-OMP ausgewählt wurden, erfolgte jedoch unabhängig von der Anwesenheit von GO innerhalb weniger Tage. Darüber hinaus hatte die GO einen hemmenden Einfluss auf die Bildung von Sulfamethoxazol-Umwandlungsprodukten und den Biogasertrag um bis zu 20 %. Folglich wurde keine Verbesserung der OMP-Umwandlung durch die Zugabe von GO beobachtet.

In einer Langzeitstudie ergaben die Modellierung und die statistischen Analysen jedoch eine signifikante Beschleunigung des Abbaus von organischem Material bei GO-Konzentrationen > 10 mg pro Gramm organischer Trockensubstanz (oTS).

Insgesamt bietet die Arbeit erfreuliche Perspektiven für die verbesserte Entfernung (auch widerstandsfähiger) organischer Schadstoffe und die Beschleunigung des anaeroben Abbaus in kontinuierlich betriebenen Behandlungsanlagen.

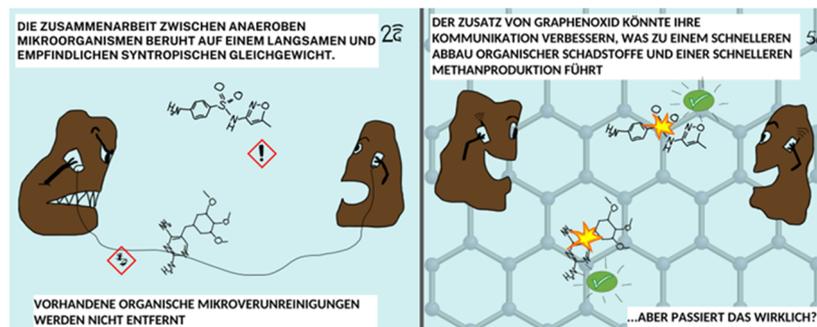


Abbildung 14: Effekt der GO-Zugabe im Batchversuch.



**MOHAMMAD  
JAVAD BARDI**

(M.Sc.)

089/289 13717

M.J.BARDI  
@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
DEUTSCHER  
AKADEMISCHER  
AUSTAUSCHDIENST

*KOOPERATION:*  
TUM SEED CENTER

## Biogasgewinnung im ländlichen Raum

Um den Energiebedarf des Globalen Südens zu decken, ist es unerlässlich, auf erneuerbare Energiequellen zu setzen und gleichzeitig den „Carbon Footprint“ zu verringern. Die anaerobe Vergärung spielt eine wichtige Rolle bei der Energieerzeugung aus verschiedenen Roh- und Reststoffen, die in ländlichen Gebieten des Globalen Südens verfügbar sind. Aufgrund schlechter Betriebsbedingungen werden Biogasanlagen jedoch häufig nur mit geringer Effizienz betrieben. Dies hat zur Folge, dass nur wenig Biogas produziert und der Gärrest noch einen hohen Anteil an organischem Material enthält. Ein Hauptgrund dafür ist der Mangel an erforderliches Fachwissen.

Im Rahmen des TUM SEED (Sustainable Energy and Entrepreneurship) Centers wurden an verschiedenen Standorten in der ganzen Welt, sogenannte Reallabore („Living labs“) aufgebaut. Diese dienen dazu, wissenschaftliche Methoden und Erkenntnisse anschaulich an die lokale Bevölkerung weiterzugeben und diese bei Fragen kontinuierlich zu unterstützen. Dadurch wird sichergestellt, dass die jeweilige Technologie und das dazugehörige Knowhow auch langfristig erfolgsversprechend eingesetzt werden können.

Im Oktober war ich gemeinsam mit Konrad Koch im „Reallabor“ der Pontificia Universidad Católica del Perú in Huyro nahe der weltbekannten Inka-Bergfestung Machu Picchu. Neben anderen Technologien, wie beispielsweise dem Einsatz des hydraulischen Widders zur Förderung von Wasser ohne Elektrizität, haben wir auf dem mehrtägigen Workshop die von uns gemeinsam mit Partnern entwickelte Methode zu Bestimmung des Biogasertrages mit geringem technischem Aufwand vorgestellt. Die Methode benötigt neben den üblichen Apparaturen, wie Flaschen, Septen und Inkubator lediglich eine präzise Waage sowie Spritzen zur Volumenbestimmung. Dadurch kann die Dichte und damit die Zusammensetzung des produzierten Biogases ermittelt werden. Damit kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand der zu erwartenden Methanertrag beliebiger Substrate bestimmt werden. Darauf aufbauend können dann entsprechende Biogasanlagen dimensioniert und geplant werden. Zusätzlich wurde den Teilnehmer grundlegendes Fachwissen zum Biogasprozess vermittelt.



Abbildung 15: Workshop im „Reallabor“ der Pontificia Universidad Católica del Perú in Huyro.



**CAROLINA  
FEICKERT FENSKE**

(M.Sc.)

089/289 13707

C.FEICKERT  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

BAYERISCHES  
STAATSMINISTERIUM  
FÜR WIRTSCHAFT,  
LANDES-  
ENTWICKLUNG UND  
ENERGIE

**KOOPERATION:**

BAYERISCHE  
LANDESANSTALT FÜR  
LANDWIRTSCHAFT

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

Erneuerbare Energien sollen im Rahmen der Energiewende langfristig zum wichtigsten Energieträger in Deutschland werden. Ein Ansatz für eine flexible und bedarfsgerechte Energiespeicherung ist die Erzeugung von Methan ( $\text{CH}_4$ ) aus Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) (Power-to-Methane). Dabei wird  $\text{H}_2$  aus nicht genutztem regenerativem Strom mittels Elektrolyse hergestellt und  $\text{CO}_2$  aus Kläranlagen, Biogasanlagen oder der Industrie kann direkt am Ort der Entstehung genutzt werden.

Die mikrobiologische Umwandlung von  $\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CH}_4$  unter anaeroben Bedingungen durch methanogene Mikroorganismen ist als Teilprozess aus Biogasanlagen oder Faulbehältern auf Kläranlagen bekannt. Ein besonders leistungsfähiges Reaktorkonzept ist der gasgefüllte Rieselbettreaktor, in dem die Mikroorganismen auf Aufwuchskörpern immobilisiert sind. Durch Aufwuchskörper mit einer großen Oberfläche wird die Kontaktfläche zwischen den Eduktgasen ( $\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2$ ) und den Mikroorganismen in der Flüssigkeitsphase vergrößert und der Stoffaustausch wesentlich verbessert.

In thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren im Technikumsmaßstab konnte bereits eine hohe Methanproduktion von  $15,4 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/(\text{m}^3_{\text{Reaktionsvolumen}} \cdot \text{d})$  mit Methankonzentration im Produktgas von über 96 % erfolgreich realisiert werden. Damit wäre eine Einspeisung ins vorhandene Erdgasnetz ohne Aufreinigung möglich.

Mit einem aktiven Reaktionsvolumen von  $0,8 \text{ m}^3$  wurde nun die Einsatzfähigkeit des Reaktorkonzeptes im halbtechnischen Maßstab unter Beweis gestellt. Damit ist der Pilotreaktor auf der Kläranlage Garching (Abbildung 16) einer der derzeit größten anaeroben Rieselbettreaktoren weltweit.

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 wurde die Reaktorleistung mit Biogas aus dem Faultrum über insgesamt 450 Tagen untersucht. Damit konnte zuletzt eine stabile Methanproduktion von  $6 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/(\text{m}^3_{\text{Reaktionsvolumen}} \cdot \text{d})$  unter Gasnetz-Eispeisequalität erreicht werden, was unter Berücksichtigung des inerten Methananteils im Biogas einem Produktgas-Volumenstrom von  $17 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/(\text{m}^3_{\text{Reaktionsvolumen}} \cdot \text{d})$  entspricht.



Abbildung 16: Pilotreaktor auf der Kläranlage Garching.



**MATTHIAS  
STEINDL**

(M.Sc.)

08161/8640 3462

MATTHIAS.STEINDL  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

FACHAGENTUR NACH-  
WACHSENDE ROH-  
STOFFE E.V.

**KOOPERATION:**

KURATORIUM FÜR  
TECHNIK UND BAU-  
WESEN IN DER LAND-  
WIRTSCHAFT E.V.,  
INSTITUT FÜR BODEN  
UND UMWELT DER  
LUFÄ NORD-WEST

## Modellierung der Abbaukinetik von lignocellulosereichen Einsatzstoffen für die Flexibilisierung des Biogasprozesses in der Praxis

Biogas stellt einen beträchtlichen Anteil an der regenerativ erzeugten elektrischen sowie thermischen Nutzenergie in Deutschland dar. Darüber hinaus ist es in Gas speichern speicherbar oder kann nach Aufbereitung in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden. Aufgrund der Speicherfähigkeit eignet sich Biogas auch um das fluktuierende Angebot anderer regenerativer Energieträger auszugleichen. Neben der Speicherfähigkeit besteht auch die Möglichkeit, den Prozess der Biogasbildung selbst durch gezielte Substratdosierung flexibel zu gestalten. Die Produktion von Biogas erfolgt aber aktuell zu einem großen Teil aus nachwachsenden Rohstoffen. Das beträchtliche vorhandene Potential an landwirtschaftlichen Reststoffen wird hingegen aktuell noch kaum genutzt.



Abbildung 17: Landwirtschaftliche Biogasanlage.

Im Gegensatz zu nachwachsenden Rohstoffen zeichnen sich landwirtschaftliche Reststoffe i.d.R. durch einen deutlich höheren Gehalt an Lignocellulose aus. Lignocellulose stellt einen komplexen Bestandteil der Biomasse dar, der im Biogasprozess aufgrund seiner Struktur und Zusammensetzung nur stark verlangsamt bzw. nur teilweise umgesetzt werden kann. Dadurch reagiert der Biogasprozess vergleichsweise verlangsamt auf Substratzugaben und die Biogasausbeute ist verringert. Um die Biogasproduktion trotzdem flexibel gestalten und um die Biogasproduktion planen zu können, ist es erforderlich Vorhersagen zu treffen. Diese sollen anhand eines Modells ermöglicht werden, dass in der Lage ist, die Abbaukinetik von landwirtschaftlichen Reststoffen zu beschreiben.

Um dieses Modell zu definieren, soll an bestehende Vorarbeiten angeknüpft werden, in denen bereits ein Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung von nachwachsenden Rohstoffen und deren Abbaukinetik sowie deren spezifischen Methanpotential nachgewiesen werden konnte. In diesem Zusammenhang wird auch die Wirksamkeit verschiedener Aufbereitungsverfahren auf die Abbaukinetik und das Methanpotential von landwirtschaftlichen Reststoffen untersucht. Darüber hinaus ist geplant, auf der Grundlage des Modells eine Anwendung zu entwickeln, um die Ergebnisse für die Praxis nutzbar zu machen. Diese soll es Betreibern von Biogasanlagen ermöglichen, den Einsatz von landwirtschaftlichen Reststoffen für die Biogasproduktion zu planen.



**SHENBIN  
CAO**

(PH.D.)

089/289 13705

SHENBIN.CAO  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
ALEXANDER-VON-  
HUMBOLDT-  
STIFTUNG

**KOOPERATION:**  
UNIVERSITY OF  
QUEENSLAND,  
NORTHWESTERN  
UNIVERSITY

## Energieeffiziente kommunale Abwasserbehandlung mittels Anammox im Hauptstrom

Kommunale Kläranlagen geraten wegen des hohen Energieverbrauchs zunehmend unter Druck. Um dieses Problem anzugehen, wurden verschiedene Anammox-Verfahren auf der Grundlage der partiellen Nitritation (PN/A) entwickelt, da sie erhebliche wirtschaftliche Vorteile bieten und die Betriebskosten im Vergleich zu den derzeit verwendeten Nitrifikations-/Denitrifikationsverfahren um 85 % gesenkt werden können. Allerdings gibt es bisher noch keine großtechnische Anwendung im Hauptstrom. Die zentrale Herausforderung ist, nitritoxidierende Bakterien (NOB) wirksam zu unterdrücken, da ansonsten zu wenig Nitrit für die Aufrechterhaltung der Anammox-Aktivität zur Verfügung steht, was zu hohen Nitratkonzentrationen im Ablauf führt.

Wir haben ein neuartiges *Sidestream Enhanced Mainstream Anammox* (SEMA) Verfahren für eine energieeffiziente kommunale Abwasserbehandlung vorgeschlagen. Wie in Abbildung 18 dargestellt, werden die organischen Bestandteile des Rohabwassers in der A-Stufe zurückgewonnen, das Abwasser wird dem PN/A-Reaktor zugeführt, und ein kleiner Teil des Abwassers der A-Stufe wird zusammen mit Zentrat in den Nitritationsreaktor geleitet, um eine effiziente Nitritproduktion zu erreichen. Diese beiden Ströme werden dann zusammen mit einem kleinen Teil des Rohabwassers, das Organik zur Verbesserung der Denitrifikation für die In-situ-Nitratentfernung liefert, in den nachgeschalteten Anammox-Reaktor geleitet. Unter der Annahme, dass die Stickstoffbelastung des Nebenstroms 20 % derjenigen des Zulaufs beträgt und in der PN/A-Stufe eine Stickstoffentfernungseffizienz (NRE) von 60 % erreicht wird, ergab die Stickstoff-Massenbilanzanalyse, dass eine niedrige Gesamtstickstoffkonzentration (TN) im Abwasser von 5,1 mg<sub>N</sub>/L erreicht werden könnte.

Das SEMA-Verfahren bietet zahlreiche Vorteile in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Effektivität und Effizienz, die langfristige Stabilität. Durch eine einfache Steuerung können gute Ablaufqualitäten gewährleistet werden. Das Verfahren hat daher ein großes Potenzial für die großtechnische Anwendung. Im Gegensatz zu dem allgemein akzeptierten Standpunkt, dass eine Behandlung im Nebenstrom sinnvoll ist, sollten die Vorteile der integrierten Nebenstrombehandlung bei der Unterstützung von Anammox im Hauptstrom anerkannt werden. Die technologische Machbarkeit und die wirtschaftliche Tragfähigkeit des vorgeschlagenen SEMA-Verfahrens werden weiter geprüft.

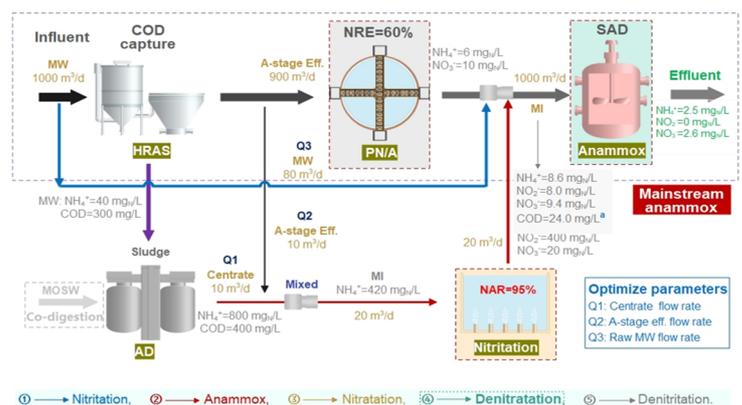


Abbildung 18: Schematische Darstellung des vorgeschlagenen SEMA-Verfahrens für eine energieeffiziente Abwasserreinigung.



**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.

Ein wichtiger Aspekt der Arbeitsgruppe ist dabei auch die Übertragung von Forschungsergebnissen aus dem Labormaßstab in eine großtechnische Umsetzung. Besonders bei der Entwicklung neuer Oxidationsverfahren ist der Schritt zur praktischen Anwendung trotz umfangreicher internationaler Forschung oft sehr langsam, was häufig an der mangelnden Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Laborergebnisse liegt. In Zusammenarbeiten mit Partnern aus dem In- und Ausland erarbeiten wir Empfehlungen für eine zielgerichtetere Untersuchung der neuen Verfahren.



Abbildung 19: Laborozonanlage zur Untersuchung der Spurenstoffentfernung und Desinfektion.



**EMIL  
BEIN**

(M.Sc.)

089/289 13708

EMIL.BEIN  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**  
TEL AVIV  
UNIVERSITY

## ISCO<sub>3</sub>: 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 eine gleichmäßige Verteilung von Gas und dadurch auch eine höhere Energieeffizienz im Vergleich zu konventionellen Methoden. Durch die Installation der Membranen als permeable reaktive Barriere wird eine effektive Entfernung von monozyklischen, aromatischen Schadstoffen (BTEX) angestrebt (Abbildung 20).

Für eine erfolgreiche Anwendung wird zunächst grundlegende Forschung über den passiven, blasenfreien Gaseintrag bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten im Labormaßstab betrieben (Abbildung 21). Die Tests mit verschiedenen Membranmaterialien sollen die optimalen Einsatzmöglichkeiten, ebenso die Limitierungen der Technologie aufzeigen. Mit der Modellsubstanz Benzoesäure werden Entfernungsversuche mit verschiedenen nachgeschalteten porösen Schichten unternommen, um die Ausbreitung des Ozons und den Einfluss reaktiver Elemente von Boden zu untersuchen.

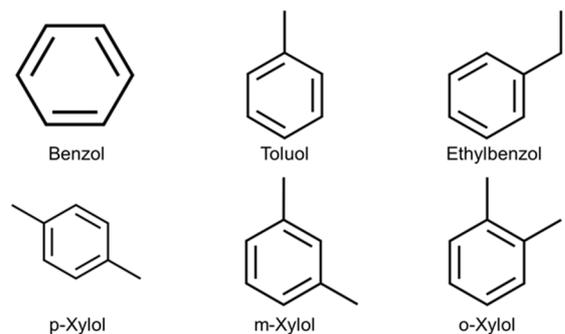


Abbildung 20: Die verschiedenen Verbindungen der „BTEX“.

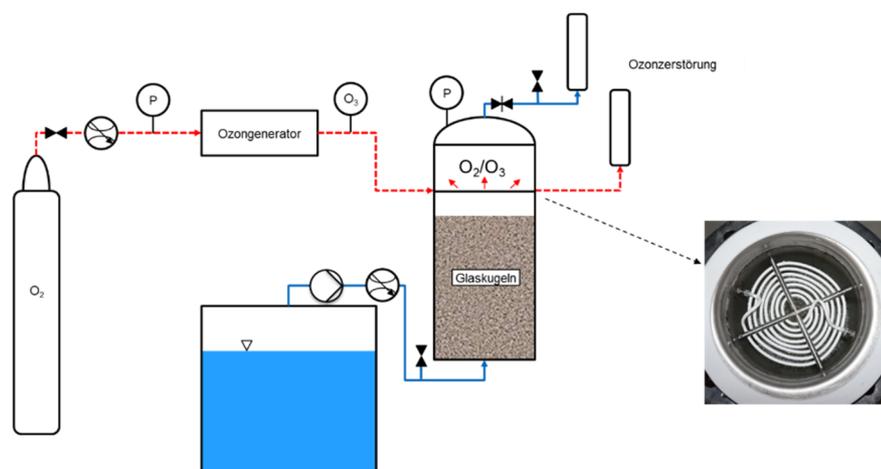


Abbildung 21: Experimenteller Aufbau für die Tests des in situ Ozoneintrages.

In weiteren Experimenten werden anschließend die Transformationsprodukte der BTEX nach Ozonung sowie deren biologische Abbaubarkeit untersucht, dies mit einem besonderen Fokus auf die synergistischen Effekte von Ozon im Zusammenspiel mit gebildeten Hydroxylradikalen.



**MILLARAY  
SIERRA OLEA**

(M.Sc.)

089/289 13780

MIA.SIERRA  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-  
GEMEINSCHAFT

**KOOPERATION:**

HELMHOLTZ-  
ZENTRUM  
UMWELTFORSCHUNG

## **FO<sub>3</sub>NC - Reaktivität und Transformation funktioneller Gruppen von Spurenstoffen und organischer Hintergrundmatrix bei der Ozonierung von Abwasser**

Die chemische Oxidation mit Ozon ist eine etablierte Technologie zur effizienten Oxidation von bedenklichen Schadstoffen (CEC) bei der Wasseraufbereitung. Ihr größter Nachteil ist die Bildung von Ozonierungsprodukten (OPs), die unbekannte und potenziell schädliche Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit haben können. Derzeit ist es nicht möglich, jeden einzelnen CEC, seine Reaktivität gegenüber Ozon, seine OPs und deren biologische Stabilität und Toxizität zu untersuchen. Daher ist die Gewinnung von Erkenntnissen auf der Grundlage einer systematischen Untersuchung der funktionellen Gruppen in den MKW ein Schlüsselfaktor für das Verständnis des Reaktionsmechanismus mit Ozon und dessen Verwendung. Diese Informationen werden die Vorhersage der Wechselwirkung zwischen Ozon und CECs ermöglichen, was unser Verständnis der Bildung und des Verhaltens von OPs verbessern wird.

Das Projekt zielt darauf ab, i) übertragbare Kenntnisse über die Reaktionswege von Chemikalien mit spezifischen funktionellen Gruppen bei der Behandlung mit Ozon zu gewinnen, ii) die Bildung von Ozonierungsprodukten (OPs) entsprechend der chemischen Struktur der untersuchten CECs vorherzusagen und iii) das Umweltverhalten von OPs (d. h. Persistenz und biologische Aktivität) in Abhängigkeit von ihrer chemischen Funktionalität zu charakterisieren.

Um unsere Ziele zu erreichen, schlagen wir die Verwendung des schweren Sauerstoffisotops (<sup>18</sup>O) vor, um ein schweres Ozonmolekül zu erzeugen, das mit den CECs reagieren und ihre OPs markieren kann. Diese Markierungsmethode wird den Nachweis, die Identifizierung und die Klärung der erzeugten OPs durch Massenspektrometrie erleichtern.

Bislang wurde die Markierungsmethode mit einem modifizierten Ozonierungssystem etabliert, das für den Betrieb mit schwerem Sauerstoff (<sup>18</sup>O<sub>2</sub>) optimiert wurde. Darüber hinaus wurde die Gültigkeit der Markierungsmethode mit einer Indikatorverbindung (Venlafaxin-N-oxid) zur Bestimmung des <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O-Verhältnisses bestätigt und zur Markierung von OPs aus sieben verschiedenen Verbindungen mit N- und S-haltigen funktionellen Gruppen angewandt. Auf diese Weise ist es möglich, OPs zu identifizieren, die durch eine Sauerstofftransferreaktion gebildet werden, wobei die Reaktionsstelle und die Verfügbarkeit der funktionellen Gruppe der Ausgangsverbindung hervorgehoben werden. Schließlich wird das Konzept nun angewandt, um die Stabilität der markierten OPs in biologischen Behandlungssystemen zu verfolgen und zu bewerten.





**EDWIN  
CHINGATE BARBOSA**

(M.Sc.)

089/289 13711

EDWIN.CHINGATE  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
EUROPÄISCHE  
KOMMISSION

**KOOPERATION:**  
KATALANISCHES  
INSTITUT FÜR  
WASSERFORSCHUNG

## Aufklärung von Stoffwechselstrategien für den Abbau von organischen Spurenstoffen unter oligotrophen und oxischen Bedingungen

NOWELTIES ist ein Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Network, das aus 14 einzelnen Forschungsprojekten besteht. Im Rahmen dieses Projekts wollen wir die Stoffwechselwege von TORCs aufklären.

Wir haben ein Retentostat-System (Abbildung 23) entwickelt, um den bakteriellen Metabolismus von TORCs unter stabilen oxischen und oligotrophen Bedingungen zu untersuchen. Anilin, Histidin und Di-Natriumsuccinat wurden als einzige Kohlenstoffquelle ausgewählt, um Bakterien aus Belebtschlamm anzupassen.

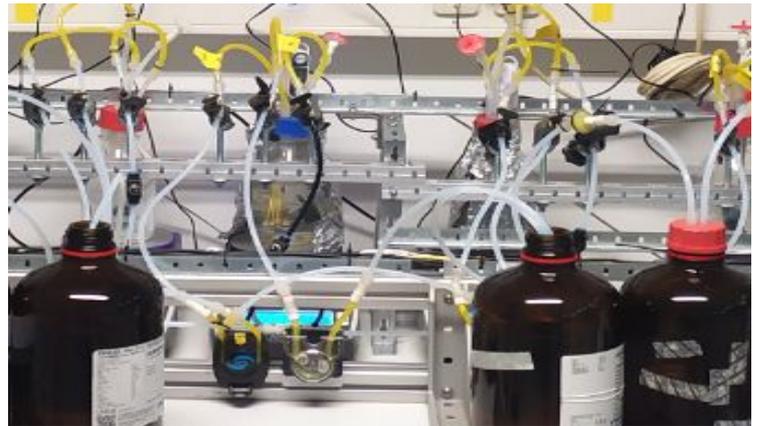


Abbildung 23: Derzeitiger Versuchsaufbau, der 10 parallele Experimente zulässt.

In 7-tägigen Expositionsversuchen zeigten die meisten Substanzen ein ähnliches Verhalten bei allen mikrobiellen Gemeinschaften (Abbildung 24). Für widerspenstige Verbindungen, wie Carbamazepin, Sulfamethoxazol und Atenolol wurden von allen mikrobiellen Gemeinschaften umgewandelt.

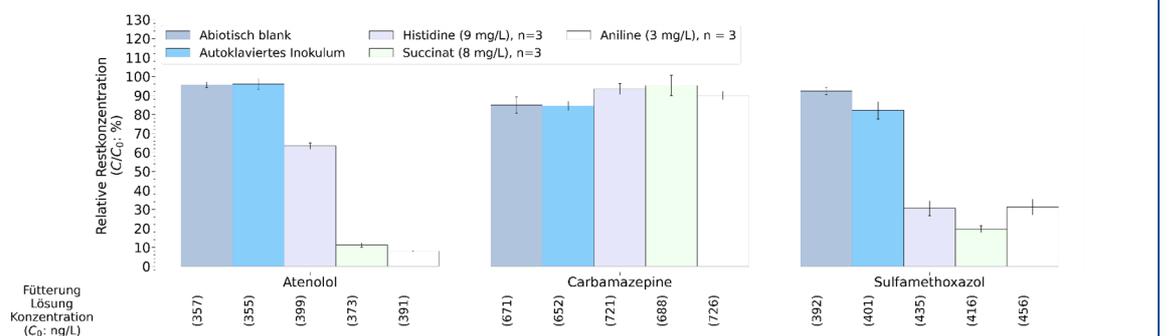


Abbildung 24: Relative Restkonzentration ( $C/C_0$ ) ausgewählter TORCs nach Behandlung mit verschiedenen mikrobiellen Gemeinschaften und abiotischen Kontrollen.



**ANNA SONIA  
KAU**

(M.Sc.)

089/289 13716

SONIA.KAU  
@TUM.DE

FÖRDERUNG:  
BAYERISCHES  
LANDESAMT FÜR  
UMWELT

## Elimination von Spurenstoffen auf kleinen Kläranlagen am Fallbeispiel der Kläranlage Irschenberg (<10.000 EW)

Im Rahmen einer geplanten Novellierung des Abwasserabgabengesetzes (AbwAG) wird in Deutschland derzeit über eine zusätzliche Reinigungsstufe zur weitergehenden Abwasserbehandlung diskutiert. Mit dieser sollen Gewässerbelastungen mit Spurenstoffen reduziert werden. Spurenstoffe wie zum Beispiel Medikamente, Pflanzen- oder Korrosionsschutzmittel gelangen ins Gewässer, da sie von konventionellen Abwasserbehandlungsanlagen nicht entfernt werden können. Infolgedessen treten unter anderem nachteilige Effekte bei aquatischen Organismen auf. Verfahren zur Entfernung von Spurenstoffen haben sich bisher vor allem auf mittleren bis großen Kläranlagen (KA) bewährt. Jedoch kann auch für kleinere KA im Bereich von 2.000-10.000 EW eine Spurenstoffentfernung in Frage kommen, da diese oftmals in sehr kleine und empfindliche Gewässer einleiten.

In diesem vom LfU geförderten Projekt soll eine Entwicklung und Erprobung kostengünstiger und wartungsarmer Lösungen zur Entfernung von Spurenstoffen auf kleinen KA erfolgen. Für die Umsetzung des Projekts wurde die KA Irschenberg (7.000 EW) als Fallbeispiel ausgewählt, die im Rahmen eines Neubaus der KA mit einer Nachbehandlung in einem Vertikalfilter (VFCW) ausgestattet werden soll. Zur Elimination der Spurenstoffe ist geplant, den Filter mit einer Mischung aus Sand und Aktivkohle (GAK) auszustatten.

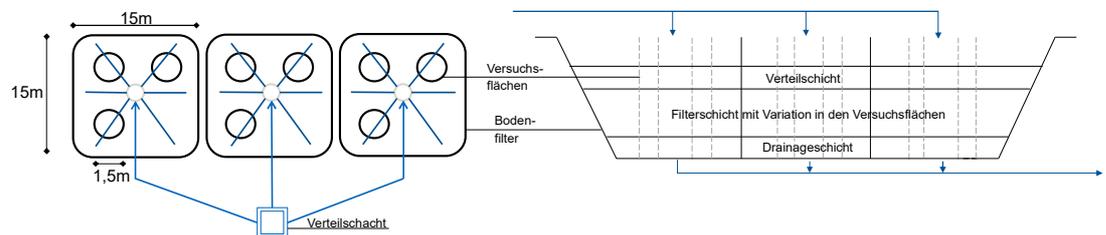


Abbildung 25: Bodenfilter Draufsicht und Querschnitt

Für den großtechnischen Versuch an der Kläranlage wird zu Beginn des Projekts das konzeptionelle Design des Bodenfilters festgelegt, um den Planungsentwurf für den Bau und die Ausstattung erstellen zu können. Zur Simulation der Bodenfilter werden am Technikum der TUM Lysimeter eingesetzt. Hier können Variablen wie das Beschickungsregime, der Sättigungszustand oder die hydraulische Aufenthaltszeit und deren Auswirkungen auf die Eliminationsleistung im Filter untersucht werden.

Im weiteren Projektverlauf werden Untersuchungen zu alternativen Konzepten für eine weitergehende Spurenstoffelimination auf kleinen Kläranlagen durchgeführt. Weiterhin wird eine Kosten-Nutzen-Analyse der verschiedenen Verfahrensvarianten erstellt. Nach Neubau der Kläranlage wird der Betrieb auf der KA Irschenberg wissenschaftlich begleitet, um die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit der bepflanzten Bodenfilter zu beurteilen. Abschließend wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse für andere Anlagen in Bayern geprüft.



Abbildung 26: Lysimeter.



**MARTIN  
BEHRINGER**

(M.Sc.)

089/289 27198

MARTIN.BEHRINGER  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-GE-  
MEINSCHAFT

**KOOPERATION:**

CENTRUM BAU-  
STOFFE UND MATERI-  
ALPRÜFUNG DER  
TUM

## Grundlagenforschung zu Reinigungsmechanismen von Zementsteinfiltern bei der Behandlung von Abwässern der Textilindustrie

Textilabwässer sind vielseitig zusammengesetzt und enthalten neben Farbstoffen zusätzlich Elektrolyte, Weichmacher und Dispergiermittel, welche meist in Form von Färbesalzen zugegeben werden. Textilabwässer stellen daher eine Herausforderung für die Abwasserbehandlung dar. Besonders Azofarbstoffe sind aufgrund ihrer chemisch komplexen Strukturen in Kombination mit Färbesalzen schwer mit konventioneller Abwasserbehandlung (mechanisch-physikalisch und biologisch) zu entfernen. Diese stoßen daher bei Textilabwässern schnell an ihre Einsatzgrenzen oder sind zu energieaufwendig, kostenintensiv und anspruchsvoll für den Einsatz in ärmeren Regionen. Textilfabriken sind jedoch überwiegend in armen Regionen dieser Welt angesiedelt sind, zu nennen sind hier vor allem Zentren der Textilindustrie in Südasien und Indien, wie Bangladesch, Gujarat und Balotra. Kostengünstige Behandlungsmethoden sind daher wichtig für die Umsetzbarkeit einer adäquaten Behandlung der Textilabwässer zum Schutz der Gewässer. Am vielversprechendsten für eine kostengünstige Lösung sind Adsorptionsmethoden.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die grundlegende Untersuchung der Oberflächenwechselwirkungen von Zementstein mit relevanten Farbstoffen aus der Textilindustrie sowie der Entwicklung eines kostengünstigen Adsorptionsfilters.



Abbildung 27: Zementsteingranulate vor (links) und nach (rechts) der Farbbeaufschlagung mit Remazol Brilliant Blau.

Es werden Adsorbentien basierend auf hüttensandhaltigem Zementstein mit verschiedenen Korngrößen hergestellt, die Farbstoffe und Färbesalze adsorbieren. Festgestellte Entfärbeprozesse an den Zementsteinoberflächen werden dabei genauer untersucht, um ein besseres Verständnis über die zu Grunde liegenden Mechanismen zu erlangen. Es wird geklärt, ob es sich bei der Entfärbung um reine Adsorptionsprozesse an der Zementsteinoberfläche handelt oder ob auch Abbau- bzw. Metabolisierungsprozesse eine Rolle spielen. Hierzu bildet eine detaillierte Analytik die Grundlage zur Klärung der Prozesse.

Das Forschungsvorhaben (AG Helmreich) wird gemeinsam mit dem Centrum für Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der TU München durchgeführt.



**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 Veränderungen im Landschaftswasserhaushalt, 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. Daneben ist die Wasserwiederverwendung eine interessante Stützungsmöglichkeit für eine künstliche Grundwasseranreicherung. Ebenfalls gefördert durch das BMBF erproben wir seit 2022 gemeinsam mit den Berliner Wasserbetrieben im Rahmen des Vorhabens ‚TrinkWave Transfer‘ auf einem ehemaligen Wasserwerksstandort dazu entsprechende Konzepte.



**CHRISTOPH  
SCHWALLER**

(DR.-ING.)

089/289 13733

C.SCHWALLER  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**

BRANDT GERDES  
SITZMANN UMWELT-  
PLANUNG GMBH,  
ALB BAYERN E.V.,  
COPLAN AG, HO-  
LINGER AG, RHEI-  
NISCH-WESTFÄLI-  
SCHES INSTITUT FÜR  
WASSERFORSCHUNG  
GEMEINNÜTZIGE  
GMBH, LEIBNIZ-RE-  
CHENZENTRUM  
(WEITERE PARTNER  
SIEHE NÄCHSTE  
SEITE)

## 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. Deshalb wurde in dieser Region das sogenannte Nutzwasserprojekt initiiert. Ziel des Nutzwasserprojektes ist es, Managementstrategien für eine Wasserwiederverwendung zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung praxisnah zu entwickeln und im Rahmen relevanter Demonstrationen mit Praxispartnern so zu optimieren, dass eine Implementierung in anderen Zielregionen beschleunigt wird.

Das 3-jährige Forschungsvorhaben ist in unterschiedliche Arbeitspakete gegliedert:

- Ausarbeitung der Voraussetzungen für eine genehmigungsrechtliche Implementierung einer Nutzwasseranwendung
- Festlegung von Wasserqualitätsanforderungen für unterschiedliche Bewässerungspraktiken
- Entwicklung von digitalen Ansätzen zur automatisierten Erfassung und Archivierung des Bewässerungsbedarfs
- Implementierung innovativer Multibarrieren-Behandlungsverfahren zur effizienten Reduktion von mikrobiologischen und chemischen Kontaminanten
- Erarbeitung einer automatisierten, bedarfsgerechten Bereitstellung von Nutzwasser
- Konzeption von angepassten Betreibermodellen
- Einbettung des Vorhabens in einen interaktiven Stakeholderprozess sowie
- Einrichtung einer innovativen Öffentlichkeitsarbeitsplattform

Mehr Informationen zum Vorhaben finden Sie hier: <https://www.nutzwasser.org/public/index.html>.



Abbildung 28: Luftbild der Demonstrationsanlagen auf dem Betriebsgelände der Stadtentwässerung Schweinfurt.



**JAVAD  
AHMADI**

(M.Sc.)

089/289 13733

J.AHMADI  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**

BAYERISCHE LAN-  
DESANSTALT FÜR  
WEINBAU UND GAR-  
TENBAU, WASSER-  
WIRTSCHAFT DER RE-  
GIERUNG VON UN-  
TERFRANKEN, DEUT-  
SCHER VEREIN DES  
GAS- UND WASSER-  
FACHES E.V., XYLEM  
WATER SOLUTIONS  
DEUTSCHLAND  
GMBH, STADTENT-  
WÄSSERUNG  
SCHWEINFURT

## Nutzwasser, die alternative Wasserresource für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke mittels Aufbereitung über Hybrid-Membran-Ozonierung System

Die Weltbevölkerung wächst ständig, aber die natürlichen Ressourcen bleiben konstant und werden von den Menschen bisher nicht nachhaltig genutzt. Wasser ist eine der stärksten gefährdeten Ressourcen in Bezug auf Qualität und Quantität. Daher ist die Bereitstellung alternativer Lösungen für die Nutzung von sauberem Frischwasser für verschiedene Anwendungen (z.B. Bewässerung und industrielle Anwendungen) von entscheidender Bedeutung für die Bewältigung dieser Herausforderungen. Das Potenzial des Ausbaus von Wasserwiederverwendungsanlagen ist selbst in wasserreichen europäischen Ländern wie Deutschland sehr hoch.

Bei der Wasserwiederverwendung kann kein einzelnes Aufbereitungsverfahren alle Verunreinigungen entfernen. Daher wird im Projekt Nutzwasser ein hochflexibles Wasseraufbereitungssystem mit mehreren Barrieren entwickelt, das eine sichere Wasserqualität für urbane und landwirtschaftliche Bewässerungszwecke gewährleistet. Jede Barriere des Systems ist für die Entfernung von unterschiedlichen Kontaminationen verantwortlich, wie z.B. mikrobielle und chemische Verunreinigungen, die im Kläranlagenablauf (System Zulauf) vorhanden sind. Der Nutzwasser-Aufbereitungszug umfasst eine keramische Ultrafiltrationsmembran (UF), eine Oxidationsstufe (Ozon), einen biologischen Aktivkohlefilter und eine abschließende UV-Desinfektionseinheit. Die Überwachung dieser Systeme erfolgt durch Online-Überwachung in Echtzeit und wöchentliche Laboranalysen. Die Rolle der keramischen UF im Nutzwasser-Wiederverwendungssystem zur Entfernung von Krankheitserregern und die betrieblichen Vorteile der vorgeschalteten UF auf nachgeschaltete Aufbereitungssysteme wurden bereits untersucht.

Weitere Ziele dieser Studie sind die Optimierung der Betriebsstabilität der UF-Membran und die Entfernung von organischen Spurenstoffen (TOCs). Die im Rahmen des Nutzwasser-Projekts in Betracht gezogenen Vorbehandlungsschritte für keramische UF-Membranen umfassen die Inline-Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) und Ozon vor den UF-Membranen.

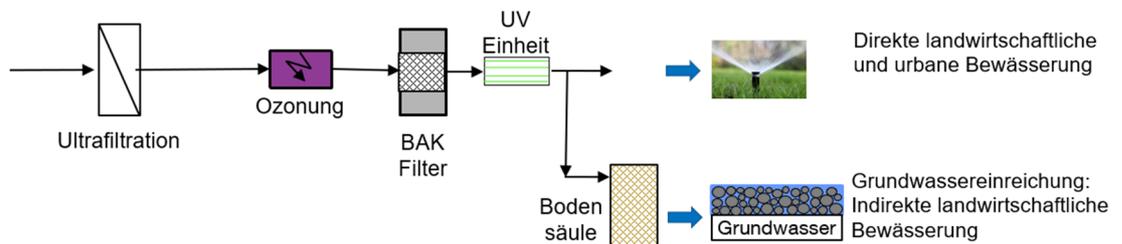


Abbildung 29: Multibarrieren- Behandlungssystem des Nutzwasser-Projekts zur Wasserwiederverwendung.



**JONAS  
ANIOL**

(M.Sc.)

089/289 13707

JONAS.ANIOL  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**

BERLINER WASSER-  
BETRIEBE, BRANDT  
GERDES SITZMANN  
UMWELTPLANUNG  
GMBH,  
CARL VON OSSIETZKY  
UNIVERSITÄT OLDEN-  
BURG

## 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.

Das anschließende BMBF-Verbundvorhaben TrinkWave Transfer erprobt nun die großtechnische Umsetzung des SMART Verfahrens in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben und weiteren Kooperationspartner. Dies erfolgt auf dem ehemaligen Wasserwerkstandort Berlin-Johannisthal, wo das Verfahren in seiner optimierten Form mit integrierter Sickerschlitzgrabentechnologie und aktiver hydrologischer Steuerung im Untergrund demonstriert werden soll. Dabei fließen die bisher gewonnenen Erkenntnisse aus dem Vorgängerprojekt sowie aus dem technischen Pilotsystem SMARTplus in die Planung und Umsetzung mit ein.

Neben der wissenschaftlichen Begleitung der Feldstudie in Berlin erfolgt an der TUM in Garching die Untersuchung und Weiterentwicklung des SMARTplus Systems. Mit Hilfe der innovativen, halbtechnischen Anlage zur Simulation von SMARTplus soll die Leistungsfähigkeit zur Reduzierung (Biotransformation) 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 Ansetzen zur verbesserten und automatisierten Regelung des SMARTplus Systems in Echtzeit untersucht werden.

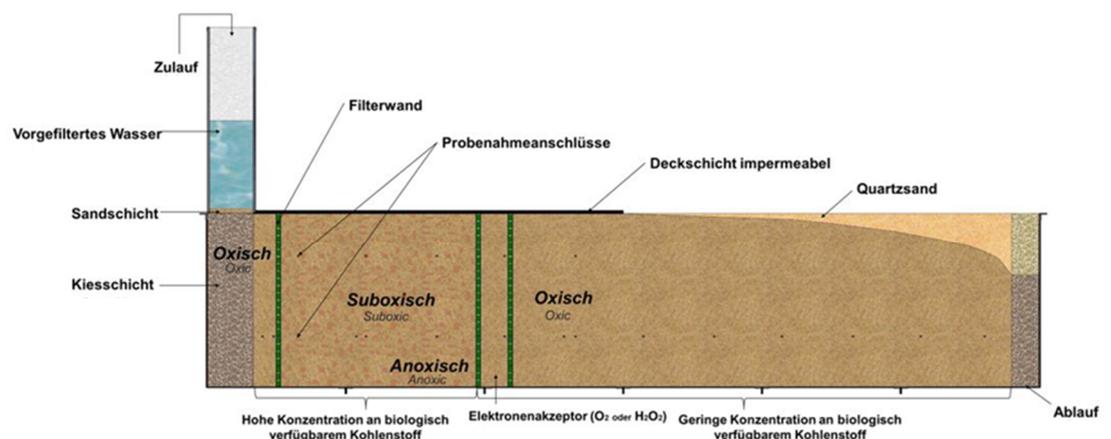


Abbildung 30: Planungsmodell der halbtechnischen Versuchsanlage SMARTplus an der TUM (verändert nach Karakurt-Fischer et al., 2020).



**DAPHNE  
KEILMANN-  
GONDHALEKAR**

(PH.D.)

089/289 22377

D.GONDHALEKAR  
@TUM.DE

## Forschungsgruppe Urban Water-Energy-Food 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 katastrophische klimatische Veränderungen zu verhindern.

Der Water-Energy-Food (WEF) Nexus Ansatz bietet eine Möglichkeit, wie Städte sich nachhaltiger entwickeln können. Der Ansatz besagt, dass viel Energie gebraucht wird, um Wasser in Städten bereitzustellen, und dass viel Wasser gebraucht wird, um Energie und Nahrung zu erzeugen. 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) analysiert die Urban WEF Nexus Forschungsgruppe die Interaktionen der Sektoren Wasser, Energie, und Nahrung, sowie anderer relevanter Sektoren wie Mobilität, Abfall, Gesundheit und Ökosystem Dienstleistungen, und leitet alternative Szenarien für die zukünftige urbane Entwicklung daraus ab, die der Entwicklung von Pilot Projekten in urbanen Maßstäben dienen. Nexus@TUM will aufbauend auf einer umwelttechnischen Perspektive alle drei Säulen der Nachhaltigkeit integrieren und diese gleichermaßen mit gesellschaftlichen, institutionellen, rechtlichen, politischen und wirtschaftlichen Aspekten verbinden. Nexus@TUM erkennt ferner an, dass das vorliegende Thema gleichermaßen Kontexte in Entwicklungsländern wie entwickelte Länder betrifft. Die Forschungsgruppe arbeitet zu verschiedenen Fallstudien in Deutschland, Ghana, Indien, und Niger.

Mehr Informationen finden sich hier: [www.nexus.wasser.tum.de](http://www.nexus.wasser.tum.de)



**DAPHNE  
KEILMANN-  
GONDHALEKAR**

(PH.D.)

089/289 22377

D.GONDHALEKAR  
@TUM.DE

## **WEF Nexus Pilotprojekt in Reto Dosso, Niger: Nachhaltige Wasserversorgung mit Analyse von Wasserrückgewinnungs- und integrierten Ressourcenrückgewinnungspotenzialen im Rahmen einer Klimaanpassungsstrategie**

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 mithilfe 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.

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 Grundlage 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.



*Abbildung 31: Daresalam reto dosso Region Niger.*

Pressemitteilung: [https://www.th-koeln.de/hochschule/solaranlage-fuer-die-lokale-wirtschaft\\_76314.php](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

## **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>.

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.



Abbildung 32: Leh, indischer Himalaya.



**JOHANNES  
WINKLMAIER**

(DIPL.-ING.)

089/289 13711

JOHANNES.  
WINKLMAIER  
@TUM.DE

## **SEED-Himalaya: Sustainable Energies, Entrepreneurship and Development in rural Kashmir**

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, 2022-2025) im Programm der Internationalen Klimaschutzinitiative (IKI) gefördert.

Die Lebensgrundlage der ländlichen Bevölkerung in Jammu und Kaschmir ist durch den Klimawandel besonders bedroht, da sich unterschiedliche Niederschlagsmuster und häufigere Extremwetterereignisse in Kombination mit einer unzuverlässigen Energieversorgung negativ auf die lokale Landwirtschaft auswirken. Dies führt zu wirtschaftlichem Stress, Armut und eingeschränkten Beschäftigungsmöglichkeiten, insbesondere für die Jugend.

SEED Himalaya zielt darauf ab, die abgelegene Himalaya-Gemeinde Jabri bei ihrer Umwandlung in eine klimaresistente und wirtschaftlich fähige Gemeinde zu unterstützen. Dies soll durch eine gemeindebasierte, dezentrale Energieversorgung sowie lokale Wertschöpfung in der Landwirtschaft erreicht werden. Der integrative Bottom-up-Entwicklungsplan, der sowohl grüne Infrastruktur als auch sozioökonomische Strukturen umfasst, ist auf die lokalen Ressourcen, Kapazitäten und Bedürfnisse zugeschnitten. Dies sichert die Nachhaltigkeit des Projekts und ermöglicht die Nachahmung seines Ansatzes in anderen Himalaya-Gemeinden.



*Abbildung 33: Wasserrad in Jabri, Kaschmir.*



**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 dem BMBF-Projekt PULB 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.

Im Rahmen eines neuen von der DFG geförderten Vorhabens in Zusammenarbeit mit der Universität Duisburg-Essen untersuchen wir die Minimierung des Membranfoulings durch modifizierte Membran- und Spacerkonfigurationen.



**PHILIPP  
SPERLE**

(M.Sc.)

Bis 09/2022

PHILIPP.SPERLE  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

**KOOPERATION:**  
UV-EL GMBH,  
DELTA  
UMWELTECHNIK  
GMBH

## 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 34). 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 Entfernbareit 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 Bestrahlungsstärken geben.

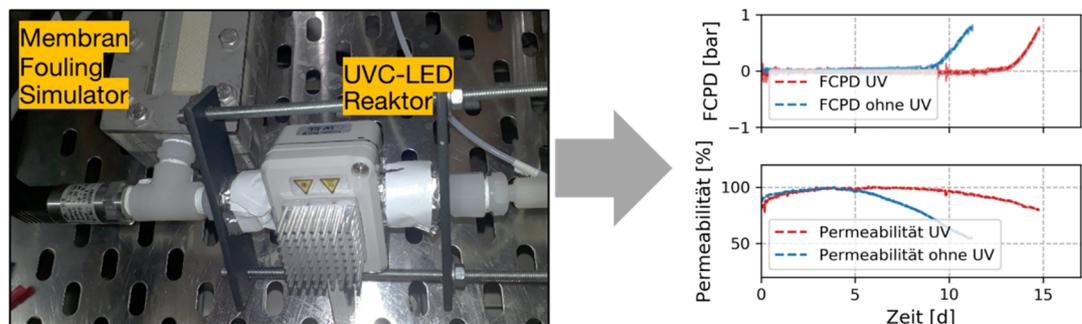


Abbildung 34: UVC-LED angeschlossen an einem Membran Fouling Simulator und die Auswirkungen der UV-Vorbehandlung auf den Anstieg des Druckverlustes im Zulaufkanal (FCPD) sowie dem Verlust an Permeabilität (Sperle et al., Membranes 2020, 10, 415).



**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 werden weltweit bakterielle Infektionen in der Human- und Veterinärmedizin behandelt. In der Aquakultur werden Antibiotika als Wachstumsförderer eingesetzt. Da Menschen und Tiere Antibiotika nicht vollständig metabolisieren können, gelangen große Mengen an Antibiotika und antibiotikaresistenten Bakterien, abgegeben über Ausscheidungen, in den sogenannten urbanen Wasserkreislauf (Abwasser, Klärschlamm, Gülle, Oberflächenwasser, Trinkwasser).

Die Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen wurde im 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 Trinkwasser im Rohwasser zu bewerten.

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

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

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



**ALEXANDER  
MITRANESCU**

(M.Sc.)

089/289 13709

ALEXANDER.  
MITRANESCU  
@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*

DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-  
GEMEINSCHAFT

*KOOPERATION:*

LEHRSTUHL FÜR  
MECHANISCHE  
VERFAHRENSTECHNIK  
/ WASSERTECHNIK  
DER UNIVERSITÄT  
DUISBURG-ESSEN

## **FreeSpace: Grundlagenforschung zur Ausnutzung hydrodynamischer Effekte zur Verringerung des Membranfoulings durch die Einführung spezieller Anordnungen neuartiger Feed-Spacer-Geometrien in Kombination mit unregelmäßigen Membranoberflächenmustern**

In diesem DFG-geförderten Forschungsprojekt planen wir, synergistische Einflüsse der Membranoberflächenmuster und der Feed-Spacer-Geometrie auf die Fluidynamik und die Partikelabsetzmechanismen im Feed-Konzentrat-Kanal unter bestimmten Betriebsbedingungen zu untersuchen. Diese Forschung wird unser Verständnis der fundamentalen Designkriterien, die die Gesamtleistung des Moduls bestimmen, fördern. Mit diesem Verständnis werden wir spezielle Anordnungen von Feed-Spacern und Membranoberflächenmustern entwickeln. Wir nehmen an, dass dieses neuartige Entwicklungskonzept höhere Verfahrenseffizienz, längere Lebensdauer der Module und geringeren Energieverbrauch ermöglicht.

Biofouling (Akkumulation von Mikroorganismen und anschließendes Biofilmwachstum auf der Membran) ist insbesondere in Nanofiltration- und Umkehrosmose-Membranfiltrationsanlagen relevant. Daher führen wir beschleunigte Biofouling-Experimente mit semi-synthetischem Feed durch, um die räumliche und zeitliche Entwicklung von Biofouling auf Membranen mit Oberflächenmustern zu verstehen. Ein vordefiniertes Biofouling-Protokoll ermöglicht uns die wohldefinierte und reproduzierbare Durchführung der Biofouling-Experimente.

Parallel zu diesem experimentellen Ansatz erstellen wir ein CFD-Modell der fluid-dynamischen Verhältnisse im Feed-Konzentrat-Kanal mit oberflächengemusterten Membranen. CT-Aufnahmen gewährleisten eine präzise Darstellung der Feed-Spacer-Geometrie. Wir planen mit diesem CFD-Modell sowohl die Fließbedingungen auf Makroebene im gesamten Feed-Konzentrat-Kanal als auch die Fließbedingungen auf Mikroebene in direkter Nähe der Membranoberflächenmuster zu untersuchen.



**CHRISTIAN  
WURZBACHER**

(DR. RER. NAT.)

089/289 13797

C.WURZBACHER  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme

---

Die Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe Mikrobielle Systeme befasst sich mit der Untersuchung mikrobieller Prozesse in aquatischen und technischen Systemen, von der biologischen Abwasserreinigung bis hin zu Ökosystemen in Oberflächengewässern. Mikroorganismen sind winzige, aber lebenswichtige Organismen, die die Ressourcen unseres Planeten recyceln, unsere Biosphäre im Gleichgewicht halten und damit wichtige Ökosystemleistungen erbringen. Wir interessieren uns für die Mikrobiome der technischen und natürlichen Wassersysteme. Unser übergeordnetes Ziel ist es daher, Instrumente zu entwickeln, mit denen Mikroben und ihre Funktionen in Wassersystemen gezielt gemessen und qualitativ bewertet werden können. Wir führen hypothesengeleitete und deskriptive Forschung durch, die es ermöglicht, Mikroben mit Ökosystemdienstleistungen zu verknüpfen.

Unsere Forschung konzentriert sich dabei auf die Interaktion und Diversität von Organismen in mikrobiellen Biofilmen mit einem Schwerpunkt auf Pilzen und deren Funktion. Pilze produzieren sehr effiziente Exoenzyme, welche schwer abbaubare organische Substanzen umwandeln können. Von besonderem Interesse sind die weitgehend unerforschten aquatischen Pilze und ihre vielfältigen Funktionen in der Umwelt. Weitere Forschungsarbeiten befassen sich mit der Charakterisierung der taxonomischen und funktionellen Vielfalt mikrobieller Gemeinschaften mit spezifischen Funktionen, z. B. im Hinblick auf mikrobiellen Abbau oder Antibiotikaresistenzgene im Wasserkreislauf. Hier konzentrieren wir uns auf verschiedene Biomarker. Zuletzt haben wir das Potenzial von Biomarkern im Abwasser durch die Quantifizierung von Biomarkern aus dem SARS-CoV-2-Virus untersucht, um damit die Pandemieentwicklung in einem Einzugsgebiet zu erfassen.



**MARIANA  
KLUGE**

(Ph.D.)

089/89 13720

MARIANA.KLUGE  
@TUM.DE



**ANNA  
UCHAIKINA**

(M.Sc.)

089/89 13712

ANNA.UCHAIKINA  
@TUM.DE



**CHRISTINE  
WALZIK**

(M.Sc.)

089/89 13705

CHRISTINE.WALZIK  
@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 35). 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.

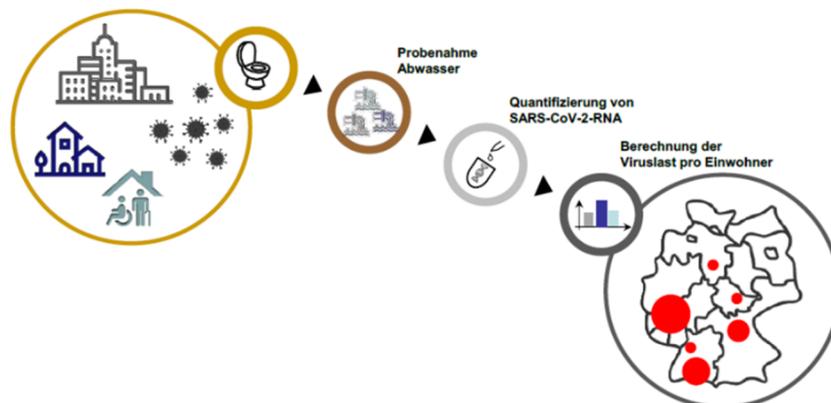


Abbildung 35: Konzept des Abwassermonitorings von SARS-CoV-2. Bild: Johannes Ho, Claudia Stange. Kollaborationspartner TZW Karlsruhe. Förderung BMBF



**ANNA  
UCHAIKINA**

(M.Sc.)

089/289 13712

ANNA.UCHAIKINA  
@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND  
FORSCHUNG

*KOOPERATION:*  
DVGW-  
TECHNOLOGIE-  
ZENTRUM WASSER

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

SARS-CoV-2-Biomarker können als zusätzlicher Indikator für das Pandemiemanagement im Rahmen der abwasserbasierten Epidemiologie verwendet werden. Dafür muss die Menge der Biomarker im Abwasser zuverlässig nachgewiesen werden, was mit der Untersuchung der Auswirkungen des Transportes im Kanalsystem und mit einer anschließend repräsentativen Probenahme beginnt.

**Kanalnetz:** Der Transport von SARS-CoV-2 Biomarkern in der Kanalisation resultiert in biochemischen Veränderungen, die die Wiederfindung aus kommunalem Abwasser negativ beeinflussen können. In Zusammenarbeit mit der Münchner Stadtentwässerung sind Messungen im ca. 9 km lange Kanalstück zwischen den beiden Münchner Klärwerken Gut Großlappen und Gut Marienhof und in einem kürzeren Kanalstück über ca. 300 m im Münchner Stadtteil Hasenberg geplant. Dabei wird der Einfluss verschiedener Faktoren wie Verweilzeit, Temperatur, pH und Redoxverhältnisse auf den Abbau von SARS-CoV-2 Biomarkern in der Kanalisation geprüft.

**Tagesschwankungen:** Aufgrund des charakteristischen Ausscheidungsverhaltens unterliegt das Vorkommen von SARS-CoV-2 Biomarkern im Abwasser tageszeitlichen Schwankungen. Es wird davon ausgegangen, dass das tageszeitliche Sukzessionsmuster mit der Menge der angeschlossenen Einwohner in Verbindung steht. Um dies zu untersuchen, wurden 7 Gemeinden mit Einwohnerzahlen zwischen 1,1 Millionen und 8100 angeschlossenen Einwohnern über 48 Stunden beprobt. Die Proben wurden auf 4 SARS-CoV-2 Biomarker und weitere Surrogatparameter (PMMoV, Durchfluss, Ammonium, TOC, elektr. Leitfähigkeit und verschiedene Spurenstoffe) untersucht. Erste Ergebnisse zeigen unterschiedliche Tagesverläufe der Biomarkerkonzentrationen für die unterschiedlichen Gemeinden, wie in Abbildung 36 dargestellt.

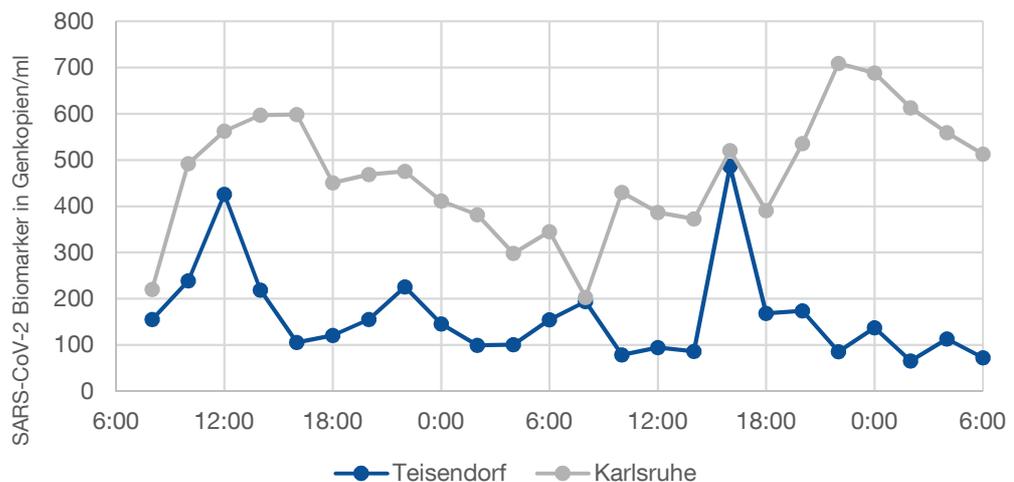
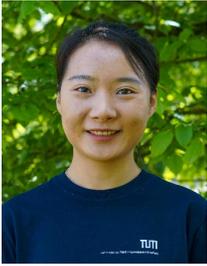


Abbildung 36: Tagesschwankungen von SARS-CoV-2 Biomarkern in Teisendorf und Karlsruhe.



**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, Körperpflegeprodukte 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 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 hoch diversen mikrobiellen Gemeinschaften in der Umwelt beruhen, erschwert jedoch die Erforschung der Biotransformationsmechanismen von TOrcs, so dass diese bis heute schwer zu entschlüsseln sind. Ziel dieser Studie ist es, die "Black Box" der TOrc-Biotransformation durch vereinfachte "Modellgemeinschaften" aufzudecken. Modellgemeinschaften mit reduzierter Komplexität, die entweder auf einen geringen Artenreichtum oder auf die Dominanz einer oder weniger Populationen zurückzuführen sind, sind hierbei vielversprechend. Eine Modellgemeinschaft ist definiert als eine geschlossene Ansammlung von Mikroorganismen, die das systemische Verhalten ökologischer Gemeinschaften unter kontrollierten Bedingungen darstellt oder nachahmt.

Die Modellgemeinschaften werden aus der natürlichen Umwelt gewonnen, darunter Sedimentkerne (Osterseen, Bayern), technischer Sand (Biofiltrationssäule im Labormaßstab, Garching), Leitungswasser (Garching) und Boden (Garching). Diese Inokula werden dann sechs Monate lang an eine hohe Konzentration gemischter TOrcs adaptiert, bevor sie für die Generierung von Modellgemeinschaften verwendet werden. Die erfolgreich gebildeten Gemeinschaften werden dann auf ihre Diversität untersucht und in Biotransformationsexperimenten verwendet. In zukünftigen Arbeiten werden Metagenom-Sequenzierung und bioinformatische Analysen eingesetzt, um die funktionellen Gene und Enzyme im TOrc-Biotransformationsprozess sowie die mikrobiellen Interaktionen in Modellgemeinschaften zu untersuchen.

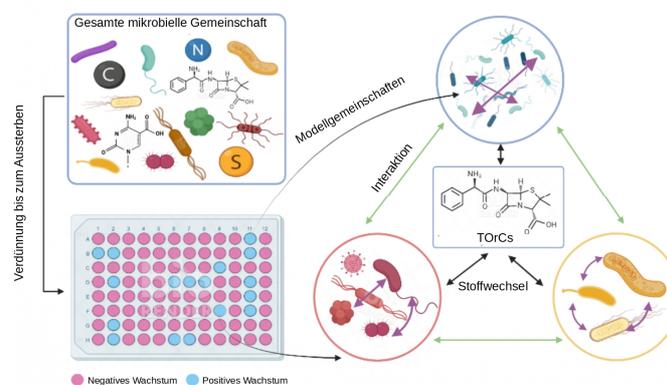


Abbildung 37: Schema der Biotransformation von TOrcs durch mikrobielle Modellgemeinschaften.



**ALI  
NAWAZ**

(DR. RER. NAT.)

089/289 193714

ALI.NAWAZ  
@TUM.DE



**JOANA  
DA VENDA MARIZ**

(M.Sc.)

JOANA.MARIZ  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-  
GEMEINSCHAFT,  
INTERACT  
EUROPLANET 24

**KOOPERATION:**  
LEIBNIZ-INSTITUT FÜR  
GEWÄSSER-  
ÖKOLOGIE UND  
BINNENFISCHEREI,  
GOTHEBURG  
UNIVERSITY,  
YOKOHAMA  
UNIVERSITY

## Aufspüren der „dunklen Materie“-Pilze in verschiedenen aquatischen Lebensräumen mit fortschrittlichen mikroskopischen und molekularen Methoden

Pilze spielen eine Schlüsselrolle beim Abbau organischer Stoffe und beim Nährstoffkreislauf, und 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 unbekanntem Pilzen ist in aquatischen Lebensräumen noch ausgeprägter. Mykologen haben kulturunabhängige Sequenzierungstechnologien der nächsten Generation eingesetzt, um diese Lücke zwischen bekannten und unbekanntem 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 haben wir als Teil der Microbial System Research Group erfolgreich einen Arbeitsablauf etabliert, der die Laser-Mikrodissektion einzelner Pilzzellen mit der Amplifikation ganzer Genome und der Long-Read-Sequenzierung kombiniert. Wir haben verschiedene aquatische Lebensräume auf die Jagd nach bestimmten Pilzgruppen getestet, z. B. aquatische Hyphomyceten (bekannt für den Abbau von Laubstreu) und Chytriden (parasitische Pilze) - mit Erfolg. Die Erfolgsquote liegt zurzeit bei 59 % für die Amplifikation der kurzen ITS-Region und bei 24 % für die langen ribosomalen Operonregionen der rDNA. Dieser Arbeitsablauf ermöglichte es uns, die taxonomische und phylogenetische Einordnung einer unbekanntem Pilzart innerhalb von einer Woche zu bestimmen (Abbildung 38).

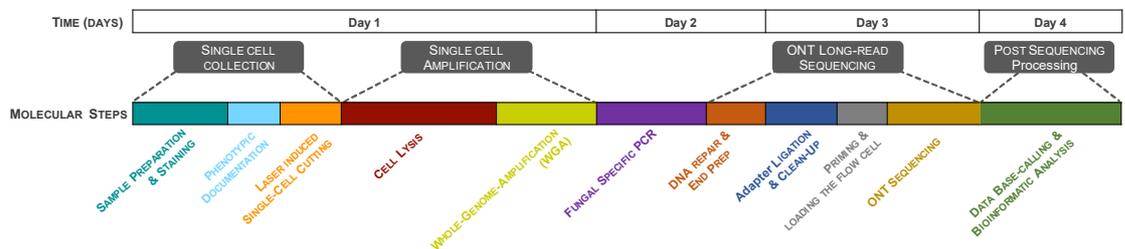


Abbildung 38: Arbeitsschritte und geschätzter Zeitrahmen für die Identifizierung unbekannter aquatischer Pilzproben mit mikroskopischen und molekularen Methoden.

Darüber hinaus haben wir die Anwendung unseres Arbeitsablaufs auf die aquatischen Lebensräume in den arktischen Regionen Nordkanadas und die extremen Gewässer Islands ausgeweitet. Im Sommer 2022 haben wir in den arktischen Gebieten Nordkanadas Proben aus Permafrost-Tauweihern unterschiedlichen Alters (Abbildung 39a) und aus den Gletscherseen und heißen Quellen Islands (Abbildung 39b) genommen. Die Proben werden aufbereitet und werden dazu beitragen, die unbekanntem Pilzlinien aus solchen Umgebungen zu erschließen, die unter dem Gesichtspunkt der globalen Erwärmung und der extremophilen Mykologie von Bedeutung sind.



Abbildung 39: (a) Wasserfiltration vor Ort in einem nordkanadischen Permafrostgebiet. Wasserentnahme aus Gletscherseen in Island (b).



**KATRIN  
STÜER-PATOWSKY**

(M.Sc.)

089/289 13720

KATRIN.STUEER  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

DEUTSCHE  
FORSCHUNGS-  
GEMEINSCHAFT

**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 Habitats 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 und besseres Verständnis der Pilze in Kläranlagen mit einem Fokus auf Cryptomycota zu erlangen. Um dies zu ermöglichen, müssen existierende molekularbiologische Methoden angepasst und für die Verwendung bei Pilzen optimiert werden. So sollen qPCR primersets und zuverlässige Protokolle entwickelt werden. Down-flow hanging sponge (DHS) Reaktoren dienen als Modellsystem um einen Einblick in die mikrobielle Community und das Interaktionsnetzwerk zwischen Pilzen und anderen Mikroorganismen zu erlangen. Im Anschluss ist die Analyse des Einflusses auf den Kohlenstoffabbau durch Metatranskriptomanalysen verschieden behandelter DHS Reaktoren angestrebt.

Eine zuverlässige qPCR Methode zur Quantifikation der Cryptomykorta ist bereits entwickelt und die mikrobielle Gemeinschaften der Reaktorsysteme wurde charakterisiert.

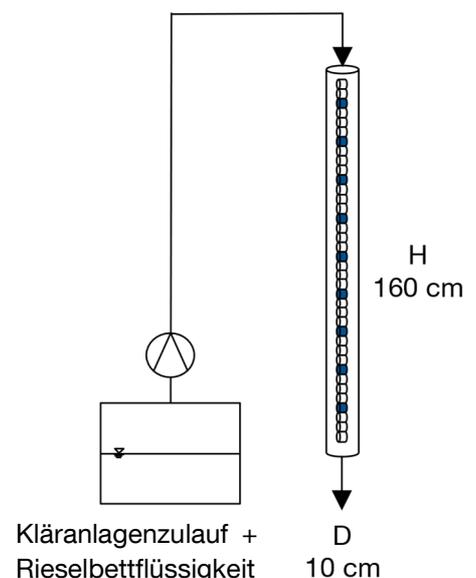
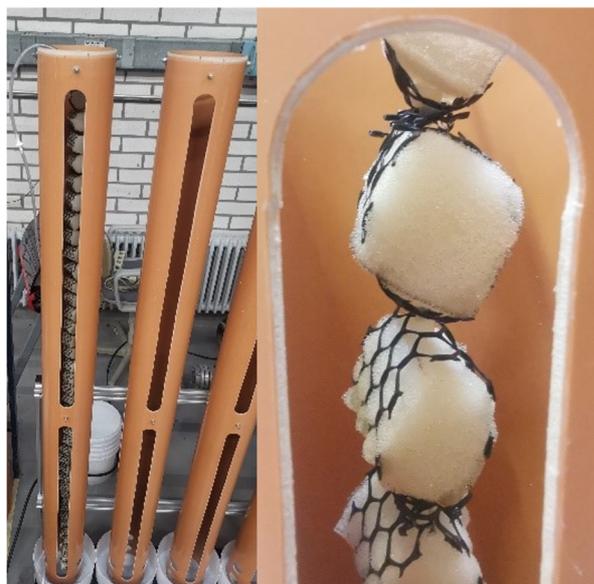


Abbildung 40: DHS Reaktor Skizze und Foto sowie saubere und bewachsene Polyurethanschwamm-Füllung.



**MOHAMMAD  
SHEHRYAAR  
KHAN**

(M.Sc.)

089/289 13705

SHEHRYAAR.KHAN  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**

DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
INTERNATIONALE  
ZUSAMMENARBEIT

**KOOPERATION:**

ROBERT KOCH-  
INSTITUT,  
DER SANITÄR-  
EPIDEMIOLOGISCHE  
DIENST UND DAS  
ÖFFENTLICHE  
GESUNDHEITSWESEN  
DER REPUBLIK  
USBEKISTAN

## Machbarkeitsstudie: Einführung einer abwasserbasierten Epidemiologie für COVID-19 in Taschkent

Die Bedeutung der abwasserbasierten Epidemiologie wurde aufgrund der Pandemie von lokalen, regionalen und nationalen Regierungen auf der ganzen Welt erkannt. Die abwasserbasierte Epidemiologie ist bekanntermaßen kostengünstig und liefert Infektionstrends ohne von klinischen PCR-Tests abhängig zu sein. Diese Technologie ermöglicht es Epidemiologen, das Auftreten neuer Erreger oder das Wiederauftreten von Krankheiten wie Polio zu überwachen. Einige Länder verfügen jedoch noch nicht über die Ressourcen und das Fachwissen, um ein Abwasserüberwachungssystem zur Erkennung von Krankheiten einzuführen. In diesem Gemeinschaftsprojekt soll die Machbarkeit einer Ausweitung der abwasserbasierten Epidemiologie in der Stadt Taschkent, Usbekistan, untersucht werden.

Die Stadt Taschkent hat über 2 Millionen Einwohner, und die Verfolgung der Ausbreitung von Krankheiten ist für die Behörden eine schwierige Aufgabe. Das Projekt zielt darauf ab, eine Pipeline für abwasserbasierte Epidemiologie aufzubauen, indem das Wissen der TU München an die Gesundheitsbeamten und Epidemiologen in Usbekistan weitergegeben wird. Durch die Bereitstellung der erforderlichen Ausrüstung, Schulung und direkte Betreuung bei der anfänglichen Datenverarbeitung soll ein praktikabler Ansatz für ein Abwasserüberwachungssystem geschaffen werden, das auf andere Städte und/oder Regionen Usbekistans ausgedehnt werden kann.

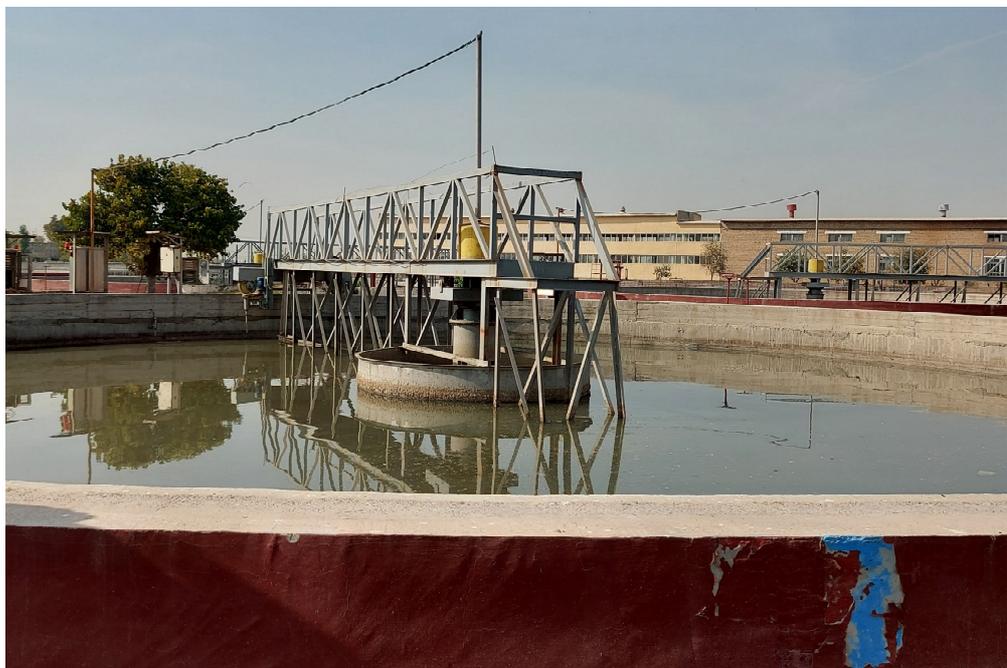
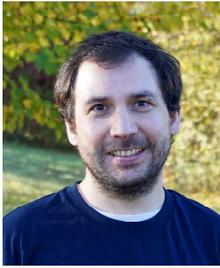


Abbildung 41: Ein Vorklärbecken in einer Kläranlage in Taschkent, Usbekistan.



**IGNACIO  
SOTTORFF  
NECULHUEQUE**

(DR. RER. NAT.)

089/289 13702

I.SOTTORFF  
@TUM.DE

## Arbeitsgruppe Spurenstoffe in der Umwelt

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

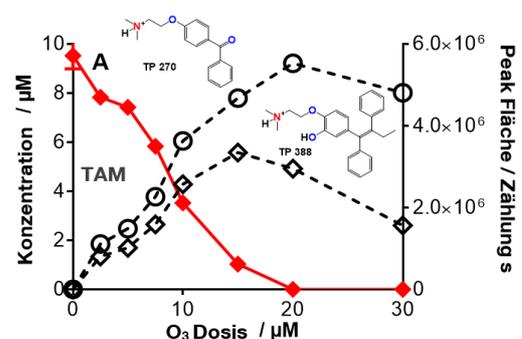


Abbildung 42: Links: AB Sciex QTRAP 5500 Massenspektrometer zur Identifikation von Transformationsprodukten. Rechts: Beispiel für die Bildung von Transformationsprodukten bei der Ozonung.



**MOHAMMED  
AL-AZZAWI**

(DR.-.ING.)

Bis 03/2022

MOHAMMED.  
AL-AZZAWI  
@TUM.DE

*FÖRDERUNG:*  
BAYERISCHE  
FORSCHUNGS-  
STIFTUNG

*KOOPERATION:*  
INSTITUT FÜR  
ENERGIE- UND  
UMWELTECHNIK

## 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 Polymeren, darunter PS, PE, PP, PET, PVC, PA und PLA validiert. Zuerst wurde die Validierung auf den Größenbereich von 80 – 300  $\mu\text{m}$  ausgelegt. Danach wurden die zwei besten Methoden (Wasserstoffperoxid sowie Fenton-Reaktion) ebenfalls bei kleineren Mikroplastikpartikeln ( $<10 \mu\text{m}$ ).

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  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ ). Zusätzlich wurde der Ablauf vom 10  $\mu\text{m}$  Filter beprobt, um auch die Partikel  $< 10 \mu\text{m}$  zu erfassen. Die beprobten Volumina betragen 5000 – 7000 L für die zwei großen Filter (100 & 50  $\mu\text{m}$ ) sowie 200 L für den 10  $\mu\text{m}$  Filter und 2,5 L für die Fraktion  $< 10 \mu\text{m}$ .



Abbildung 43: Probenaufbereitung zur Entfernung organischer Materie: A: Schlammprobe, B: Nach Fenton Behandlung.



**SUSANNE  
MINKUS**

(DR. RER. NAT.)

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

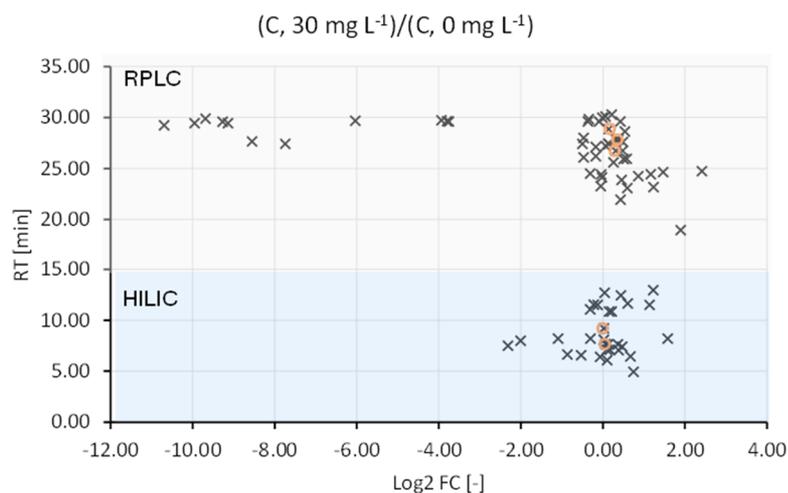


Abbildung 44: Die logarithmierten „Fold Changes“ (FC) sind gegen die chromatographische Retentionszeit (RT) aufgetragen. Polare Feature eluierten im Bereich < 15 min (blau). Interne Standards sind durch orange Kreise gekennzeichnet.



**HANNA  
ULRICH**

(DIPL.-GEOÖK.)

HANNA.E.ULRICH  
@TUM.DE

**FÖRDERUNG:**  
BAYERISCHES  
LANDESAMT FÜR  
UMWELT

## 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 Suspect- und Non-Target-Analytik kann helfen unbekannte bzw. erwartete polyfluorierte Verbindungen in Wasserproben zu identifizieren. Zwischen Januar 2020 und Mai 2022 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 entnommenen Proben konnten 52 PFAS mittels Suspect- und Non-Target Workflow tendenziell detektiert werden. Überwiegend wurden teilfluorierte kurzkettige Carbon- und Sulfonsäuren detektiert. Über den gesamten Untersuchungszeitraum variierten sowohl die Intensitäten der einzelnen PFAS als auch die PFAS-Zusammensetzung deutlich. Erkenntnisse aus diesem Non-Target Ansatz können für die Optimierung zukünftiger Abwasser-Monitoring-Programme genutzt werden.

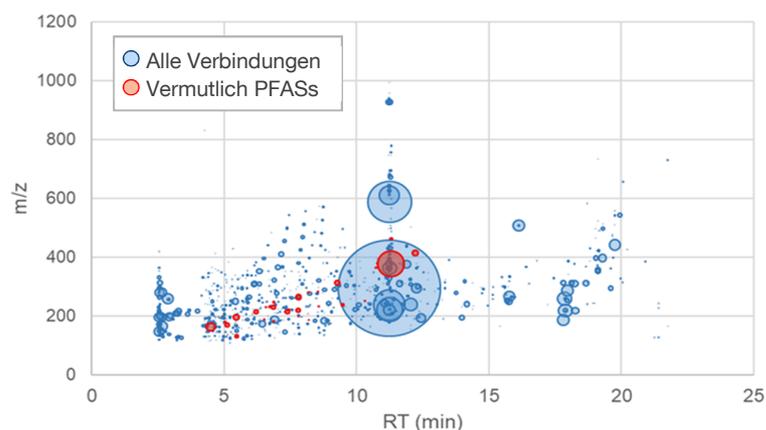


Abbildung 45: Mittels HR LC-MS/MS detektierte Verbindungen in einer Oberflächengewässerprobe unterhalb einer PFAS-Einleitung und Reduktion auf wahrscheinlich fluorhaltige Verbindungen. Die Größe der Punkte entspricht der Peakfläche des Messsignals.

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 (Gast des Lehrstuhls).



**ABISHEK  
NARAYAN**

(PH.D.)

ABISHEK.NARAYAN  
@EAWAG.CH

## Gastwissenschaftler

### Lab to Land: Forschungsprojekt zur Skalierbarkeit von Innovationen in Sanitärtechnologien als Schlüssel zur Ermöglichung des WEF-Nexus-Ansatzes

Trotz jahrzehntelanger Innovation in Sanitärtechnologien in Bezug auf Dezentralisierung, neuartige Behandlung, Ressourcenrückgewinnung usw. war die bisherige Aufnahme vom Labormaßstab in die großtechnische Umsetzung sehr überschaubar. Während sich große akademische Untersuchungen im Wasser-, Sanitär- und Hygienesektor (WASH) auf eine nachhaltige Akzeptanz aus Benutzersicht konzentrierten, mangelt es an Verständnis dafür, was die Treiber und Hindernisse für die Technologieskalierbarkeit auf sektoraler Ebene sind. Diese Forschung zielt daher darauf ab, die Faktoren zu verstehen, die die Skalierbarkeit und allgemeine Akzeptanz innovativer Sanitärtechnologien bestimmen. Mit zunehmender Unsicherheit im Wasser-, Energie- und Lebensmittelsektor werden Sanitärtechnologien in den kommenden Jahrzehnten eine immer wichtigere Rolle spielen. Daher ist es sehr wertvoll, die Verbreitung von Innovationen aus Wissenschaft und Forschung in die Industrie und zu den Anwendern zu verstehen.

Die übergreifende Forschungsfrage, auf die sich Dr. Narayan während seines Forschungsaufenthalts an der SWW TUM konzentrierte, lautete: „Was sind die Faktoren für die Skalierung innovativer Sanitärtechnologien?“. Um vielfältige Kontexte einzubeziehen, wurden verschiedene Fallstudien in Indien und Subsahara-Afrika ausgewählt, um die Forschungsfrage zu beantworten.

<https://www.eawag.ch/en/aboutus/portrait/organisation/staff/profile/abishek-sankara-narayan/show/>



**MARTINS  
OMOROGIE**

(PH.D.)

MO.OMOROGIE  
@TUM.DE

### N-doped graphene oxide/graphitic-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> plasmonic material for photocatalytic degradation of some emerging contaminants in wastewater treatment plant (WWTP) influent

Dr. Martins Omorogie ist seit Dezember 2022 wieder am Lehrstuhl als Postdoc im Rahmen eines Alexander-von Humboldt-Stipendiums für eineinhalb Jahre. Er arbeitet an der Entwicklung eines plasmonischen mit Stickstoff dotierten Graphenoxid/Graphit-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-Materials für den photokatalytischen Abbau von neu auftretenden Schadstoffen im Zufluss von Kläranlagen (WWTP).



**MIRSHINA OLGA  
PAVLOVNA**

(PH.D.)  
MOP-61  
@MAIL.RU

## Durchführbarkeitsstudie: Einführung eines Abwasserüberwachungssystems für COVID-19 in Taschkent

Dr. Mirshina Olga Pavlovna ist Fachärztin für Hygiene und Epidemiologie, Kandidatin der medizinischen Wissenschaften (PhD). Sie ist Chefspezialistin des Gesundheitsministeriums für Kommunalhygiene, Chefspezialist der Sanitär- und Hygieneabteilung des "Sanitary-Epidemiological Welfare and Public Health Service of the Republic of Uzbekistan".

Sie beaufsichtigt Fragen der sanitär-hygienischen Kontrolle der kommunalen Hygieneeinrichtungen (Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, sanitäre Reinigung, Planung und Entwicklung von Siedlungsgebieten), der menschlichen Umwelt (Wasser und Wasserreservoirs, atmosphärische Luft und Boden) in der Republik. Im Projekt des GIZ ist sie als Spezialistin für die Organisation der Probenahme und Lieferung der Proben mit anschließender Auswertung der Laborergebnisse unter Berücksichtigung des bestehenden Abwassersystems der Stadt im Zusammenhang mit der Prävalenz von Coronavirus-Infektionen in den Bezirken der Stadt Taschkent vertreten.



**BORIS PLESHKOV  
ANDREEVICH**

HAEMO  
@MAIL.RU

Pleshkov Boris Andreevich arbeitet seit 2004 als Virologe in der Abteilung für sanitär-epidemiologische Angelegenheiten und öffentliche Gesundheit der Republik Usbekistan. Seit 2009 führt er PCR-Tests für Influenza und andere respiratorische Viren durch. In den Jahren 2019 und 2022 nahm er an Schulungen der WHO über die von der WHO empfohlene Methode zur Aufkonzentration von Abwasser teil.

In dem GIZ-Projekt ist er als Laborspezialist für die SARS-COV-2-Untersuchung von Abwasserproben mittels PCR zuständig.

Elena Mun ist Epidemiologin und hat einen Master-Abschluss in Bakteriologie und Virologie von der Medizinischen Akademie Taschkent, Usbekistan. Außerdem hat sie 2017 ein Masterprogramm im Bereich öffentliche Gesundheit an der Georgia State University, USA, abgeschlossen.



**ELENA  
MUN**

(M.Sc.)

ELENA.MUN  
@GIZ.DE

Frau Mun ist seit mehr als 15 Jahren im Bereich der öffentlichen Gesundheit tätig. Ihre Fachkenntnisse umfassen die Überwachung und Bewertung von Gesundheitsprogrammen, die Koordinierung von epidemiologischen und soziologischen Studien, die Kommunikation von HIV/TB-Befürwortern, die Überwachung und Schulung von Forschungsteams und Mitarbeitern sowie die Betreuung von Schlüsselgruppen. Sie arbeitete für das Tashkent City AIDS Centre, GFATM- und USAID-Gesundheitsprojekte, PWC und die britische Botschaft in Tashkent.

Derzeit leitet Elena Mun die Pandemiebekämpfungskomponente des GIZ-Projekts "Management fortschrittlicher Medizintechnik in Usbekistan". Frau Mun koordiniert Aktivitäten im Zusammenhang mit der Qualitätssicherung im Labor, der diagnostischen Bildgebung, der Unterstützung der Atemwege und der epidemiologischen Überwachung einschließlich der Abwasserüberwachung (WWS).



**CAIQUE  
OLIVEIRA**

(M.Sc.)

CAIQUE.OLIVEIRA  
@TUM.DE

## Photokatalytische Recyclingmembranen aus TiO<sub>2</sub> und Graphenoxid und ihre Anwendungen in der Abwasseraufbereitung

Spurenstoffe haben in den letzten Jahren die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Gemeinschaft auf sich gezogen, da sie bereits in Abwässern, Oberflächenwasser, Grundwasser und sogar Trinkwasser nachgewiesen wurden. Obwohl ihre Auswirkungen noch nicht vollständig geklärt sind, weisen Studien auf ihre potenziellen toxikologischen Risiken hin. Herkömmliche Kläranlagen und Wasseraufbereitungsanlagen sind nicht in der Lage, diese vollständig zu entfernen, so dass zu diesem Zweck weiterführende Verfahren erforderlich sind. Dieses Projekt zielt darauf ab, einen photokatalytischen Membranreaktor zu entwickeln und zu untersuchen, der aus der Verbindung von Katalysatoren und Membranen besteht. Die Immobilisierung des Katalysators auf der Membranoberflächen ist eine vielversprechende Alternative für den Rückhaltung im Reaktionsmedium. Die Verbindung ermöglicht auch die Verringerung des Foulings der Membranen durch den Abbau der Foulants durch den Katalysator, wodurch der Permeatfluss stabil bleibt und der Energieverbrauch minimiert wird.

Eine der Neuerungen dieses Projekts ist die Entwicklung und Bewertung der Leistung photokatalytischer Membranen (PM), die aus recycelten Membranen (RO-Membranen, die nach ihrer Lebensdauer in UF-Membranen umgewandelt wurden), TiO<sub>2</sub>-Nanopartikeln, die auf umweltfreundliche Weise synthetisiert wurden, und Graphenoxid (GO) bestehen. Zu diesem Zweck werden fünf Schritte unternommen. Der erste besteht aus der Synthese und Charakterisierung der PM und vorläufigen Entfernungs-/Abbautests von Farbstoffen und der synthetischen Matrix von pharmazeutischen Wirkstoffen (PhACs). Der zweite Schritt betrifft die Bewertung der Kapazität der Membran zur Entfernung von ECs aus kommunalen Abwässern nach der Zweitbehandlung. Im dritten Schritt wird die Leistung des Systems mit dem suspendierten Katalysator bewertet. Final werden die Betriebsparameter optimiert, und schließlich wird eine wirtschaftliche Analyse des Prozesses durchgeführt.

### FÖRDERUNG:

DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSSCHIEDIENST, COORDINATION FOR THE IMPROVEMENT OF HIGHER EDUCATION PERSONNEL

### KOOPERATION:

FEDERAL UNIVERSITY OF MINAS GERAIS

Vorläufige Ergebnisse zeigten eine Leistungssteigerung der mit Nanokompositen modifizierten Membranen (Farbstoffentfernung ~100 % und nahezu konstanter Durchfluss) im Vergleich zu den nicht modifizierten Membranen (Farbstoffentfernung ~ 56 % und ca. 32 % geringer Durchsatz). Darüber hinaus war die modifizierte Membran in der Lage, mehr als 90 % einiger PhACs während des eineinhalbstündigen Betriebs unter UV-C-Bestrahlung zu entfernen. Durch die Modifizierung der Membranen mit TiO<sub>2</sub>/GO wurde eine Erhöhung der Membranhydrophilie erreicht. Darüber hinaus wurden bei der Verwendung der Membranen für die Behandlung von häuslichem Abwasser nach der biologischen Behandlung beträchtliche Reduktionen von Diclofenac (92 %) und Antipyrin (87 %) erzielt. Die Membranen erwiesen sich zehn Monate lang als stabil.

Caique Oliveira ist ein externer Doktorand an der Federal University of Minas Gerais (Brasilien) und wird dort von Frau Prof. Dr. Míriam Amaral betreut.



<b>Land</b>	<b>Institutionen</b>
<b>Australien</b>	University of Queensland Murdoch University Griffith University - Water Future Program of Future Earth
<b>Brasilien</b>	Universidade Federal de Minas Gerais Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais Universidade Federal da Bahia Universidade Federal de Viçosa
<b>Burkina Faso</b>	Université Aube Nouvelle
<b>China</b>	Tsinghua University Renmin University of China Dalian Institute of Chemical Physics Beijing University of Technology Chinese Academy of Sciences Peking University Sichuan University Beijing Normal University
<b>Costa Rica</b>	University of Costa Rica
<b>Dänemark</b>	Technical University of Denmark European Environment Agency, Denmark Aarhus University
<b>Estland</b>	University of Tartu
<b>Finnland</b>	University of Turku
<b>Frankreich</b>	National Research Institute for Agriculture, Food and Environment
<b>Ghana</b>	Kwame Nkrumah University of Science and Technology
<b>India</b>	ASEEM Foundation Council on Energy, Environment and Water Himalayan Institute of Alternatives Ladakh Indian Institute of Technology Bombay Indian Institute of Science – Bangalore Ladakh Ecological Development Group
<b>Iran</b>	Iranian Research Organization for Science and Technology Isfahan University of Technology
<b>Israel</b>	Tel Aviv University
<b>Italien</b>	University of Ferrara University of Naples Parthenope University of Brescia
<b>Japan</b>	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology Yokohama National University
<b>Kanada</b>	Université du Québec à Montréal
<b>Namibia</b>	Namibia University of Science and Technology
<b>Niederlande</b>	University of Amsterdam
<b>Niger</b>	Abdou Moumouni University
<b>Nigeria</b>	Redeemers University University of Ibadan
<b>Norwegen</b>	University of Tromsø – The Arctic University of Norway University of Bergen

*weiter auf der nächsten Seite*

<b>Land</b>	<b>Institutionen</b>
<b>Österreich</b>	Vienna University of Technology University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna Danube University Krems University of Vienna
<b>Schweden</b>	Lund University Uppsala University University of Gothenburg Chalmers University of Technology Swedish University of Agricultural Sciences Stockholm University
<b>Schweiz</b>	Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology Swiss Federal Institute of Technology
<b>Singapur</b>	Swiss Federal Institute of Technology in Zürich - Future Cities Lab Global Technical University of Munich, Asia Technical University of Munich, Create
<b>Spanien</b>	Spanish National Research Council - CSIC Institute of Environmental Assessment and Water Research Catalan Institution for Research and Advanced Studies Institute for Fats Catalan Institute for Water Research Royal Botanic Garden of Madrid University of Girona Universidad Pablo de Olavide University of Barcelona
<b>Thailand</b>	Mae Fah Luang University
<b>Tschechien</b>	University of Chemistry and Technology, Prague
<b>Vereinigte Staaten</b>	Colorado School of Mines Cornell University Northwestern University University of California at Berkeley Yale University Stanford University Oklahoma State University University of Michigan, Ann Arbor Massachusetts Institute of Technology
<b>Vereinigtes Königreich</b>	University of Birmingham University of York Aberystwyth University Cranfield University

## Nationale & Internationale Gremienarbeit

### DWA-, IWA- und internationale Arbeitsgruppen

**Brigitte Helmreich** ist 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 Arbeitsgruppen **DWA-ES-3.11** „Multifunktionale Flächen“, **DWA-ES-3.7** „Dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung“ und **DWA-ES-1.2** „Stoffeinträge in Entwässerungssysteme“. 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 als Past-Chair im Management Committee der **IWA Water Reuse Specialist Group** tätig sowie im **Strategic Council** der International Water Association (IWA) vertreten. Herr Drewes wurde 2022 für eine weitere Periode als Mitglied der **Trinkwasserkommission** des BMG/Umweltbundesamtes nominiert und fungiert dort als stellvertretender Sprecher. 2022 fungierte er 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 Science & Technology Water*.

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

**Brigitte Helmreich** ist Gast-Editorin einer Spezialausgabe der Zeitschrift *Water* zum Thema „*Challenges and sustainability of Water Sensitive Cities*“.

**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*“.

Außerdem ist **Konrad Koch** derzeit ein Gasteditor einer Sonderausgabe zum Thema „*Organic carbon recycling for net zero emissions and sustainable organic carbon flow between urban and rural areas*“ in der Zeitschrift *Environmental Technology & Innovation*.

## Nachwuchsförderung / Workshops / Sonstige Aktivitäten

Wir freuen uns, dass die **Roland-Mall-Stiftung** in 2022 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 **Fabian Stöhr**, **Julia Zimmermann** und **Zakaria Bashiri** wurden aufgrund ihres bisherigen Engagements und Werdegangs ausgesucht.

### Beteiligung an der EXPO 2020 in Dubai, UAE



Im März 2022 endete die EXPO 2020 in Dubai. Der Lehrstuhl war mit einem vom BMBF geförderten Exponat im Deutschen Pavillon vertreten. Im Mittelpunkt standen nachhaltige Konzepte aus Deutschland und wir

konnten dort das von uns entwickelte naturnahe Wasserbehandlungsverfahren SMART der interessierten Öffentlichkeit näherbringen.



OFFICIAL PARTICIPANT – GERMANY



### Scienclisten

Im Jahr 2022 wurden auf dem Arbeitsweg insgesamt über 23.465 km durch die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft zusammen geraddelt. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von rd. 3,4 Tonnen im Vergleich zum Auto bzw. 8,9 Tonnen im Vergleich zum Flugzeug (economy).



## Betriebsausflug im November 2022

Unser Betriebsausflug führte uns dieses Jahr am 14. November 2022 mit November ungewöhnlich gutem Wetter über die Kesselalm zum Breitenstein. Die Tour begann vom Wanderparkplatz Birkenstein in Fischbachau, von dem wir in circa einer Stunde auf die Kesselalm hochgewandert sind. Auf der Kesselalm konnten wir mit erfrischenden Getränken und einer Brotzeit die Sonnenstrahlen genießen. Anschließend konnte der Breitenstein Gipfel noch bestiegen werden. Besten Dank an die Organisatoren des Betriebsausfluges Sonia Kau, Javad Ahmadi und Konrad Koch.



Abbildung 47: Betriebsausflug zum Birkenstein.

## Geplante Veranstaltungen in 2023

### 50. Abwassertechnisches Seminar – Jubiläumsveranstaltung zu 50 Jahren Abwasserforschung – Impulse für die Zukunft

Seit 1970 veranstaltet der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft unterstützt durch seine Fördergesellschaft das Abwassertechnische Seminar (ATS), das der interessierten Fachöffentlichkeit neue Entwicklungen im Bereich von Entwässerungssystemen, Regenwassermanagement, der biologischen Abwasserbehandlung und weitergehenden Abwasserreinigung, Automatisierung, Ressourcenrückgewinnung oder Wasserwiederverwendung verbunden mit direkten Einblicken in neuste Forschungsergebnisse zu diesen Bereichen näher bringt. Das **50. ATS-Jubiläum** soll Anlass sein, die Entwicklungen in diesen Feldern über fünf Jahrzehnte mit ausgewählten führenden Expert:innen und der interessierten Fachöffentlichkeit zu diskutieren und einzuschätzen, welche Trends und Empfehlungen sich für den gesamten Abwassersektor in der Zukunft ableiten lassen.

Freuen Sie sich auf eine 2-tägige Veranstaltung der besonderen Art im Science Congress Center der TU München auf dem Forschungscampus Garching am 5./6. Juli 2023. Wir werden uns im Rahmen dieser Veranstaltung den drängenden Fragen im Abwassersektor widmen, einschließlich Fragen zu Entwässerungssystemen in Siedlungsgebieten – Kanalbewirtschaftung bis Schwammstadt; der biologischen Abwasserbehandlung – Kohlenstoff- und Nährstoffentfernung; Ressourcenrückgewinnung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck; der weitergehenden Abwasserbehandlung – Stringentere Anforderungen an Einleitung und Wiedernutzung; sowie Aspekten der Klimawandelanpassungen, Digitalisierung und öffentlichen Gesundheit. Mehr erfahren Sie unter: <https://www.cee.ed.tum.de/sww/foerderverein/ats/>

Dieses Seminar richtet sich an Kommunen, Planungsbüros, Wasserwirtschaftsämter, Genehmigungsbehörden, Anwender sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten.

### 12. Aqua Urbanica 2023

Unser Lehrstuhl ist seit kurzem im Scientific Board der **Aqua Urbanica** vertreten, das aus sechs siedlungswasserwirtschaftlichen Schwesterinstitutionen der Eawag-ETH Zürich, der Ostschweizer Fachhochschule, der TU Graz, der TU Kaiserslautern, der Universität Innsbruck und der TU München gemeinschaftlich in Kooperation mit den nationalen Organisationen DWA, ÖWAV und VSA besteht. Diese deutschsprachige D-A-CH-Veranstaltungsserie, die einmal pro Jahr stattfindet, stellt die Niederschlagswasser- und Mischwasserbewirtschaftung im urbanen Bereich in den Mittelpunkt. Thema der Aqua Urbanica 2023, die am **9./10.10.2023 in Garching** stattfinden wird, ist „**Die wasser- und schadstoffbewusste Stadt – Klimaangepasstes Regenwassermanagement trifft Schadstoffproblematik**“. Sie beschäftigt sich mit der Planung und Umsetzung einer

wasserbewussten Stadt. Schwerpunktmäßig betrachtet werden das Zusammenspiel von Chancen, den Folgen des Klimawandels entgegen zu wirken, und den Risiken der teils damit verbundenen Schadstoffthematik. Maßnahmen im Bereich der grauen, blauen und grünen Infrastruktur können neben positiven Auswirkungen auf das urbane Klima auch als Quellen und Senken für stoffliche Belastungen von Niederschlagsabflüssen fungieren. Der Gewässerschutz steht für eine wasserbewusste Stadt ebenso im Fokus wie der Erhalt des lokalen Wasserhaushalts und die Anpassung an zunehmende Klimaextreme. Grundlagenforschung ist ebenso willkommen wie Fallbeispiele aus der Praxis und Modellierungen. Vielfältige Beiträge von Planern, Behörden, Herstellern und Universitäten/Fachhochschulen sind willkommen, um einen weitreichenden Erfahrungsaustausch.

Mehr Informationen unter <https://www.tugraz.at/events/aquaurbanica/home>

## Publikationen

---

### Wissenschaftliche Zeitschriften (peer-reviewed)

- 1) Al-Azzawi, M.S.M.; Gondhalekar, D.; Drewes, J.E. (2022): Neighborhood-Scale Urban Water Reclamation with Integrated Resource Recovery for Establishing Nexus City in Munich, Germany: Pipe Dream or Reality? *Resources* 11 (7), 64.
- 2) Bardi, M.J.; Mahmood, A.; Lippert, T.; Bandelin, J.; Koch, K. (2022): Stimulating Effect of Hydrostatic Pressure on Ultrasonic Sewage Sludge Treatment for COD Solubilization and Methane Production. *Bioresource Technology* 348, 126785.
- 3) Becker, L.; Gondhalekar, D. (2022): Estimating the Water and Carbon Footprints of Growing Avocados in the Munich Metropolitan Region Using Waste Heat as a Water-Energy-Food Nexus Potential. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6, 857650.
- 4) Cao, L.; Wolff, D.; Liguori, R.; Wurzbacher, C.; Wick, A. (2022): Microbial Biomass, Composition, and Functions are Responsible for the Differential Removal of Trace Organic Chemicals in Biofiltration Systems - A Batch Study. *Frontiers in Water* 4, 832297.
- 5) Cao, S.; Koch, K.; Du, R.; Wells, G.; Liu, Y.; Drewes, J. (2022): Towards Mainstream Anammox by Integrating Sidestream Treatment. *Environmental Science & Technology* 56 (15), 10553–10556.
- 6) Costa, F.C.R.; Fortes, A.R.; Braga, C.D.; Arcanjo, G.S.; Grossi, L.; Munteer, A.H.; Moravia, W.G.; Koch, K.; Drewes, J.E.; Ricci, B.C.; Amaral, M.C.S. (2022): Assessment of a Hybrid UV-LED Membrane Distillation Process: Focus on Fouling Mitigation. *Separation and Purification Technology* 292, 121003.
- 7) Degenhart, J.; Helmreich, B. (2022): Review on Inorganic Pollutants in Stormwater Runoff of Non-Metal Roofs. *Frontiers in Environmental Chemistry* 3.
- 8) Dos Santos, C.R.; Lebron, Y.A.R.; Moreira, V.R.; Koch, K.; Amaral, M.C.S. (2022): Biodegradability, Environmental Risk Assessment and Ecological Footprint in Wastewater Technologies for Pharmaceutically Active Compounds Removal. *Bioresource Technology* 343, 126150.
- 9) Drewes, J.E. (2022): Auf jeden Tropfen kommt es an. *Politische Ökologie* 168, 65-70.
- 10) Drewes, J.E.; Auerswald, K.; Disse, M.; Menzel, A.; Pauleit, S.; Rutschmann, P.; Strobl, T.; Wieprecht, S. (2022): Expertenkommission LAND: schaf(f)t WASSER – Gestaltungsvorschläge zur zukünftigen Wasserversorgung in Bayern. *Korrespondenz Wasser* 15 (1), 17-28.
- 11) Galster, S.; Helmreich, B. (2022): Copper and Zinc as Roofing Materials – A Review on the Occurrence and Mitigation Measures of Runoff Pollution. *Water* 14 (3), 291.
- 12) Gohari, A.; Savari, P.; Eslamian, S.; Etemadi, N.; Gondhalekar, D. (2022). Developing a System Dynamic Plus Framework for Water-Land-Society Nexus Modeling within Urban Socio-Hydrologic Systems. *Technological Forecasting and Social Change* 185, 122092.
- 13) Gondhalekar, D.; Drewes, J.E.; de Vries, T.W. (2022): Nexus@TUM: TUM as Frontrunner University with a Targeted Research and Teaching Agenda on Water-Energy-Food (WEF) Nexus. *Water Solutions* 1, 81-83.
- 14) Hafner, S.; Astals, S.; Holliger, C.; Koch, K.; Nieslen, L.; Refsahl, L.; Weinrich, S. (2022): Assessing the Value of Kinetic Results from Biochemical Methane Potential Tests: Reproducibility Results from a Large Inter-Laboratory Study. *Cleaner Chemical Engineering* 4, 100065.
- 15) Hiller, C.X.; Schwaller, C.; Wurzbacher, C.; Drewes, J.E. (2022): Removal of Antibiotic Microbial Resistance by Micro- and Ultrafiltration of Secondary Wastewater Effluents at Pilot Scale. *Science of The Total Environment* 838 (2), 156052.
- 16) Hübner, U.; Wurzbacher, C.; Helbling, D.E.; Drewes, J.E. (2022): Engineering of Managed Aquifer Recharge Systems to Optimize Biotransformation of Trace Organic Chemicals. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 27, 100343.

- 17) Huo, Z.; Winter, L.R.; Wang, X.; Du, Y.; Wu, Y.; Hübner, U.; Hu, H.; Elimelech, M. (2022): Synergistic Nanowire-Enhanced Electroporation and Electrochlorination for Highly Efficient Water Disinfection, *Environmental Science & Technology* 56 (15), 10925-10934.
- 18) Kick, C.; Uchaikina, A.; Apfelbacher, A.; Daschner, R.; Helmreich, B.; Hornung, A. (2022): Aqueous Phase of Thermo-Catalytic Reforming of Sewage Sludge – Quantity, Quality, and its Electrooxidative Treatment by a Boron-Doped Diamond Electrode. *Separation and Purification Technology* 286, 120392.
- 19) Mitranescu, A.; Uchaikina, A.; Kau, A.-S.; Stange, C.; Ho, J.; Tiehm, A.; Wurzbacher, C.; Drewes, J.E. (2022): Wastewater-Based Epidemiology for SARS-CoV-2 Biomarkers - Evaluation of Normalization Methods in Small and Large Communities in Southern Germany. *ES&T Water* 2, 12, 2460-2470.
- 20) Mohr, M.; Dockhorn, T.; Drewes, J.E.; Karwat, S.; Lackner, S.; Lotz, B.; Nahrstedt, A.; Nocker, A.; Abarenkov, K.; Kristiansson, E.; Ryberg, M.; Nogal-Prata, S.; Gómez-Martínez, D.; Stüer-Patowsky, K.; Jansson, T.; Pölme, S.; Ghobad-Nejhad, M.; Corcoll, N.; Scharn, R. (2022): The Curse of the Uncultured Fungus. *MycKeys* 86, 177.
- 21) Oliveira, C.P.M.D.; Fernandes Farah, I.; Koch, K.; Drewes, J.E.; Viana M.M.; Amaral, M.C.S. (2022): TiO<sub>2</sub>-GO Nanocomposite Membranes - A Review. *Separation and Purification Technology* 280, 119836.
- 22) Oliveira, C.P.M.D.; Moreira, V.R.; Lebron, Y.A.R.; Vasconcelos, C.K.B.D.; Koch, K.; Viana, M.M.; Drewes, J.E.; Amaral, M.C.S. (2022): Converting Recycled Membranes into Photocatalytic Membranes Using Greener TiO<sub>2</sub>-GRAPHENE Oxide Nanomaterials. *Chemosphere* 306, 135591.
- 23) Omorogie, M.O.; Agbadaola, M.T.; Olatunde, A.M.; Helmreich, B.; Babalola, J.O. (2022): Surface Equilibrium and Dynamics for the Adsorption of Anionic Dyes onto MnO<sub>2</sub>/Biomass Micro-Composite. *Green Chemistry Letters and Reviews* 15 (1), 51-60.
- 24) Omorogie, M.O.; Ilesanmi, F.O.; Alfred, M.O.; Helmreich, B. (2022): Thermally Treated MgO/Nanocrystalline Cellulose Immobilized onto Santa Barbara-16 Mesoporous SiO<sub>2</sub> Template for Sequestration of Antibiotics from Polluted Water. *New Journal of Chemistry* 46, 2091820931.
- 25) Pistocchi, A.; Alygizakis, N.A.; Brack, W.; Boxall, A.; Cousins, I.T.; Drewes, J.E.; Finckh, S.; Gallé, T.; Launay, M.A.; McLachlan, M.S.; Petrovic, M.; Schulze, T.; Slobodnik, J.; Ternes, T.; Van Wezel, A.; Verlicchi, P.; Whalley, C. (2022): European Scale Assessment of the Potential of Ozonation and Activated Carbon Treatment to Reduce Micropollutant Emissions with Wastewater. *Science of The Total Environment* 848, 157124.
- 26) Pistocchi, A.; Andersen, H.R.; Bertanza, G.; Brander, A.; Choubert, J.M.; Cimbritz, M.; Drewes, J.E.; Koehler, C.; Krampe, J.; Launay, M.; Nielsen, P.H.; Obermaier, N.; Stanev, S.; Thornberg, D. (2022): Treatment of Micropollutants in Wastewater - Balancing Effectiveness, Costs and Implications. *Science of the Total Environment* 850, 157593.
- 27) Ponzelli, M.; Radjenovic, J.; Drewes, J.E.; Koch, K. (2022): Enhanced Methane Production Kinetics by Graphene Oxide in Fed-Batch Tests. *Bioresource Technology* 360, 127642.
- 28) Ponzelli, M.; Zahedi, S.; Koch, K.; Drewes, J.; Radjenovic, J. (2022): Rapid Biological Reduction of Graphene Oxide - Impact on Methane Production and Micropollutant Transformation. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10 (5), 108373.
- 29) Reichel, J.; Graßmann, J.; Knoop, O.; Letzel, T.; Drewes, J.E. (2022): A Novel Analytical Approach to Assessing Sorption of Trace Organic Compounds into Micro- and Nanoplastic Particles. *Biomolecules* 12 (7), 953.
- 30) Robles, G.H.; Gondhalekar, D. (2021): Feasibility of Energy Generation with Biogas at the Household Level: Assessing the Impact of Anaerobic Co-Digestion of Waste Activated Sludge and Food Waste Taking a Water-Energy-Food (WEF) Nexus Approach. *Energy Proceedings* 24.
- 31) Rommel, S.; Huber, M.; Krüger, S. (2022): Dezentrale Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen durch die Kombination Absetz- und Versickerungsschacht. *Korrespondenz Abwasser Abfall* 8, 671-678.

- 32) Roßmann, K.; Großmann, G.; Frangoulidis, D.; Clasen, R.; Münch, M.; Hasenknopf, M.; Wurzbacher, C.; Tiehms, A.; Stange, C.; Ho, J.; Woermann, M.; Drewes, J.E. (2022): Innovatives SARS-CoV-2-Krisenmanagement im öffentlichen Gesundheitswesen - Corona-Dashboard und Abwasserfrühwarnsystem am Beispiel Berchtesgadener Land. *Bundesgesundheitsblatt* 65 (3), 367–377.
- 33) Schwaller, C.; Fokkens, K.; Helmreich, B.; Drewes, J.E. (2022): CFD Simulations of Flow Fields in Ultrafiltration Membranes - Effects of Hydrodynamic Strain Rates at Nanopore Scale with and Without a Particle Cake Layer on the Permeation of Mobile Genetic Elements. *Chemical Engineering Science* 254, 117606.
- 34) Schwaller, C.; Knabl, M.A.; Helmreich, B.; Drewes, J.E. (2022): Effects of Varying Flux and Transmembrane Pressure Conditions During Ceramic Ultrafiltration on the Infectivity and Retention of MS2 Bacteriophages. *Separation and Purification Technology* 299, 121709.
- 35) Spahr, S.; Teixidó, M.; Gall, S.S.; Pritchard, J.C.; Hagemann, N.; Helmreich, B.; Luthy, R.G. (2022): Performance of Biochars for the Elimination of Trace Organic Contaminants and Metals from Urban Stormwater. *Environmental Science: Water Research & Technology* 8 (6), 1287-1299.
- 36) Sperle, P., Mirlach, A., Linden, K., Hübner, U., Drewes, J.E. (2022). An actinometric method to characterize performance of reflecting UVC reactors used for water treatment. *Water Research* 119543.
- 37) Spieler, M.; Muffler, L.; Drewes, J.E. (2022): Genehmigungsanforderungen an die Wiederverwendung von aufbereitetem Wasser. *Umweltrechtliche Beiträge aus Wissenschaft und Praxis* 12 (1), 37-46.
- 38) Spieler, M.; Muffler, L.; Drewes, J.E. (2022): Genehmigungsanforderungen an die Wiederverwendung von aufbereitetem Wasser. *Korrespondenz Abwasser* 7.
- 39) Vega-Garcia, P.; Lok, C.S.C.; Marhoon, A.; Schwerd, R.; Johann, S.; Helmreich, B. (2022): Modelling the Environmental Fate and Behavior of Transformation Products of Biocides Used in Façades Covered with Mortars and Plasters. *Building and Environment* 216, 108991.
- 40) Vega-Garcia, P.; Schwerd, R.; Helmreich, B. (2022): Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Umwelteigenschaften üblicher Putze und Mörtel. *Bauphysik* 44 (5), 247-254.
- 41) Vega-Garcia, P.; Schwerd, R.; Johann, S.; Helmreich, B. (2022): Groundwater Risk Assessment of Leached Inorganic Substances from Façades Coated with Plasters and Mortars. *Chemosphere* 287 (3), 132176.
- 42) Wang, W.; Nong, Y.; Yang, Z.; Wu, Q.; Hübner, U. (2022): Chlorination of Isothiazolinone Biocides - Kinetics, Reactive Species, Pathway, and Toxicity Evolution. *Water Research* 223, 119021.
- 43) Zhu, P.; Knoop, O.; Helmreich, B. (2022): Interaction of Heavy Metals and Biocide/Herbicide from Stormwater Runoff of Buildings with Dissolved Organic Matter. *Science of the Total Environment* 814, 152599.

## Andere wissenschaftliche Zeitschriften und Buchbeiträge

- 1) Bechtel, D.; Rosenberger, L.; Kleeberger, M.; Schelle, R.; Lang, W.; Helmreich, B. (2022): Planungswettbewerbe klimagerecht gestalten. Stadt + Grün 10/2022, 48-53. ISSN: 0948-9770.
- 2) Fernsehbeitrag der Regenwassergruppe: Gewappnet für den Klimawandel - Die Schwammstadt Pfaffenhofen an der Ilm. <https://www.br.de/mediathek/video/gewappnet-fuer-den-klimawandel-die-schwammstadt-pfaffenhofen-an-der-ilm-av:629bdfaea5ef2d0008489fd1>.
- 3) Helmreich, B. (2022): Umgang mit Metalldachabflüssen. Ratgeber Regenwasser. Mall GmbH (Hrsg.), Donaueschingen, 9. Auflage. ISBN: 978-3-9803502-2-8.
- 4) Helmreich, B.; Schneider, F.; Grotehusmann, D.; Hüpperling, R.; Kaiser, M.; Kasting, U.; Kirsten, T.; Nickel, D.; Pfeifer, R.; Anselm, J.; Borchert, G.; Benecke, H.; Bürger, M.; Kocher, B.; Kolks, I.; Maurer, W.; Müller, M.; Roth, J.; Tatzber, J. (2022): Diskussion qualitativer Anforderungen für die Versickerung von Niederschlagswasser. Korrespondenz Abwasser Abfall 69 (1), 22-27.
- 5) Helmreich, B., Müller, J. (2022): Die öffentliche Kanalisation in Bayern – Zustand und Investitionsbedarf. Bayerische Gemeinde Zeitung 73 (3), 10.
- 6) Koch, K. (2022): Verlässliche Bestimmung des Methanpotentials mit geringem technischem Aufwand. Biogas Forum Bayern - Fachinformation: bif30, Hrsg. ALB Bayern e.V., [www.biogas-forum-bayern.de/bif30](http://www.biogas-forum-bayern.de/bif30).
- 7) Müller, J.; Helmreich, B. (2022): Zustandsanalyse der öffentlichen Kanalisation in Bayern zum Datenstand 2018 und Ableitung des Investitionsbedarfs. KA Abwasser Abfall 69 (4), 271-280.
- 8) Röscher, Y.; Helmreich, B.; Richtmann, J.: Multifunktionale Retentionsmaßnahmen – Auf dem Weg zu einer benutzerfreundlichen Entscheidungshilfe für Kommunen und Planer. Mitgliederrundbrief, DWA-Landesverband Bayern 44 (2), 26-28.

## Konferenzen (Präsentationen)

- 1) Asamoah, K.Y.; Gondhalekar D. (2022): Estimating the Potential for Energy Autonomy in Wastewater Treatment Plants (WWTP) Using the Water-Energy-Food Nexus Approach as a Model for Sub-Saharan African Cities. Global Council for Science and the Environment. 21. June 22, online.
- 2) Behringer, M.; Hilbig, H.; Helmreich, B.; Machner, A. (2022): Cleansing Mechanisms of Cementitious Materials in Textile Wastewater Treatment. 4th International Conference on the Chemistry of Construction Materials – ICCCM 2022, 26-28. September 22, Karlsruhe.
- 3) Bein, E.; Drewes, J.E.; Hübner, U. (2022): Advanced Oxidation of Benzene, Toluene, and Ethylbenzene in Water: Synergistic Effects of O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Compared to UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Treatment. 12th IWA Micropol & Ecohazard Conference, 6-10. June 2022, Santiago de Compostela, Spain.
- 4) Chingate, E.A.; Botte, F.; Farre, M.J.; Drewes, J.E.; Wurzbacher, C.; Hübner, U. (2022): Transformation of Trace Organic Chemicals by Microbial Communities Adapted to Aniline, Histidine or Disodium Succinate as Carbon Source. 12th IWA Micropol & Ecohazard Conference, 6-10. June 2022, Santiago de Compostela, Spain.
- 5) Drewes, J.E. (2022): Ergebnisse und Herausforderungen des Gutachtens der bayerischen Expertenkommission Wasserversorgung. Nürnberger Kolloquium zur Trinkwasserversorgung, 27. September 2022, Fürth, Germany.
- 6) Drewes, J.E. (2022): Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung. BMBF Workshop, IFAT Munich, 1. June 2022, Munich.
- 7) Drewes, J.E. (2022): Potential for Water Recycling and Valuable Recovery in Europe. ISEC Congress, Graz, 5. April 2022. Graz, Austria.
- 8) Drewes, J.E. (2022): Sicherstellung der Wasserversorgung in Bayern. Gesprächskreis Nachhaltige Wirtschaft, 27. September 2022, Berg, Starnberger See, Germany.
- 9) Drewes, J.E. (2022): The Role of Demand Management and Alternative Supply Options to Cope with Declining Resources. IESP Droughts and Heat Workshop, IFAT Munich, 31. May 2022, Munich.
- 10) Drewes, J.E. (2022): Value of Water – From Resource Recovery to Understanding Public Health. 20th International Symposium European Water Association, 1. June 2022, Munich, Germany.
- 11) Drewes, J.E. (2022): Wasser für alle(s) – auch in Zukunft? Turmbau zu B, 4. August 2022, Buchholz.
- 12) Drewes, J.E. (2022): Wasserwiederverwendung in Deutschland – Müssen wir das Rad neu erfinden? 49. Abwassertechnisches Seminar an der TU München. 5. July 2022, Garching, Germany.
- 13) Drewes, J.E. (2022): Water Reuse – Made in Germany. DWA Water Reuse, IFASt Munich, 1. June 2022, Munich, Germany.
- 14) Drewes, J.E. (2022): Water Reuse – Potential and Opportunities as a Future Water Supply. TUM Triton, IFAT Munich, 1. June 2022, Munich, Germany.
- 15) Drewes, J.E. (2022): Zukunft der Wasserversorgung in Bayern. 5. Wasserforum Oberpfalz, 26. July 2022, Regierung der Oberpfalz, Regensburg, Germany.
- 16) Drewes, J.E. (2022): Zukunft der Wasserversorgung in Bayern. DWA Nürnberger Wasserwirtschaftstage, 29. June 2022, Nürnberg, Germany.
- 17) Drewes, J.E. (2022): Zukunft der Wasserversorgung in Bayern. Fränkische Fernwasserversorgung Kundenfachtagung, 23. May 2022, Feuchtwangen, Germany.
- 18) Drewes, J.E. (2022): Zukunft der Wasserversorgung in Bayern. Wasserwerksnachbarschaften Bayern e.V., 21. June 2022, Germany.
- 19) Drewes, J.E. and Hübner, U. (2022): Hybrid Systems for Wastewater Treatment. NOWELTIES Final Conference, 11-12. May 2022.
- 20) Drewes, J.E.; Hübner, U.; Karakurt-Fischer, S.; Hellauer, K.; Zhiteneva, V.; Aniol, J. (2022): Strategies How to Take Advantage of the Full Potential of the Soil Microbiome to Transform Trace Organic Chemicals. RSC Desktop Seminar on Soils and Interfaces, 27. July 2022.

- 21) Drewes, J.E.; Schwaller, C. (2022): Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung. Bay. Bauernverband. 18. July 2022. Schweinfurt, Germany.
- 22) Drewes, J.E.; Schwaller, C.; Ahmadi, J.; Aniol, J.; Hübner, U. (2022): Innovative Verfahren der Wasserwiederverwendung am Beispiel der Nutzwasserbereitstellung in Schweinfurt. Essener Tagung, 10. March 2022.
- 23) Drewes, J.E.; Schwaller, S. (2022): Water Reuse – Made in Germany. Meeting with Bavarian Ministry of the Environment and Consumer Protection. 7. June 2022, Munich, Germany.
- 24) Drewes, J.E.; Tiehm, A.; Rossmann, K.; Hasenknopf, M. (2022): Implementierung einer SARS-CoV-2 Abwassermonitoringstrategie für Kommunen. Bay. Staatsministerium für Gesundheit. 7. May 2022.
- 25) Drewes, J.E.; Wurzbacher, C. (2022): Feasibility Study for Implementation of Wastewater Surveillance Systems for Covid-19 In Tashkent. Kick-Off Meeting Robert-Koch-Institute, 22. April 2022, Munich, Germany.
- 26) Drewes, J.E.; Wurzbacher, C.; Uchaikina, A.; Kau, S.; Mitranescu, A.; Tiehm, A.; Stange, C.; Ho, J. (2022): Coronamonitoring im Abwasser – Erfahrungen mit einer neuen Diagnostik. Umweltcluster Bayern – AG Mikroverunreinigungen, 9. May 2022.
- 27) Drewes, J.E.; Wurzbacher, C.; Uchaikina, A.; Kau, S.; Mitranescu, A.; Tiehm, A.; Stange, C.; Ho, J. (2022): Coronamonitoring im Abwasser. 50. Lehrerbesprechung, DWA Kanal- und Kläranlagen-nachbarschaften, 26. April 2022 Landshut, Germany.
- 28) Drewes, J.E.; Wurzbacher, C.; Uchaikina, A.; Kau, S.; Mitranescu, A.; Tiehm, A.; Stange, C.; Ho, J.; Michels, I. (2022): Information Flow Between Operators, Health Authorities and Operators. EWA/DWA Innovation Workshop, IFAT Munich, 31. May 2022, Munich, Germany.
- 29) Drewes, J.E.; Wurzbacher, C.; Uchaikina, A.; Kau, S.; Mitranescu, A.; Tiehm, A.; Stange, C.; Ho, J. (2022): Corona-Abwassermonitoring – Erfahrungen aus dem BMBF-Vorhaben Biomarker. Verband kommunaler Unternehmen Workshop. IFAT Munich, 2. June 2022, Munich, Germany.
- 30) Drewes, J.E.; Wurzbacher, C.; Uchaikina, A.; Kau, S.; Mitranescu, A.; Tiehm, A.; Stange, C.; Ho, J. (2022): Corona-Abwassermonitoring – Erfahrungen aus dem BMBF-Vorhaben Biomarker. Unterrichtung der Bürgermeister und Klärmeister. Landratsamt Berchtesgadener Land. 11. July 2022. Bad Reichenhall, Germany.
- 31) Drewes, J.E.; Wurzbacher, C.; Uchaikina, A.; Kau, S.; Mitranescu, A.; Tiehm, A.; Stange, C.; Ho, J. (2022): Corona-Abwassermonitoring – Erfahrungen aus dem BMBF-Vorhaben Biomarker. Austausch mit dem Bay. Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. 30. June 2022, Bad Reichenhall, Germany.
- 32) Feickert Fenske, C.; Koch, K. (2022): Biogas Upgrading in a Pilot-Scale Trickle Bed Reactor. 17th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, 17-22. June 2022, Ann Arbor, USA.
- 33) Gondhalekar, D. (2022): Resiliente Städte: der Nexus Ansatz. Session organized by BMW Foundation RISE Cities Programme. In: Festival der Zukunft, 24. July 2022, Deutsches Museum, Munich, Germany.
- 34) Gondhalekar, D. (2022): Smart Circular Nexus Cities. Smart Circular Cities Symposium, 8. October 2022, Vorhoelzer Forum, Munich, Germany.
- 35) Gondhalekar, D. (2022): Water Reclamation with Resource Recovery as a Key Enabling Factor for Net Zero Carbon Circular and Rejuvenatory Urban Development, German University in Cairo Webinar: Water-Energy-Food Nexus (sustainable environment), 1. June 2022, online.
- 36) Gondhalekar, D. Nexus City: Water Reclamation with Resource Recovery for Net Zero Carbon Urban Development. Asian Water Forum, Asian Development Bank, 09. August 2022, online.
- 37) Gondhalekar, D.; Al-Azzawi, M.; Drewes J.E. (2022): Neighbourhood-Scale Urban Water Reclamation with Integrated Resource Recovery for Establishing Nexus City in Munich, Germany: pipe dream or reality? Dresden Nexus Conference, UNU-FLORES, 23. May 2022, online.
- 38) Hafner, S.; Astals, S.; Koch, K.; Holliger, C.; Nielsen, L.; Refsahl, S.; Weinrich, S. (2022): Challenges and Progress in Measuring Biochemical Methane Potential (BMP). 17th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, 17-22. Juni 2022, Ann Arbor, USA.

- 39) Helmreich, B. (2022): Blau-grüne Tools zum gezielten Regenwassermanagement in der wasserbewussten Stadtplanung. Bayerische Architektenkammer, München, 30. July 2022, online.
- 40) Helmreich, B. (2022): Einflüsse des urbanen Raums auf Oberflächengewässer. Seminar Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern. Rundgespräch Forum Ökologie, Bayerische Akademie der Wissenschaft, 25. May 2022, Munich, Germany.
- 41) Helmreich, B. (2022): Elemente der Wassersensiblen Stadt als Tools zur Erhaltung des lokalen Wasserhaushalts. In: Bauwerksbegrünung und Regenwassermanagement – Planungshinweise. Akademie der Architektenkammer NRW gGmbH, Düsseldorf, 29. January 2022, online.
- 42) Helmreich, B. (2022): In Zukunftsaufgaben der Regenwasserbehandlung. DWA-Landesverband Baden-Württemberg, 1. December 2022, Stuttgart, Germany and online.
- 43) Helmreich, B. (2022): Klimaresiliente Siedlungsentwicklung: Gezielte Regenwasserbewirtschaftung durch grün-blaue Infrastrukturen. Forum Starkregen – Hitze – Trockenheit: Wassersensible Siedlungsentwicklung als Lösung? Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft, 2. June 2022.
- 44) Helmreich, B. (2022): Nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung in der Stadt, TUM-Zertifikatsprogramm „Ökologisches Bauen“, 4. November 2022, Munich, Germany.
- 45) Helmreich, B. (2022): Neue Richtlinien und neue Chancen zur Regenwasserversickerung. In: 5. bdla-Pflanzplanertage. Bund Deutscher Landschaftsarchitekten bdla, 27. September 2022 Berlin, Germany.
- 46) Helmreich, B. (2022): Tools der wasserbewussten Stadt – Unterstützung zum Erhalt des lokalen Wasserhaushalts. Seminar Bauwerksbegrünung und Regenwassermanagement. Architektenkammer Niedersachsen, Hannover, 26. August 2022, online.
- 47) Helmreich, B. (2022): Versickerung von Niederschlagswasser – das neue DWA-A 138 und Behandlungstools. In: Bauwerksbegrünung und Regenwassermanagement – Planungshinweise. Akademie der Architektenkammer NRW gGmbH, Düsseldorf, 29. January 2022, online.
- 48) Helmreich, B. (2022): Versickerung von Niederschlagswasser – das neue DWA-A 138 und Behandlungstools. Bayerische Architektenkammer, München, 30. July 2022, online.
- 49) Helmreich, B. (2022): Versickerung von Niederschlagswasser – das neue DWA-A 138 und Behandlungstools. Seminar Bauwerksbegrünung und Regenwassermanagement. Architektenkammer Niedersachsen, Hannover, 26. August 2022, online.
- 50) Helmreich, B. (2022): Vor-Ort-Behandlung von Niederschlagsabflüssen im Siedlungsraum. Abschlusskolloquium Forschungsvorhaben Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Umwelteigenschaften üblicher Putze und Mörtel im Außenbereich, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Valley, 5. October 2022.
- 51) Helmreich, B. (2022): Wasserbewusste Stadtplanung – Bedeutung und Tools. In: Seminar klimaresiliente, wassersensible Städte der Zukunft. StUMV, 28-29. September 2022, Munich, Germany.
- 52) Helmreich, B.: Das DWA 138-1 – Wesentliche Neuerungen nach Überarbeitungen des Gelbdrucks. RegenwasserTage, DWA, 21-22. June 2022, Bremen, Germany.
- 53) Hübner, U.; Lippert, T.; Ilić, N.; Drewes, J.E. (2022): Konventionelle und innovative Verfahren der Trinkwasseraufbereitung. Fachtagung des Umweltcluster Bayern zu Sanierung von PFAS-Schadensfällen, 22. September 2022, Schrobenhausen, Germany.
- 54) Hübner, U.; Müller, J.; Knoop, O.; Drewes, J.E. (2022): Demonstrating Average Removal of Trace Organic Compounds During Advanced Wastewater Treatment Based on Indicator Compounds – A Question of Combinatorics and Selection. 12th IWA Micropol & Ecohazard Conference, 6-10. June 2022, Santiago de Compostela, Spain.
- 55) Hübner, U.; Spahr, S.; Lutze, H.; Wieland, A.; Rütting, S.; Gernjak, J.; Wenk, J. (2022): Emerging Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment –Guidance for Systematic Future Research, IWA World Water Congress & Exhibition, 11-15. September 2022, Copenhagen, Denmark.
- 56) Ilić, N.; Mukherjee, S.; Hübner, U.; Knoop, O.; Fischer, R.; Drewes, J.E. (2022): Tailoring MOFS to Achieve Unrivalled Adsorption of PFAS from Water - A Fundamental Study of Correlation Between

- Structure and Performance. 12th IWA Micropol & Ecohazard Conference, 6-10. June 2022, Santiago de Compostela, Spain.
- 57) Koch, K.; Hafner, S.; Astals, S.; Weinrich, S. (2022): Evaluation of Common Supermarket Products as Positive Controls in Biochemical Methane Potential (BMP) Tests. 17th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, 17-22. June 2022, Ann Arbor, USA (poster).
- 58) Lang, W.; Helmreich, B.; Bienert, S. (2022): Grün Blau Grau verbinden: Pfade zur Klimaanpassung im Wohnungsbau – ein Schlaglicht aus der Forschung. In: Lebenswerte Stadt der Zukunft – klimagerechtes Planen und Bauen, 5. October 2022, Munich, Germany.
- 59) Lippert, T.; Bandelin, J.; Vogl, D.; Alipour Tesieh, Z.; Wild, T.; Drewes, J.E.; Koch, K. (2022): Full-Scale Assessment of Ultrasonic Sewage Sludge Pretreatment Using a Novel Double-Tube Reactor. 17th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, 17-22. June 2022, Ann Arbor, USA.
- 60) Ponzelli, M.; Radjenovic, J.; Drewes, J.; Koch, K. (2022): The Impact of Graphene Oxide on Methane Production Kinetics. NOWELTIES' Final Conference - New Materials and Inventive Wastewater Treatment Technologies, Harnessing Resources Effectively Through Innovation, 11-12. May 2022, Dubrovnik, Croatia.
- 61) Rosenberger, L.; Helmreich, B. (2022): Klimaanpassung im Wohnungsbau: Planung der blau-grünen. 11. Aqua Urbanica, 14-15. November 2022, Zweideln-Glattfelden, Switzerland.
- 62) Sierra Olea, M.; Kölle, S.; Jennings, E.; Reemtsma, T.; Lechtenfeld, O.J.; Drewes, J.E.; Hübner, U. (2022): Ozonation with Heavy Oxygen ( $^{18}\text{O}$ ) - A Novel Labeling Technique for the Elucidation of Ozonation Products. 12th IWA Micropol & Ecohazard Conference, 6-10. June 2022, Santiago de Compostela, Spain.
- 63) Sierra Olea, M.; Jennings, E.K.; Lechtenfeld, O.J.; Reemtsma, T.; Hübner, U. (2022): Isotopically Labeled Ozone in Wastewater Treatment: Assessment of Biodegradability of OPs from Oxygen Transfer Reaction of Ozone with S- and N-Containing Moieties. SETAC North America 43<sup>rd</sup> Annual Meeting, 13-17. November 2022, Pittsburgh - Pennsylvania, USA (poster).
- 64) Stinshoff, P.; Helmreich, B. (2022): Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum. 11. Aqua Urbanica, 14-15. November 2022, Zweideln-Glattfelden, Switzerland (poster).
- 65) Vega Garcia, P.; Schwerd, R.; Helmreich, B. (2022): Modellierung des Verbleibs von Bioziden und ihren Transformationsprodukten bei der Versickerung von Fassadenabflüssen. 11. Aqua Urbanica, 14-15. November 2022, Zweideln-Glattfelden, Switzerland (poster).
- 66) Weinrich, S.; Delory, F.; Astals, S.; Koch, K.; Hafner, S. (2022): Simple Kinetic Models for Clear Comparison of Anaerobic Digestion at Different Scales and Operating Conditions. 17th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, 17-22. June 2022, Ann Arbor, USA.

## Abschlussarbeiten

### *Dissertationen*

- 1) Al-Azzawi, Mohammed: Microplastic in the Aquatic Environment: Developing a Reliable and Rapid Holistic Analytical Process for Monitoring Microplastics in Wastewater Treatment Plant Effluents.
- 2) Minkus, Susanne: Development and Validation of an Orthogonal Polarity-Extended HRMS Screening to Detect Highly Polar Trace Organic Compounds in the Aquatic Environment.
- 3) Schwaller, Christoph: Agricultural Irrigation Demand Modelling and Assessment of Membrane Ultrafiltration Alone or Hybridized with Inline Dosed Powdered Activated Carbon for Non-Potable Water Reuse Application.
- 4) Vega Garcia, Pablo: Development of a Model to Assess the Environmental Properties of Common Outdoor Plasters and Mortars.

## *Masterarbeiten*

- 1) Abeshev, Kuart: Erweiterung des Wasser-Energie-Lebensmittel-Nexus-Denkens durch die Ökobilanz-Methodik: Umwelleistung eines von der Gemeinschaft unterstützten landwirtschaftlichen Betriebs.
- 2) Ahana Pramanik: Bewertung des Potenzials der Auswirkungen des Wasser-Energie-Nexus: Fallstudie Kläranlage Bhairoba, Pune, Indien.
- 3) Akhimova, Elizaveta: Recycling von Wäschereiabwässern durch Anwendung keramischer Nanofiltration.
- 4) Al Jarrah, Mohammad: Entwicklung von hausgemachten Ultrafiltrationsmembranmodulen und deren Verwendung zur Abschätzung der Erhaltungsenergie in einer an Anilin angepassten mikrobiellen Gemeinschaft aus Belebtschlamm.
- 5) Andalib, Afrina: Untersuchung der Wirkung von Ultraschallfrequenz und -leistung auf den Abbau von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen und des synergetischen Effekts der Kopplung von Flotation mit Ultraschallbehandlung.
- 6) Basak, Nirjhar: Vergleichende Studie über verschiedene Sanierungsstrategien für PAH-kontaminierte Böden.
- 7) Bi, Jianyuan: Die Wechselwirkung von Bioziden und Schwermetallen mit zentrifugal fraktioniertem DOM.
- 8) Borges de Mendonça, Rodrigo: Modellierung ausgewählter Netzwerke der Lebensmittelversorgungskette für Brasilien bei Störungen.
- 9) Bötte, Fabian: Biotransformation einer Mischung von 25 TOCs durch Anilin-, Histidin- und Di-Natriumsuccinat-Abbauer.
- 10) Castillo Nolte, Alejandro: Integration kleiner Wasserkraftsysteme in den Anden von Peru mit einem Nexus -Ansatz.
- 11) Cochrane, Christopher: Ein Nexus-Ansatz für ein Urban Carbon Footprint Account.
- 12) Colina, Andrijana: Wechselwirkung von Per- und Polyfluoralkylsubstanzen und PTFE-Mikropartikeln in der aquatischen Phase: Grundlegende Untersuchungen zum isothermen Adsorptionsverhalten.
- 13) Därr, Dorothee: Untersuchung von Maßnahmen zur energetischen Optimierung einer kommunalen Kläranlage im Rahmen einer Potentialstudie.
- 14) Eder, Simon: Vergleichende Untersuchungen zur Behandlung des Sickerwassers der Deponie Großlappen mittels biologischer und sorptiver bzw. chemisch-mechanischer Verfahren im Pilotmaßstab.
- 15) Feder, Sandra: Laboruntersuchung verschiedener Substrate zur Entfernung von Schadstoffen aus urbanen Regenwasser durch Versickerungsmulden - Zwei Säulenexperimente zur Prüfung der Schwermetall- und Biozid-Retention durch Substratbeimengungen.
- 16) Fleetwood, Daniel: Bio-elektrochemische Produktion des Energieträgers Dimethylether (DME) aus Abwasser: Eine Umweltbewertung via LCA.
- 17) Fokkins, Kevin: Quantifizierung des Bedarfs an Erhaltungsenergie in einer mikrobiellen Gemeinschaft aus Belebtschlamm, die an Histidin als einzige Kohlenstoffquelle angepasst ist.
- 18) Geelani, Rameez Ahmad: Evaluierung der Mantelverordnung in Bezug auf deren Konsistenz hinsichtlich des praktizierten Umweltschutzes
- 19) Gega, Eva: Fortschreitende Sukzession von Mikroben in hängenden Schwammreaktoren.
- 20) Güreli, Emine Nil: Biomethanisierung in einem Rieselbettreaktor: Vergleich von CO<sub>2</sub>-Quellen mit einer Bewertung der Schwefelquellenwirkung.
- 21) Haas Goschenhofer, Sophie: Entwicklung von Methoden zur Dimensionierung und Bewertung intelligenter Zisternen als neuartige Maßnahme in der wasserbewussten Stadt.
- 22) Heimann, Amelie: Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Power-to-Gas Anlage in Deutschland.

- 23) Hillebrand, Veronika: Die physiologischen Auswirkungen der Interaktion zwischen einer einheimischen Miesmuschel und der invasiven Zebrauschel *Dreissena polymorpha* in Abhängigkeit von der Wassertemperatur.
- 24) Irshad, Umar: Biologischer Abbau von 4-Nitro-Sulfamethoxazol und Ibuprofen, die mit Ozonierungsprodukten von leichtem und schwerem Sauerstoff versetzt sind.
- 25) Khan, Mohammad Shehryaar: Optimierung einer UVC-LED Vorbehandlung integriert in Spiralwickелеlemente für die Kontrolle von Biofouling in Membranentsalzungsprozessen.
- 26) Knabl, Magdalena: Auswirkungen variierender Flux- und Transmembrandrücke auf den Rückhalt und die Integrität von MS2-Bakteriophagen während der keramischen Ultrafiltration.
- 27) Kosar, Merve: Entwurf eines nachhaltigen Trinkwasser Versorgungssystems für das Dorf Dar in Niger.
- 28) Krist, Tim: Entwicklung und Modellierung einer Wasseraufbereitungsanlage für ein autarkes Wasserstoffenergiesystem.
- 29) Kwadwo Yeboah Asamoah: Schätzung des Potenzials für Energieautonomie in Kläranlagen (WWTP) unter Verwendung des Water-Energy-Food Nexus-Ansatzes als Modell für afrikanische Städte südlich der Sahara.
- 30) Lange, Kim: Vergleichende Untersuchung des Jahreswasserhaushalts im Rahmen der Klimaanpassung in einem Wohngebiet in Ingolstadt.
- 31) Legner, Nicolas: Städtische Klimaanpassung mit dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen: Simulation von Starkregenereignissen in Schwabach, Bayern.
- 32) Matthes, Nicola: Abnahmeraten und Sorptionsverhalten von SARS-CoV-2 und vergleichbaren Viren in Biofilmen und Abwasser.
- 33) Mohri, Milena: Ermittlung des Phytoextraktionspotenzials für in Deutschland vorkommende krautige Pflanzenarten unter Verwendung eines metaanalytischen Ansatzes.
- 34) Nguyen, Hoang Hiep: Biogasproduktion unter dem Einfluss von Graphenoxid in überbelasteten Reaktoren.
- 35) Nguyen, Xuan: Entfernung von CSB und Spurenstoffen in stark verschmutzten Abwässern – Eine Machbarkeitsstudie mit BDD Elektroden.
- 36) Özal, Göksu: Prozessintegration der hydrothermalen Verflüssigung von Klärschlamm mit Nassoxidation und Power-to-X Technologien: Verbessertes Konzept zur Kraftstoffherstellung.
- 37) Pakta, Arsa: Lösungsansatz für Soil Aquifer Treatment (SAT) System als Managed Aquifer Recharge (MAR) Technologie zum Management, Behandlung, und Wiederverwendung von Regenwasser und Abwasser in Dar, Niger.
- 38) Pasquazzo, Giulia: Untersuchung der Entfernung von Benzoesäure und 1,4-Dioxan in einem simulierten Grundwassersystem durch die Ozonung mit einem PDMS Gas/Flüssig-Membrankontaktor.
- 39) Philips, Harsha: Machbarkeitsstudie zu Zero Wastewater Discharge-Technologien für wasserintensive Produktionsstätten von Henkel Adhesive Technologies.
- 40) Prasad, Meenakshi: Auswahl einer geeigneten Membran für die Entfernung von metabolisch produziertem Wasser in Rieselbettreaktoren - Eine techno-ökonomische Analyse.
- 41) Preiß, Lisa-Marie: Stadtbäume als Elemente der wasserbewussten Stadt – Nutzung als Flächenentwässerungssysteme und Anforderungen aufgrund klimatischer Stressbelastungen.
- 42) Reiser, Patrick: Vergleichende Untersuchung der jährlichen Wasserhaushaltsbilanz des Klimaquartiers Schweinfurt unter dem Einfluss des Klimawandels.
- 43) Rocha Santos, Giovanni: Validierung verschiedener Methoden zur Quantifizierung von Per- und Polyfluoralkyl-Substanzen in Zahnpflegeprodukten.
- 44) Schill, Rebecca: SARS-CoV-2-Abwasserüberwachung: Verständnis der räumlich-zeitlichen Instabilitäten und des Rauschens in der Beziehung zwischen Abwasserproben und klinischen Fällen.
- 45) Shaaban, Safenaz: Der Einfluss von Epoxiconazol und Penicillin auf aquatische Mikroorganismen in hängenden Schwammreaktoren.

- 46) Speer, Anna: Vergleich einer 1D und 1D-2D Modellierung für die Dimensionierung eines kleinen Hochwasserrückhaltebeckens als Überflutungsschutz der Ortschaft Oberempfenbach.
- 47) Tiwari, Kapil: Einfluss des Sauerstoffpartialdrucks auf die Behandlung von Wasser aus der Ölproduktion in MBBR.
- 48) Ukpedor, Perfect: Eine sektorübergreifende Analyse von Circular City-Indikatoren, die Circular Economy und Nexus Framework integrieren.
- 49) Waldapfel, Bianca: Potentialanalyse zur dezentralen Behandlung organisch hochbelasteter Waschabwässer anhand eines Fallbeispiels aus der chemischen Industrie.

### *Studienarbeiten*

- 1) Ahoor, Danika: Optimierung eines Ozonerzeugungssystems mit geschlossenem Kreislauf für die Produktion von schwerem Ozon.
- 2) Al-Areqi, Aya: Untersuchung der Wirkung verschiedener Metallsalze als Koagulationsmittel auf die Filtrierbarkeit und andere Surrogatparameter in der Abwasserbehandlung.
- 3) Atanova, Angelina: C40 Wettbewerb: Wiedererfindung von Mobilität und Städteplanung in Balvanera Sur, Buenos Aires, Argentinien.
- 4) Bötte Fabian: Analyse der Biotransformation von organischen Spurenstoffen durch eine Anilin-abbauende Mikroorganismengemeinschaft.
- 5) Contreras Vomend, Fernando Mario: Beurteilung der katalytischen Aktivität von Mangandioxid und Eisen(III)-oxidhydroxid durch die Bildung von Hydroxylradikalen für deren Einsatz in der heterogenen katalytischen Ozonung.
- 6) Franz, Benedikt: Adsorption von Kupfer und Zink an optimierten bewachsenen Bodenzone mittels Substratbeimengung zur Verbesserung urbaner Niederschlagswasserbehandlung.
- 7) Gadalla, Islam: Formulierung eines GHG Emissions Inventars für TUM.
- 8) Griffith, Harry: Energiemodell OSRIDA – Analyse des Status Quo.
- 9) Hofmeier, Veronika: Review von Trinkwasseraufbereitungstechnologien in Sub-Sahara Afrika.
- 10) Khan, Mohammad Shehryaar: Entwicklung und Validierung einer Kultivierung und Durchfluss-Biosimetrie Prozedur für *Aquabacterium citratiphilum*.
- 11) Kirzeder, Franz: Übersicht der Aufbau- und Betriebsparameter von Rieselbettreaktoren für die biologische Methanisierung.
- 12) Melhem, Mohannad: Bewertung der nachhaltigen und nicht nachhaltigen Wassernutzung in verschiedenen Sektoren in Lahore, Pakistan.
- 13) Milde, Lukas: Entwicklung und Konstruktion eines SMART-Säulenversuchsstandes (Sequential Managed Aquifer Recharge Technology) zur Untersuchung der Sauerstoffzehrung für eine verbesserte Entfernung von organischen Spurenstoffen (TOCs).
- 14) Mondorf, David: Nexus Wasser-Energie-Ernährungssicherheit in der kenianisch-ugandischen Grenzregion: Ökonomische Analyse des Einflusses landwirtschaftlicher Praktiken auf die Trinkwasserversorgung im Flusseinzugsgebiet Sio-Malaba-Malakisi.
- 15) Mraz, Christina: Die Suche nach der Nadel im Heuhaufen: Optimierte Methodenentwicklung für die Nilrot-Fluoreszenzfärbung und Verfolgung von Mikroplastikpartikeln in Umweltproben.
- 16) Nguyen, Hoang Hiep: Untersuchung des Algenwachstums in Biofiltern mit integrierten LEDs.
- 17) Nguyen, Xuan Quyet: UV Licht Modellierung eines stationären Wasserreaktors unter Verwendung von COMSOL Multiphysics.
- 18) Ozluer, Meltem: Biotransformation von Atenolol und Sulfamethoxazol durch Anilin- und Histidinabbauer.
- 19) Rendon Velazquez, Claudia Margarita: Entwicklung von Standortbewertung und Projektvorschlag mit einem WEF-Nexus-Ansatz in Gebieten Subsahara: Fallstudie in Ruanda.

- 20) Schill, Rebecca: Auswirkungen der Kohlendioxidanreicherung auf die Wasserstoffbildung in der anaeroben Co-Vergärung.
- 21) Straub, Julian: Entfernung von Arsen aus Deponiesickerwässern.
- 22) Strebel Annika: Leitfaden zur Behandlung hochbelasteter und heterogener Industrieabwässer.
- 23) Sultana, Habiba: UVC Vorbehandlung mittels LEDs zur Biofouling Kontrolle in Systemen mit Umkehrosmosemembranen.
- 24) Ukpedor, Perfect: Auswirkungen einer CO<sub>2</sub>-Anreicherung auf die anaeroben Co-Vergärung bei unterschiedlichen organischen Raumbelastungsraten mittels Analyse von VFA/TIC-Verhältnis und VFA.
- 25) Waldapfel, Bianca: Verarbeitungsstrategien und statistische Methoden zur Datenauswertung des Non-Target-Screenings für Probenvergleiche.

### *Bachelorarbeiten*

- 1) Braun, Johanna: Eine Literaturstudie zu den Effekten von ultravioletter Strahlung auf Mikroorganismen mit Fokus auf Inaktivierungs- und Reparaturmechanismen für LED spezifische Anwendungen.
- 2) Bühler, Leonie: Baumrigolen - Unterschiedliche Bauarten und Möglichkeiten der Nutzung zur Entwässerung von Verkehrsflächen.
- 3) De Amicis Barbieri Botelho, Guilherme: Vielfalt von Pilzen in Kläranlagen
- 4) Gadalla, Islam: Erarbeitung eines THG-Emissionsinventars für die TUM.
- 5) Gerstner, Julian: Potentialanalyse zur Nutzung salzhaltiger Abwasserströme als qualitativ hochwertiges Streumittel für den Winterdienst.
- 6) Giglberger, Felix: Kopplung von urinabscheidenden Spültoiletten mit anaerober Co-Vergärung im Globalen Süden - Modellierung von Klimavorteilen in Kpong, Ghana.
- 7) Hansen, Emily: Piney Point Phosphatwerk: Eine Umweltuntersuchung und ein Abwasserbehandlungskonzept.
- 8) Heymes, Natacha: Die Wasserversorgung der Marktgemeinde Peißenberg.
- 9) Kolb, Laurenz: Screening nach unbekanntem PFASs in der aquatischen Umwelt und konzentrationsabhängiger Vergleich der nachgewiesenen Verbindungen.
- 10) Meier, Dominik: Modellaufbau und Validierung eines Kanalnetzes mit PCSWMM am Beispiel der Stadt Ingolstadt.
- 11) Nißl, Andreas: Bemessung der Kläranlage Stein an der Traun zur Beantragung einer gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis.
- 12) Robinson Padron, Carmen: Mykobiom (Pilzpopulationen) von urbanen aquatischen Systemen.
- 13) Stöhr, Fabian: Multifunktionale Nutzung von urbanen Flächen - Beispiele und Anforderungen.
- 14) Zimmermann, Julia: Auswertung halb-technischer Versuche von Versickerungsmulden mit Substratbeimengung - Optimierter Rückhalt von Bioziden im urbanen Niederschlagswasserabfluss durch die bewachsene Bodenzone.

## Dissertationen und Auszeichnungen

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. Pablo Alberto Vega García** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 12. August 2022. Seine Arbeit mit dem Titel *“Development of a model to assess the environmental properties of common outdoor plasters and mortars“* wurde von Frau Prof. Brigitte Helmreich, Frau Prof. Anya Vollpracht (RWTH, Aachen) und Herrn Prof. Klaus Sedlbauer (TUM) begutachtet. Vorsitzender der Kommission war Herr PD Dr.-Ing. Konrad Koch.



Abbildung 48: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Pablo Alberto Vega García (Herrn Prof. Klaus Sedlbauer war online dazu geschaltet).



Abbildung 49: Promotionskomitee von Dr.-rer. nat. Susanna Minkus (Herrn Prof. Thorsten Schmidt war online dazu geschaltet).

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr. rer. nat. Susanna Minkus** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 23. Dezember 2022. Ihre Arbeit mit dem Titel *“Development and validation of an orthogonal polarity-extended HRMS screening to detect highly polar trace organic compounds in the aquatic environment“* wurde von Herrn Prof. Thorsten Schmidt (Universität Essen), Herrn Prof. Jörg E. Drewes und Herrn Dr. Thomas Letzel (Privatdozent, ehemals TUM) begutachtet. Frau Prof. Brigitte Helmreich, war Vorsitzende der Kommission.

Herzlichen Glückwunsch an Herrn **Dr.-Ing. Christoph Schwaller** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 19. Dezember 2022. Seine Arbeit mit dem Titel *“Agricultural irrigation demand modelling and assessment of membrane ultrafiltration alone or hybridized with inline dosed powdered activated carbon for non-potable water reuse applications“* wurde von Frau Prof. Brigitte Helmreich, Herrn Prof. Tzahi Y. Cath (Colorado School of Mines, USA) und Herrn Prof. Jörg Drewes begutachtet. Vorsitzender war Herr Dr. Konrad Koch.



Abbildung 50: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Christoph Schwaller (Herr Prof. Cath war online dazu geschaltet).



Abbildung 51: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Mohammed Al-Azzawi.

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. Mohammed Al-Azzawi** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 20. Dezember 2022. Seine Arbeit mit dem Titel *“Microplastics in the Aquatic Environment: Developing a Reliable and Rapid Holistic Analytical Process for Monitoring Microplastics in Wastewater Treatment Plant Effluents“* wurde von Frau Prof. Brigitte Helmreich, Herrn Prof. Martin Jekel (TU Berlin) und Herrn Prof. Jörg E. Drewes begutachtet. Vorsitzender der Kommission war Herr Prof. Markus Disse (TUM).

Wir freuen uns mit und gratulieren Frau **Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer**, die für Ihre Doktorarbeit mit dem Titel *„Development and validation of a novel treatment concept for planned potable reuse based on sequential managed aquifer recharge technology for more sustainable water management“* mit dem Willy-Hager-Preis 2021 ausgezeichnet wurde. Der Preis wird von der Willy-Hager Stiftung für hervorragende Arbeiten junger Hochschulwissenschaftler auf dem Gebiet der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung in Deutschland vergeben. Der Preis wurde im Rahmen der Jahrestagung der Wasserchemischen Gesellschaft innerhalb der GdCh 2022 verliehen.

Wir freuen uns mit **Professor Jörg E. Drewes**, der die renommierte Dunbar-Medaille von der European Water Association (EWA) bekommen hat.



Abbildung 52: Dunbar-Medaillesvergabe am 30. Mai 2022 auf der IFAT, München.

## 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 2022 angeboten:

### *Sommersemester*

#### **Bachelor**

- 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: Helmreich, Brigitte; Petz, Susanne
- Umweltrecht: Spieler Martin (TUM-Lehrbeauftragter)

#### **Master/PhD**

- Advanced Water Treatment Engineering and Reuse: Drewes, Jörg
- Anaerobic Treatment and Energy Recovery: Koch, Konrad
- 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
- Gute Wissenschaftliche Praxis: Koch, Konrad
- Hydrochemistry Laboratory: Helmreich, Brigitte; Sottorff, Ignacio; Petz, Susanne; Hübner, Uwe; Koch, Konrad
- Industrial Wastewater Treatment and Reuse: Helmreich, Brigitte
- Modeling of Aquatic Systems: Koch, Konrad
- 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: Hübner, Uwe
- Wastewater Treatment: Koch, Konrad

## *Wintersemester*

### **Bachelor**

- 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
- Gute Wissenschaftliche Praxis: Koch, Konrad
- Hydrochemistry Laboratory: Helmreich, Brigitte; Sottorff, Ignacio; Hübner, Uwe; Koch, Konrad
- Hydrochemistry: Helmreich, Brigitte
- Modeling of Aquatic Systems: Koch, Konrad
- PhD Seminar SiWaWi: Drewes, Jörg; Hübner, Uwe
- Planungs- und Genehmigungsverfahren nach deutschem und europäischem Wasserrecht: Spieler, Martin (TUM-Lehrbeauftragter)
- Scientific Methods and Presentation Skills: Möckel, Rolf; Drewes, Jörg
- 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 Spendegeber erhalten eine steuerlich absetzbare Spendenbescheinigung.

Die Geschäftsstelle wird von Frau Raphaela Hofmann geleitet.

## MitarbeiterInnen

---

### Lehrstuhlleitung



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

### ArbeitsgruppenleiterInnen



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



**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



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



**Ignacio Sottorff Neculhueque**  
(Dr. rer. nat.)  
+49.89.289.13702  
i.sottorff@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



**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



**Shehryaar Khan**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13705  
shehryaar.khan@tum.de



**Mariana Kluge**  
(Ph.D.)  
+49.89.289.13720  
mariana.kluge@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



**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



**Daniel Nieß**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13712  
daniel.niess@tum.de



**Natalie Páez Curtidor**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13704  
natalie.paez@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 Stinshoff**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13718  
philipp.stinshoff  
@tum.de



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



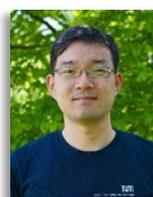
**Anna Uchaikina**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13712  
anna.uchaikina@tum.de



**Christine Walzik**  
(M.Sc.)  
+49.89.289.13705  
christine.walzik@tum.de



**Johannes Winklmaier**  
(Dipl.-Ing.)  
+49.89.289.13711  
johannes.winklmaier  
@tum.de



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

*GastwissenschaftlerInnen*



**Abishek Narayan**  
(Ph.D.)  
abishek.narayan  
@eawag.ch



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



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



**Mirshina Olga  
Pavlovna**  
(Ph.D.)  
mop-61@mail.ru



**Boris Pleshkov  
Andreevich**  
haemo@mail.ru



**Elena Mun**  
(M.Sc.)  
elena.mun@giz.de

### *Technisches Personal*



**Tanja Ertl**

+49.89.289.13732  
tanja.ertl@tum.de



**Maximilian Damberger**

+49.89.289.13730  
m.damberger@tum.de



**Carolin Kerscher**

+49.89.289.13732  
c.kerscher@tum.de



**Heidrun Mayrhofer**

+49.89.289.13732  
heidrun.mayrhofer@tum.de



**Myriam Reif**

+49.89.289.13715  
m.reif@tum.de



**Wolfgang Schröder**

+49.89.289.13726  
wolfgang.schroeder@tum.de

### *Auszubildende*



**Johanna Wittko**

+49.89.289.13715  
johanna.wittko@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](mailto:sww@tum.de)

## Spendenkonto

Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls e.V.,

Postbank München

IBAN: DE04 7001 0080 0034 9498 02

BIC: PBNKDEFF

## Editorin

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Millaray Sierra Olea, M.Sc.

Carolina Feickert Fenske, M.Sc.