

forum 91

Mitteilungsblatt des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft

**JAHRESBERICHT DES
LEHRSTUHL FÜR
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT
2020**

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Am Coulombwall 3
85748 Garching

Tel. +49.89.289.13701
Fax +49.89.289.13718

<http://www.sww.bgu.tum.de/>
sww@tum.de

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

VORWORT	1
VERSUCHSANSTALT DES LEHRSTUHL	3
CHEMISCH-PHYSIKALISCHES, ANALYTISCHES UND MIKROBIOLOGISCHES LABOR	4
ARBEITSGRUPPE ENTWÄSSERUNGSSYSTEME	6
MULTIFUNKTIONALE VERSICKERUNGSMULDEN IM SIEDLUNGSRAUM	7
PRAXISERFAHRUNG ZUM UMGANG MIT DEZENTRALEN BEHANDLUNGS-ANLAGEN FÜR VERKEHRSFLÄCHENABFLÜSSE	8
STUDIE ZUR KOMPLEXIERUNG VON BIOZIDEN, PESTIZIDEN UND SCHWERMETALLEN AUS GEBÄUDEABFLÜSSEN IN GEGENWART GELÖSTER ORGANISCHER STOFFE	9
ENTWICKLUNG EINES MODELLS ZUR BEWERTUNG DER UMWELTRELEVANTEN EIGENSCHAFTEN ÜBLICHER PUTZE UND MÖRTEL IM AUßENBEREICH	10
ZUSTAND DER KANALISATION IN BAYERN – DATENSTAND 2018	11
STRATEGIE ZUR NUTZUNG EINER AMMONIUMBETONTEN-N-ERNÄHRUNG ZUR VERBESSERUNG DER P-VERSORUNG JUNGER PFLANZEN AUS SCHWERLÖSLICHEN P-DÜNGERN SOWIE DEM P-BODENVORRAT ZUR MINIMIERUNG DES EINTRAGS VON N UND P AUS LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN IN GEWÄSSER	12
ARBEITSGRUPPE ENERGIEEFFIZIENTE ABWASSERBEHANDLUNG	13
OPTIMIERUNG DER MIKROBIOLOGISCHEN METHANISIERUNG IM ANAEROBEN RIESELBETTREAKTOR UND DEMONSTRATION DES REAKTORBETRIEBS IM PILOTMAßSTAB.....	14
ULTRAMETHAN-TEILPROJEKT: STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ BEI DER ABWASSERREINIGUNG DURCH INNOVATIVE ULTRASCHALLDESINTEGRATION	15
ULTRAMETHAN-TEILPROJEKT: ENTWICKLUNG EINES ULTRASCHALLTESTREAKTORS ZUR INTENSIVEN DESINTEGRATION GROBER MENGEN KLÄRSCHLAMMS IM DURCHFLUSSVERFAHREN	16
ERHÖHTE METHANPRODUKTIVITÄT IN BIOGASANLAGEN DURCH CO ₂ -ANREICHERUNG.....	17
ARBEITSGRUPPE WEITERGEHENDE WASSERBEHANDLUNG	18
ISCO ₃ : EINTRAG VON OZON IN GRUNDWASSER ÜBER GASPERMEABLE MEMBRANEN ZUR IN-SITU SANIERUNG VON BTEX SCHADENSFÄLLEN	19
FO ₃ NC - REAKTIVITÄT UND TRANSFORMATION FUNKTIONELLER GRUPPEN VON SPURENSTOFFEN UND ORGANISCHER HINTERGRUNDMATRIX BEI DER OZONIERUNG VON ABWASSER	20
ENTWICKLUNG ADAPTIVER FORTSCHRITTLICHER METHODEN UND SYSTEME ZUR ENTFERNUNG PERSISTENTER PER- UND POLYFLUORALKYL-SUBSTANZEN AUS WASSER	21
BIOENERGETISCH-METABOLISCHES MODELL ZUR VORHERSAGE DER MIKROBIELLEN TRANSFORMATION VON SPURENSTOFFEN.....	22
ARBEITSGRUPPE WASSER RECYCLING	23
NUTZWASSER – GEWINNUNG UND EINSATZMÖGLICHKEITEN AM BEISPIEL DER SCHWEINFURTER TROCKENPLATTE	23
TECHNOLOGIEN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG ZUR STÜTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG IN URBANEN WASSERKREISLÄUFEN	24
REUSE-BREW: DEMONSTRATION DER DIREKTEN WASSERWIEDER-VERWENDUNG FÜR DIE GETRÄNKEHERSTELLUNG	25
ARBEITSGRUPPE URBAN WATER-ENERGY-FOOD (WEF) NEXUS	26
ARBEITSGRUPPE MEMBRANFILTRATION	27
ENTWICKLUNG EINES UV-BESTRAHLUNGSSYSTEMS ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ VON UMKEHROSMOSE- MEMBRANVERFAHREN ZUR WASSERAUFBEREITUNG	28
INLINE-DOSIERUNG VON PULVERAKTIVKOHLE UND KOAGULATIONSMITTEL VOR DER ULTRAFILTRATION.....	29

OPTIMIERUNG DER ENTFERNUNGSEFFIZIENZ VON ANTI-BIOTIKA-RESISTENTEN BAKTERIEN UND ANTI-BIOTIKARESISTENZGENEN DURCH MIKRO- UND ULTRAFILTRATION IN KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN	30
ARBEITSGRUPPE MIKROBIELLE SYSTEME	31
DIVERSE DIVERGIERENDE TORCS TRANSFORMATIONSEFFIZIENZEN IN BIOFILTRATIONSSYSTEMEN.....	32
AUFLÖSEN VON AQUATISCHER DUNKLER MATERIE (FDM) DURCH LASERDISSEKTION UND SEQUENZIERUNG MIT LANGEN LESEWEGEN.....	33
FUNKTION VON WASSERPILZEN IN BIOFILMEN DER ABWASSER-BEHANDLUNG	34
ARBEITSGRUPPE SPURENSTOFFE IN DER UMWELT.....	35
PROBENAUFBEREITUNG FÜR UMWELTMATRIX GEBUNDENE MIKRO- & SUBMIKROPLASTIK: VALIDIERUNG UND FELDSTUDIE...	36
ANALYTIK VON (SUB)MIKROPLASTIKPARTIKELN UND SORBIERTEN SPURENSTOFFEN MIT TD-PYR-GC/MS.....	37
VORHERSAGE DER IONISATIONS-RATEN IN EINER ESI IONENQUELLE MITTELS MASCHINELLEM LERNEN.....	38
PILOTPROJEKT: 4. REINIGUNGSSTUFE AUF DER KLÄRANLAGE WEIßENBURG, ERFAHRUNGEN IM REGELBETRIEB.....	39
NEUE ANALYTISCHE STRATEGIEN ZUR BESTIMMUNG ANTHROPOGENER SPURENSTOFFE IN PFLANZEN: PFLANZLICHE BIOMONITORE FÜR VERUNREINIGUNGEN IN DER UMWELT.....	40
EXTERNE DOKTORANDEN	41
POLARE SPURENSTOFFE IN DER DONAU	41
IDENTIFIKATION UND VERHALTEN POLYFLUORIERTER VORLÄUFERVERBINDUNGEN IN DER UMWELT.....	42
GASTWISSENSCHAFTLER	43
INTERNATIONALE KOOPERATIONSPARTNER.....	44
NATIONALE & INTERNATIONALE GREMIENARBEIT	45
WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG FÜR GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU).....	45
DFG-FACHKOLLEGIUM	45
DWA-ARBEITSGRUPPEN.....	45
WASSERCHEMISCHE GESELLSCHAFT	45
EXPERTENGREMIUM WASSERZUKUNFT BAYERN 2050	46
INTERNATIONALE GREMIEN.....	46
ZEITSCHRIFTEN REDAKTEUR.....	46
NACHWUCHSFÖRDERUNG / WORKSHOPS / SONSTIGE AKTIVITÄTEN	47
YOUNG WATER REUSE PROFESSIONALS (YWRP)	47
SCIENCLISTEN.....	47
GEPLANTE VERANSTALTUNGEN IN 2021	48
31. WASSERTECHNISCHES SEMINAR, 3. MÄRZ 2021: NEUE ANFORDERUNGEN AN DIE TRINKWASSERAUFBEREITUNG DURCH PERFLUORIERTER VERBINDUNGEN (PFAS)? – VIRTUELL.....	48
48. ABWASSERTECHNISCHES SEMINAR AM 14 JULI 2021: REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG IN ZEITEN DES KLIMAWANDELS	50
PUBLIKATIONEN	52
DISSERTATIONEN UND AUSZEICHNUNGEN.....	60
LEHRE	61
FÖRDERGESELLSCHAFT DES LEHRSTUHL FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT E.V.....	63
MITARBEITERINNEN.....	64
KONTAKT	69



**JÖRG E.
DREWES**

(PROF. DR.-ING.)

089/289 13713

JDREWES
@TUM.DE

Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls,

das Jahr 2020 wird uns allen sicher noch lange in Erinnerung bleiben als ein Jahr mit tiefgreifenden Veränderungen, von denen einige – so kann man nur hoffen – sich vielleicht auch positiv weiterentwickeln werden. Die Covid-19 Pandemie hat uns alle vor ungeahnte Herausforderungen gestellt und wird es noch eine ganze Weile tun. Viele Menschen haben Angehörige verloren oder schwere Krankheiten durchlitten, viele lang gepflegte Selbstverständlichkeiten sind grundsätzlich in Frage gestellt, viele Menschen wie Unternehmen und ganze Länder haben schwer mit den wirtschaftlichen Folgen der Pandemie zu kämpfen.

Auch wenn es für uns ein herausforderndes Jahr war, sind wir glücklich und sehr dankbar, dass wir die Herausforderungen der Pandemie bisher überraschend gut gemeistert haben.

Ich freue mich, Ihnen mit dieser Ausgabe unseren Jahresbericht 2020 überreichen zu können. Trotz Corona, war auch dieses Jahr geprägt durch spannende Forschungsaktivitäten und erfreuliche Drittmittelwerbungen, wenn gleich wir unsere physische Beteiligungen an nationalen und internationalen Konferenzen quasi auf Null zurückgefahren haben. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls sind weiterhin sehr aktiv ihre gewonnenen Erkenntnisse auch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu publizieren und mit der nationalen und internationalen Fachöffentlichkeit dieses Jahr in virtuellen Vorträgen zu teilen. Wir freuen uns sehr für Frau Dr.-Ing. Veronika Zhiteneva, Frau Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer und Herrn Dr.-Ing. Dietmar Strübing für den erfolgreichen Abschluss ihrer Promotionen in diesem Jahr. Wir dürfen auch stolz sein auf Herrn Dr.-Ing. David Miklos, der für seine Doktorarbeit im vergangenen Jahr mit dem Willy-Hager Preis 2020 ausgezeichnet wurde sowie auf Herrn Dr.-Ing. Johann Müller, der für seine Doktorarbeit den 2. Platz beim Nachwuchspreis Deutsche Wasserwirtschaft 2020 errang. Wir gratulieren noch einmal ganz herzlich!

Im vergangenen Jahr wurden wir durch einige neue Doktorand*innen verstärkt, die sich Ihnen in diesem Jahresbericht mit ihren anderen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl vorstellen.

Ähnlich wie viele andere Veranstaltungen mussten auch wir Pandemie-bedingt das diesjährige Abwassertechnische Seminar (ATS) absagen. Im kommende Jahr werden wir aber unsere Seminarreihe mit dem Wassertechnischen Seminar (WTS) als virtuelle Veranstaltung mit dem Thema “Neue Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung durch perfluorierte Verbindungen (PFAS)“, das federführend von Dr. Oliver Knoop organisiert wurde, am 3. März 2021 wieder aufnehmen. Dieses Thema ist nicht nur im Freistaat Bayern sondern auch in Deutschland brand aktuell und wir haben dafür führende Referent*innen gewinnen können. Das 48. ATS ist für den 14. Juli 2021 in Ismaning geplant und wird sich dem Thema “Regenwasserbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels” unter Federführung von Frau

Prof. Brigitte Helmreich widmen. Die Programme dieser Veranstaltungen finden Sie in dieser Ausgabe des FORUMs sowie auf unserem Webportal. Dort können Sie sich auch online anmelden (www.sww.bgu.tum.de/). Über Ihr Interesse an 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, Environmental Planning and Engineering sowie Sustainable Resource Management. Allerdings wurde die Vorlesungen sowohl im Sommer- wie im Wintersemester weitgehend virtuell abgehalten. Neben einer Vielzahl von Vorlesungen, Übungen und Praktika betreuten die Mitarbeiter*innen des Lehrstuhls die beeindruckende Anzahl von 85 Masterarbeiten, Studien- und Bachelorarbeiten.

Nach der sehr erfolgreichen Ausrichtung der 12th International Conference on Water Reclamation and Reuse der International Water Association (IWA) im Juni 2019 in Berlin, habe ich den Vorsitz der Specialist Group abgegeben. Ich engagiere mich aber weiterhin in der WRSG sowie dem Strategic Council der IWA. Mit Beschluss des Bundeskabinetts im Oktober 2020, habe ich mich sehr über die Berufung in den Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen für die Amtsperiode 2020-2024 gefreut.

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

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

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

Ihr,





**BRIGITTE
HELMREICH**

(PROF. DR. RER. NAT.
HABIL.)

089/289 13719

B.HELMREICH
@TUM.DE



**CLAUS
LINDENBLATT**

(DIPL.-ING.)

089/289 13704

C.LINDENBLATT
@TUM.DE

Versuchsanstalt des Lehrstuhls

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

Für Versuche stehen diverse Labor- und halbertechnische Versuchsanlagen mit Behältergrößen von 30 bis 800 L zur Verfügung. So können z.B. Verfahrensprozesse oder Trinkwasser- und Abwasserbehandlungsanlagen bis in den Anwendungsmaßstab entwickelt und validiert werden. Für die weitergehende Abwasserbehandlung stehen Anlagen zur Oxidation (Ozon, UV/H₂O₂) sowie zur Membranfiltration (Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose) zur Verfügung (Abbildung 1).

Ebenso hat die Versuchsanstalt verschiedenste Möglichkeiten, Behandlungsanlagen für Dach- und Verkehrsflächenabflüsse zu entwickeln, weiter zu optimieren oder zu überprüfen. Hier stehen im Labormaßstab sowohl klassische Schüttelversuche wie auch Säulen in unterschiedlichster Dimension zur Verfügung, um Sorptionskapazitäten für Schwermetalle und auch organische Stoffe zu ermitteln. Im halbertechnischen 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 halbertechnischer 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.)

089/289 13702

SUSANNE.PETZ
@TUM.DE



**OLIVER
KNOOP**

(DR. RER. NAT.)

089/289 13702

OLIVER.KNOOP
@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. Oliver Knoop und Dr. Christian Wurzbacher geleitet werden.

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

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. Zur Analyse von flüchtigen organischen Substanzen, wie Weichmachern oder flüchtigen organischen Säuren, können mit Hilfe von Headspace-GC/FID, sowie Mikroplastik-Partikel eines Thermodesorptions-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). Zur Charakterisierung von mikrobiellen Gemeinschaften kommen Hochdurchsatzsequenzierungstechnologien zum Einsatz.



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

Die Arbeitsgruppe Entwässerungssysteme unter Leitung von Frau Prof. Dr. Brigitte Helmreich beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Entwässerung im Siedlungsraum. In Hinblick auf den Klimawandel, der die Häufigkeit, Dauer und Intensität von Wetterextremen wie Starkregenereignisse und Dürreperioden verstärkt, wird die Siedlungsentwässerung vor große Herausforderungen gestellt. Es kommt zur regelmäßigen Überlastung der Kanalisation bzw. der Zunahme von sommerlichem Hitzestress und Wassermangel in besonders betroffenen Regionen. Hinzu kommt, dass es insbesondere in Ballungszentren zu einer starken Nachverdichtung und damit Versiegelung von Siedlungsflächen kommt, welche die Entwässerungssituation verschärft. Zusätzlich stehen wir vor einer alternden Infrastruktur. Um eine sichere Entwässerung zu gewährleisten, ist die Funktionsfähigkeit der öffentlichen Kanalisation von entscheidender Bedeutung für den effektiven und sicheren Abtransport von Schmutzwasser und Niederschlagswasser in Kommunen.

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



Abbildung 5: Beispiel eines Retentionsbodenfilters zur Behandlung von Straßenanflüssen.

Im Jahr 2020 haben wir uns schwerpunktmäßig mit der Auswertung des Zustands der bayerischen Kanalisation als Basis für die Prognose des Sanierungsbedarfs beschäftigt. Zwei Projekte, die sich mit der stofflichen und betrieblichen Leistung dezentraler Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse beschäftigt haben, konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Ein Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Abschwemmung von Bioziden aus Gebäudefassaden und der damit verbundenen Relevanz für die Umwelt. Ein neues Forschungsvorhaben, das sich mit der multifunktionalen Versickerungsmulden beschäftigt, wurde begonnen. Hier steht nicht nur die Entwässerungssicherheit und der Schadstoffrückhalt im Vordergrund, sondern auch die Biodiversität und der Insektenschutz. Solche multifunktionale Versickerungsmulden sollen künftig im Siedlungsraum mehr Akzeptanz finden und auf die Extreme des Klimawandels besser vorbereitet sein.



**PHILIPP
STINSHOFF**

(M.Sc.)

089/289 13717

PHILIPP.STINSHOFF
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT

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

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 begrünte Versickerungsmulden im Siedlungsraum sein. Diese Art der naturnahen Niederschlagswasserbewirtschaftung soll in diesem Forschungsvorhaben um den Aspekt der Multifunktionalität erweitert werden.

Ziel ist nicht nur die Entwicklung eines verbesserten siedlungswassertechnischen, sondern auch pflanzen- und tierökologisch-integrierten Versickerungssystems. Die Forschung an angepasster und geeigneter Bepflanzung wird hierbei von Mitarbeitern der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf übernommen. Am Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft wird die Entwicklung einer geeigneten und optimierten bewachsenen Bodenzone mittels Substratbeimengung fokussiert, welcher sich auf die Entwässerungssicherheit und den Schadstoffrückhalt von Schwermetallen und Bioziden aus Verkehrsflächen-, Fassaden- und Dachflächenabflüssen konzentriert. Dies wird in drei Schritten erfolgen: 1. Laborversuche mit Säulen zum Schadstoffrückhalt. 2. Halbtechnische Versuche im Freigelände mit Bepflanzung zur Untersuchung der stofflichen Belastung und Betriebsstabilität. 3. Pilotierung im Siedlungsraum mit den aus 1. und 2. ausgewählten, bewährten Boden-Substratgemischen und verschiedener Bepflanzung. Zusätzlich werden Baumrigolen mit den Boden-Substratgemischen in der Pilotierung mit betrachtet.

Dieses Forschungsprojekt bildet damit die Grundlage für einen zukünftigen Leitfaden für Betreiber und Planer aus welchem dann die ökologischen und ökonomischen Vorteile, sowie der Aufwand für den Unterhalt ersichtlich werden.

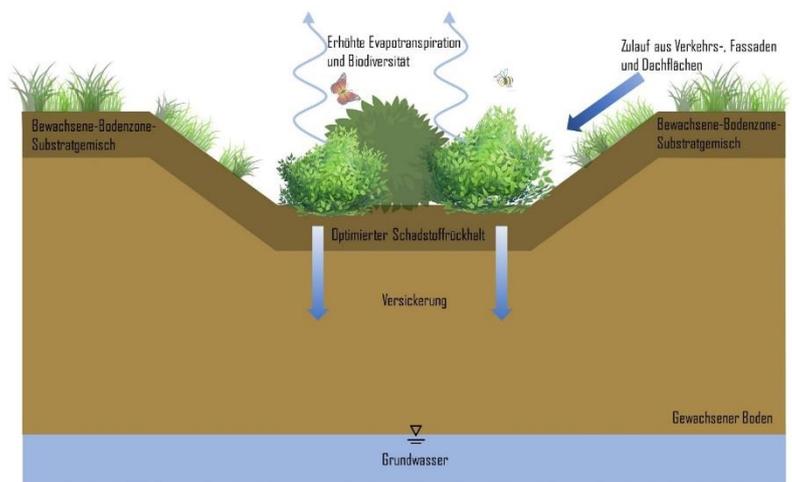


Abbildung 6: Schematischer Aufbau und Wirkung einer multifunktionalen Muldenversickerung.



**STEFFEN
ROMMEL**

(M.Sc.)

089/289 13733

S.ROMMEL
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BAYRISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT,
LANDESHAUPTSTADT
MÜNCHEN

Praxiserfahrung zum Umgang mit dezentralen Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse

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

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



Abbildung 7: Versuchsanlage zur Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen.

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

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



**PANFENG
ZHU**

(M.Sc.)

089/289 13712

PANFENG.ZHU
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
CHINA
SCHOLARSHIP
COUNCIL

Studie zur Komplexierung von Bioziden, Pestiziden und Schwermetallen aus Gebäudeabflüssen in Gegenwart gelöster organischer Stoffe

Biozide und Pestizide, die bei nassem Wetter von der Gebäudeoberfläche und Bitumendächern abgeschwemmt werden, werden häufig im Abwassersystem und im Fließgewässern nachgewiesen. Toxizitätsuntersuchungen haben gezeigt, dass manche dieser Schadstoffe und ihre Transformationsprodukte Wasserorganismen schädigen können. Zusätzlich werden Schwermetalle von der Gebäudeoberfläche und Dächern durch Niederschlagsabfluss in die Umwelt transportiert. In diesem Prozess wird der Kontakt von Bioziden, Pestiziden, Schwermetallen und gelösten organischen Substanzen (DOM) gegeben. In Bezug auf die physikochemischen Eigenschaften dieser vier Stoffgruppen ist die Wechselwirkung zwischen manchen gelösten Substanzen im Niederschlagsabfluss oder während ihrer Versickerung oder Behandlung möglich. Leider sind die wissenschaftlichen Kenntnisse zu diesem Aspekt begrenzt. Um diese Substanzen und ihre Transformationsprodukte effektiv zu entfernen, ist ein umfassendes Verständnis der Wechselwirkungen unter einzelnen Substanzen notwendig und dringend erforderlich.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, ein grundlegendes Verständnis der Reaktionen / Reaktionsmechanismen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen zu schaffen als Grundlage für die Entwicklung wirksamer Behandlungssysteme und das Verständnis, warum Behandlungssysteme unter bestimmten Umständen versagen.

Um die Ziele zu erreichen, werden Technologien wie EEM-Analyse, Halbgleichgewichtsdialyse und HPLC-MSMS-Analyse in der Forschung angewendet. Die Ergebnisse der EEM-Analyse zeigten, dass sowohl Cu^{2+} als auch Zn^{2+} mit DOM komplexieren könnten. Cu^{2+} zeigt ein viel höheres Komplexierungsverhalten als Zn^{2+} . Eine Komplexierung zwischen Mecoprop, Diuron und DOM wurde jedoch ausgeschlossen. Die Ergebnisse müssen durch Halbgleichgewichtsdialyse weiter bestätigt werden.

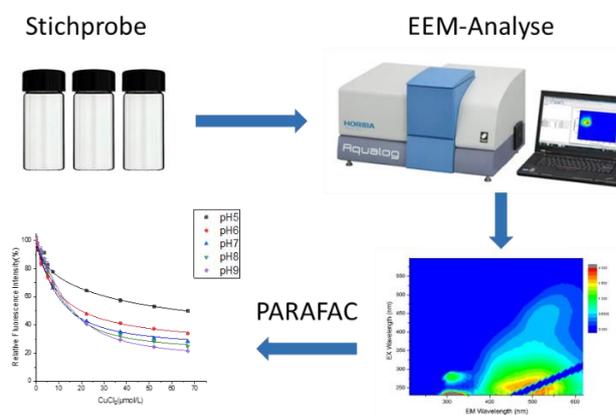


Abbildung 8: Grafische Zusammenfassung der Komplexierungsstudie zwischen Schwermetallen und gelösten organischen Stoffen.



**PABLO
VEGA**

(M.Sc.)

0802/4643 255

PABLO.VEGA-
GARCIA
@TUM.DE

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

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

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

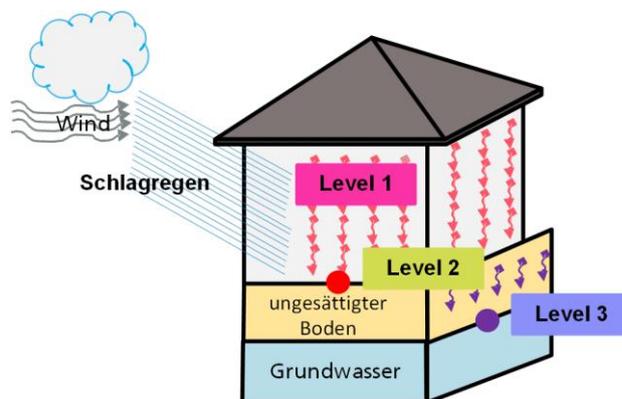


Abbildung 9: „3-Level Modell“ Schema. Das Modell ist in drei verschiedene „Levels“ unterteilt. „Level 1“ ist das Fassadenabflussmodell, „Level 2“ ist der Auslaugungsprozess und der Stofftransport auf der Fassade und schließlich ist „Level 3“ die Sickerwasserprognose und die Bewertung der Umweltauswirkungen.

Drei spezifische Unterziele geplant:

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

FÖRDERUNG:
VERBAND FÜR
DÄMMSYSTEME,
PUTZ UND MÖRTEL

KOOPERATION:
FRAUNHOFER
INSTITUT FÜR
BAUPHYSIK



**JOHANN
MÜLLER**

(DR.-ING.)

089/289 13714

JO.MUELLER
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BAYERISCHES
STAATSMINISTERIUM
FÜR UMWELT UND
VERBRAUCHER-
SCHUTZ

Zustand der Kanalisation in Bayern – Datenstand 2018

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

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



Abbildung 10: Ansicht eines begehbaren Kanals.

**MANUEL
BOPPEL**

(M.Sc.)

089/289 13701

MANUEL.BOPPEL
@TUM.DE**FÖRDERUNG:**
INDUSTRIE-
FÖRDERUNG**KOOPERATION:**
HOCHSCHULE
WEIHENSTEPHAN-
TRIEDORF

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

Im Juni dieses Jahrs wurde ein dreijähriges Forschungsvorhaben abgeschlossen, das sich mit der Aufnahme der für die Pflanzenernährung essentiellen Nährstoffe Phosphor (P) und Stickstoff (N) befasst hat. Stickstoff liegt in Düngern oftmals in Form von Ammonium vor. Dieser wird im Boden durch Nitrifikation zu Nitrat umgewandelt. Das Nitrat befindet sich im Bodenwasser und kann ins Grundwasser gelangen und damit zu einer Verschlechterung der Grundwasserqualität beitragen. Schafft man jedoch diese Umwandlung zu unterbinden, z.B. durch einen Nitrifikationsinhibitor, so kann das Ammonium in seiner ursprünglichen Form verbleiben und zum Vorteil für die Nährstoffaufnahme durch die Pflanze werden. Im Zentrum des Projektes stand die Hypothese, dass eine ammoniumbetonte Ernährung von Mais zu einer besonders starken Absenkung des pH-Wertes in der Rhizosphäre führt, die wiederum eine Mobilisierung schwerer verfügbaren P aus entsprechenden Düngerformen oder dem Boden selbst ermöglicht. Zudem war das Ziel anhand von Recycling-P-Düngern, die regelmäßig schwerer wasserlöslich sind, diesen Effekt aufzuzeigen.

Hierzu wurden zahlreiche Modellversuche im Labormaßstab mit verschiedenen Böden durchgeführt, auch in Hinblick auf die angewendete Düngetechnik (z.B. Banddüngung).



Abbildung 11: Laborversuche mit Maispflanzen.

Die Ergebnisse der Modellversuche wurden anschließend in einem Feldversuch mit sehr geringer P-Versorgung geprüft. Auch hier war das Ziel, im Jugendstadium der Maispflanze eine Verbesserung der P-Versorgung der Pflanzen nachzuweisen.



**KONRAD
KOCH**

(PD DR.-ING. HABIL.)

089/289 13706

K.KOCH
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Energieeffiziente Abwasserbehandlung

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

Eine Effizienzsteigerung beim Umsatz schwerabbaubarer Substrate ist beispielsweise durch eine Vorbehandlung mittels Ultraschall möglich. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass neben dem erhöhten Gasertrag auch andere Effekte berücksichtigt werden sollten. Für eine ganzheitliche Betrachtung sollte u.a. auch eine möglicherweise verbesserte Entwässerbarkeit, eine vermindert Restmenge zur Entsorgung, und Effekte auf die Schlammrheologie sowie die Neigung zur Schaumbildung betrachtet werden.

Auch durch die Zugabe von Co-Substraten in die bestehende Schlammfäulung kann der Biogasertrag deutlich gesteigert werden. Der sinnvollen Nutzung vorhandener Infrastruktur und vielfach beschriebenen Synergieeffekten durch die Mischung von Substraten mit unterschiedlichen Eigenschaften stehen Herausforderungen bei Substratvorbehandlung, und -lagerung, eine gegebenenfalls erhöhte Menge an Reststoffen zur Entsorgung sowie eine mögliche Rückbelastung der Kläranlage mit stickstoffreichem Zentrat aus der Schlammmentwässerung gegenüber.

Letzteres kann im Seitenstrom alternativ zur robusten, aber energieintensiven Nitrifikation/Denitrifikation auch über Deammonifikation behandelt werden. Dabei wird deutlich weniger Energie für die Belüftung benötigt und durch einen autotrophen Prozess sogar komplett auf den Einsatz einer Kohlenstoffquelle verzichtet. Allerdings erfordert der vergleichsweise geringe Energiegewinn für die beteiligten Mikroorganismen auch eine zuverlässige Prozessüberwachung und -steuerung. Es besteht sogar die Möglichkeit, die im Ammonium gebundene Energie zumindest teilweise aus dem Abwasser zurückzugewinnen. Dabei bedient man sich ebenfalls einer Nitrifikation (Umwandlung von Ammonium in Nitrit) als erste Stufe, schaltet dann aber eine Denitrifikation nach, in der unter Zugabe einer C-Quelle gezielt Lachgas erzeugt wird.

Schließlich können Kläranlagen mit Hilfe der mikrobiologischen Methanisierung auch einen Beitrag zur Energiewende leisten, indem Überschussstrom aus erneuerbaren Quellen mittels Elektrolyseur zunächst in Wasserstoff und dann gemeinsam mit CO₂ in Methan umgesetzt und gespeichert werden kann. Biofilmbasierte Technologien unter thermophilen Bedingungen haben sich auch im dynamischen Betrieb als besonders geeignet herausgestellt.



**CAROLINA
FEICKERT FENSKE**

(M.Sc.)

089/289 13707

C.FEICKERT
@TUM.DE

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

Der Anteil an erneuerbaren Energien am deutschen Strommix steigt stetig an und soll im Zuge der Energiewende weiter ausgebaut werden. Die Entwicklung nachhaltiger Umwandlungs- und Speichertechnologien ist dabei ein entscheidender Baustein für die Gewährleistung einer bedarfsgerechten Energieversorgung.

Ein Ansatz ist die Power-to-Gas Technologie, bei der aus überschüssigem Strom Wasserstoff (H₂) mittels Elektrolyse hergestellt und in Verbindung mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) zum speicherfähigem Methangas (CH₄) umgewandelt wird. Ein besonders vielversprechendes Konzept ist dabei die mikrobiologische Erzeugung von Methan in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren, in denen sog. Archaeen auf Aufwuchskörpern immobilisiert sind und die zugeführten Gase für ihren Stoff- und Energiewechsel nutzen.

In vorangegangenen Projekten konnte die Methanisierung in thermophilen anaeroben Rieselbettreaktoren im Technikumsmaßstab mit einer Methanproduktion von bis zu $15,4 \text{ L}_{\text{CH}_4}/(\text{L}_{\text{Reaktionsvolumen}} \cdot \text{d})$ und einer Methankonzentration im Produktgas von über 96 % bereits erfolgreich realisiert werden. Damit wäre eine Einspeisung ins vorhandene Erdgasnetz ohne Aufreinigung möglich.

Um das Potential der biologischen Methanisierung im thermophilen anaeroben Rieselbettreaktor weiter zu erproben, wurde ein Pilotreaktor auf der Kläranlage Garching installiert. Mit einem Reaktionsvolumen von 1 m³ soll die Einsatzfähigkeit des Reaktorkonzeptes im halbtechnischen Maßstab unter Beweis gestellt werden. Damit ist der Reaktor einer der derzeit größten anaeroben Rieselbettreaktoren weltweit. Eine zentrale Fragestellung ist dabei die Verwendung von Faulgas der Kläranlage als alternative CO₂-Quelle, wodurch eine Aufwertung von Biogas am Entstehungsort bis auf Einspeisequalität ermöglicht werden könnte.



Abbildung 12: Pilotreaktor auf der Kläranlage Garching.

FÖRDERUNG:

BAYERISCHES
STAATSMINISTERIUM
FÜR WIRTSCHAFT,
LANDES-
ENTWICKLUNG UND
ENERGIE

KOOPERATION:

BAYERISCHE
LANDESANSTALT FÜR
LANDWIRTSCHAFT



**THOMAS
LIPPERT**

(M.Sc.)

089/289 13716

THOMAS.LIPPERT
@TUM.DE

FÖRDERUNG:

BUNDESMINISTERIUM
FÜR WIRTSCHAFT
UND ENERGIE

KOOPERATION:

BANDELIN ELEC-
TRONIC GMBH & CO.

UltraMethan-Teilprojekt: Steigerung der Energieeffizienz bei der Abwasserreinigung durch innovative Ultraschallintegration

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

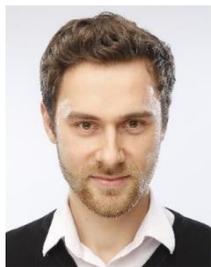
Das Ziel des Forschungsvorhabens UltraMethan ist daher die Verbesserung des anaeroben Abbaus durch den Einsatz von Ultraschall zur Klärschlammintegration. Durch ultraschall-induzierte Kavitation können Klärschlammflocken zerkleinert und Mikroorganismenzellen aufgeschlossen werden, was zu einem verbesserten mikrobiologischen Abbau und in der Folge zu einer gesteigerten Faulgasausbeute bei reduzierten Restschlammengen führt.

Stand der Technik war es bislang, die Ultraschalltechnologie als Vorbehandlung für Überschussschlamm (ÜSS) einzusetzen. Da ÜSS typischerweise jedoch einen sehr hohen Feststoffgehalt aufweist ($> 5\%$), kann die Wirkeffizienz der Behandlung durch Schallfeldabschwächung empfindlich gestört werden. In einem neuen Ansatz wird daher die Möglichkeit einer Co-Behandlung von Faulschlamm (FS) untersucht. Solch eine Verfahrensanpassung hat den Vorteil, dass FS einen deutlich niedrigeren Feststoffgehalt ($\sim 3\%$) aufweist und damit Effekte einer Schallfeldabschwächung deutlich reduziert werden können. Des Weiteren ermöglicht die Beschallung von FS die Effekte der Desintegration gezielt auf schwer abbaubarer Schlamminhaltsstoffe zu konzentrieren.

Entsprechend der verfahrenstechnischen Vorteile zeigten die im Labor der TU München durchgeführten kontinuierlichen Versuche, dass sowohl die Methanproduktion als auch der Feststoffabbau durch die Co-Behandlung signifikant gesteigert werden konnten. Problematisch war jedoch der hohe Strombedarf der Behandlung, welcher sich nachteilig auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens auswirkt. Bezüglich einer wirtschaftlichen Anwendung der Co-Beschallung besteht damit noch weiterer Forschungsbedarf.



Abbildung 13: Kontinuierlich betriebene Biogastestreaktoren.



**JOCHEN
BANDELIN**

(M.Sc.)

JOCHEN.BANDELIN
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM
FÜR WIRTSCHAFT
UND ENERGIE

KOOPERATION:
BANDELIN ELEC-
TRONIC GMBH & CO.

UltraMethan-Teilprojekt: Entwicklung eines Ultraschalltestreaktors zur intensiven Desintegration großer Mengen Klärschlamm im Durchflussverfahren

Das Ziel des Projektes UltraMethan (Förderkennzeichen: 03ET1396A) bestand in der Entwicklung eines neuen Ultraschallsystems zur Steigerung des Biogasertrages bei der anaeroben Klärschlammstabilisierung. Dabei wird der Vergärungsprozess durch die von der Beschallung erzielten mechanischen Zerkleinerung der Schlammpartikel beschleunigt. Dies geschieht aufgrund der Auflösung von Schlammflocken und der vergrößerten Oberfläche die den anaeroben Mikroorganismen nach der Zerkleinerung zur Verfügung steht. Ein weiterer Vorteil neben der Steigerung der Gasausbeute ist die damit einhergehende Verringerung der zu entsorgenden Klärschlammengen durch einen beschleunigten Abbau einerseits und eine bessere Entwässerbarkeit andererseits. Der Aufschluss des Schlammes sollte mittels ultraschallinduzierter Kavitation in einem zu entwickelnden hocheffizienten Flächen-Schwingsystem erfolgen, welches in bestehende Kläranlagen problemlos nachrüstbar ist.

Jochen Bandelin ist als Verfahrenstechnik-Ingenieur für die Entwicklung hocheffizienter Ultraschallsysteme zur Klärschlammbeschallung im Unternehmen BANDELIN electronic GmbH & Co.KG in Berlin zuständig. Seine Doktorarbeit wird von Jörg E. Drewes und Konrad Koch betreut.

Der Fokus der Doktorarbeit liegt auf der systematischen Untersuchung der Aufschlussleistung ultraschallinduzierter Kavitation in hochviskosen Medien. Für eine deutlich positive Energiebilanz des Prozesses müssen jene Beschallungsformen ermittelt werden, welche durch ein optimales Verhältnis von Amplitude, Feldgröße, Ultraschall-Frequenz und Leistungsdichte, die höchste Effizienz bei der Beschallung der Schlämme unterschiedlicher Viskosität erreichen. Zu diesem Zweck wurde erstmals die Wirksamkeit von Rohr- und Sonotrodenreaktoren für die Beschallung von Überschussschlamm und Faulschlamm unter gleichen Bedingungen verglichen. Die Versuchsergebnisse zeigen auf, dass eine Vielzahl kleinerer Reaktoren von 2-3 Zoll (Abbildung 14) mit einer hohen Leistungsdichte eine effizientere Steigerung des Gasertrags von Überschussschlamm und Faulschlamm bewirken, als größere Reaktoren mit einer geringeren Leistungsdichte.

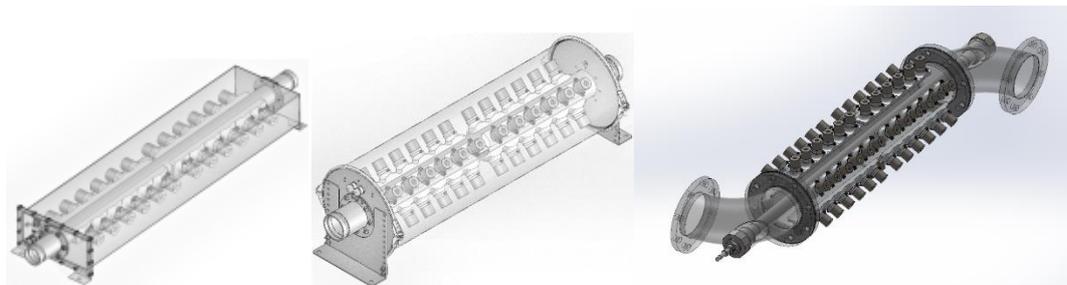


Abbildung 14: Im Rahmen des Projektes untersuchte Rohrreaktorbauformen: 2 Zoll Rohrreaktor (links), 3 Zoll Rohrreaktor (mitte), 6 Zoll Doppelrohrreaktor (rechts).



**MERIAM
MUNTAU**

(M.Sc.)

089/289 13716

MERIAM.MUNTAU
@TUM.DE

FÖRDERUNG:

DEUTSCHE
FORSCHUNGS-
GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:

UNIVERSITÄT
HEIDELBERG;
BAYERISCHE
LANDESANSTALT FÜR
LANDWIRTSCHAFT

Erhöhte Methanproduktivität in Biogasanlagen durch CO₂-Anreicherung

Zur Reduktion des Energiebedarfs und der CO₂-Emissionen deutscher Kommunen ist es zwingend notwendig einen verbesserten Ausgleich zwischen Energieverbrauch und -produktion bei gleichzeitiger Reduktion des CO₂-Fußabdrucks von Kläranlagen zu schaffen. Derzeit wird die in den Abwasserinhaltsstoffen gebundene chemische Energie zumindest teilweise in Form von energiereichem Methangas durch die anaerobe Vergärung von Klärschlamm zurückgewonnen während CO₂ als ein Nebenprodukt entsteht.

Neueste Studien zeigen eine Steigerung der Methanausbeute bei der anaeroben Vergärung durch Anreicherung des Klärschlammes mit CO₂. Bisher wurden allerdings nur Annahmen über mögliche biologische Umwandlungspfade von CO₂, die zu einer erhöhten Methanbildung führen, getroffen. Ziel dieses Projektes ist es, die der CO₂-Umwandlung zugrunde liegenden Prozesse mit Hilfe von Isotopenmarkierung des eingebrachten CO₂ und vergleichender molekularbiologischer Untersuchungen der sich unter CO₂-Anreicherung etablierenden Biozönose, zu identifizieren. Hierfür wird in zwei parallel geschalteten Fermentern im Labormaßstab eine kontinuierliche anaerobe Vergärung von Klärschlamm durchgeführt, wobei in einem Reaktor eine CO₂-Anreicherung erfolgt, während der andere als Kontrollreaktor dient.

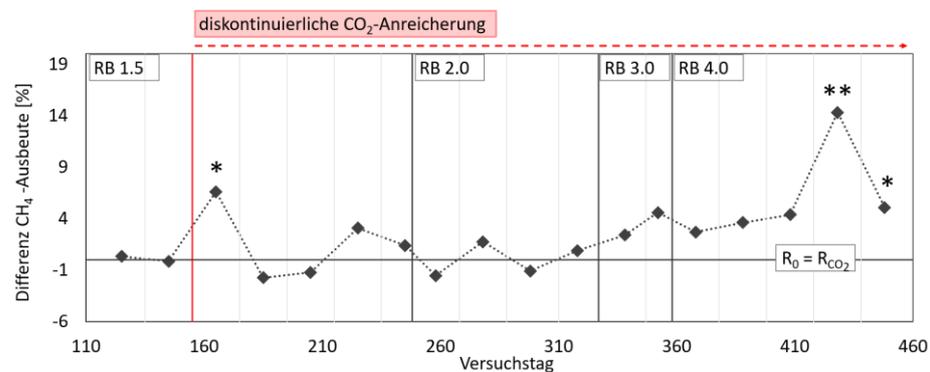


Abbildung 15: Durchschnittliche Abweichung der CH₄-Ausbeute pro hydraulischer Verweilzeit bei unterschiedlichen Raumbelastungen (RB) von Versuchsfermenter im Vergleich zur Kontrolle.

Die diskontinuierliche CO₂-Injektion in den Versuchsfermenter führte zu einem initialen Anstieg der Methanausbeute im Vergleich zur Kontrolle. Allerdings stellte sich eine dauerhaft erhöhte Methanproduktivität erst bei einer hohen Raumbelastung und der daraus resultierenden erhöhten Verfügbarkeit an organischen Fettsäuren (FOS) ein. Dies deutet darauf hin, dass der Effekt einer erhöhten CO₂ zu CH₄-Biotransformation nur bei einer ausreichend hohen Raumbelastung oder bei Substraten, die zu hohen FOS Konzentrationen in der Fermentationsbrühe führen, wirksam wird. Die Ergebnisse sollen zu einer Optimierung des Vergärungsprozesses mittels Nutzung des „Abfallproduktes“ CO₂ beisteuern und somit helfen die Energiewende weiter voran zu treiben.



**UWE
HÜBNER**

(DR.-ING.)

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.

Ein Forschungsschwerpunkt in 2020 war die Bewertung der Kombination von Ozonung mit einer nachgeschalteten Biofiltration im Rahmen einer Wasserwiederverwendung. In Rahmen eines von Trussell Technologies koordinierten Projekt der Water Research Foundation (USA) wird eine Auswertung von Erfahrungsdaten verschiedener Betreiber durchgeführt. Die Aufgaben der TUM beinhalten die Entwicklung von Indikator- und Surrogatkonzepten zur Bewertung und Überwachung der Verfahrenskombination.

In einem weiteren Projekt wird gemeinsam mit der Münchner Stadtentwässerung untersucht, ob bei einer Ozonung des gereinigten Abwassers neben der Entfernung von Spurenstoffen auch eine effektive Desinfektion erreicht werden kann, indem das Abwasser mit einer Filtration vorbehandelt wird. Dazu werden Filterversuche durchgeführt und verschiedene Filtrate bei unterschiedlicher Ozondosis oxidiert.



Abbildung 16: 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

ISCO₃: Eintrag von Ozon in Grundwasser über gaspermeable Membranen zur in-situ Sanierung von BTEX Schadensfällen

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

Für eine erfolgreiche Anwendung wird zunächst grundlegende Forschung über den passiven, blasenfreien Gaseintrag bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten im Labormaßstab betrieben. Die Tests mit verschiedenen Membranmaterialien und Wasserstoffperoxid-Dosen sollen die optimalen Einsatzmöglichkeiten, ebenso die Limitierungen der Technologie aufzeigen. Außerdem dienen sie als Grundlage für ein Massentransfermodell zur Beschreibung unterschiedlicher Szenarien. Hier eröffnen sich Anknüpfungspunkte an den Einsatz von Membranen zur Ozonierung von behandeltem Abwasser, oder auch Trinkwasser.

In grundlegenden Experimenten sollen des Weiteren aliphatische Abbauprodukte der jeweiligen BTEX-Verbindungen (siehe Abbildung 17) mittels HILIC-MS nachgewiesen werden. Die Kooperationspartner in Tel Aviv führen die Versuche in größerem Maßstab fort, um die Dosierung und die Membrangeometrie zu optimieren (Abbildung 18). Das vorgeschlagene Verfahren soll schlussendlich in einem Feldversuch getestet und validiert werden.

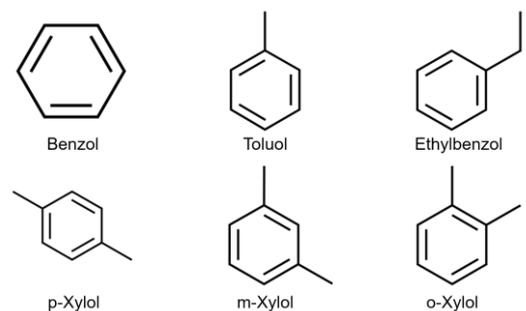


Abbildung 17: Die verschiedenen "BTEX"-Verbindungen.

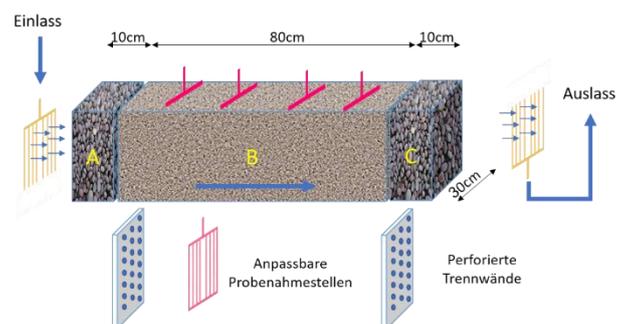


Abbildung 18: Versuchsaufbau mit porösen Medien und direktem Gaseintrag.



**MILLARAY
SIERRA OLEA**

(M.Sc.)

089/289 13780

MIA.SIERRA
@TUM.DE

FÖRDERUNG:

DEUTSCHE
FORSCHUNGS-
GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:

HELMHOLTZ-
ZENTRUM
UMWELTFORSCHUNG

FO₃NC - Reaktivität und Transformation funktioneller Gruppen von Spurenstoffen und organischer Hintergrundmatrix bei der Ozonierung von Abwasser

Die chemische Oxidation mit Ozon ist eine etablierte Technologie für die effiziente Entfernung von Spurenstoffen im Ablauf von Kläranlagen. Trotz ihres Nutzens hat sie einen großen Nachteil, nämlich die Bildung stabiler und potenziell toxischer Oxidationsprodukte (OPs). Bis heute ist es unmöglich, jeden einzelnen Spurenstoff, seine Reaktivität gegenüber Ozon, die OPs und ihre biologische Stabilität und Toxizität zu untersuchen. Daher kann eine systematische Untersuchung mit Fokus auf reaktive funktionelle Gruppen innerhalb der Spurenstoffe ein Schlüsselfaktor sein, um die Mechanismen der Reaktion mit Ozon besser zu verstehen.

Das Projekt FO₃NC zielt darauf ab, i) die Transformation von charakteristischen Spurenstoffen zu untersuchen, die eine Vorhersage der Reaktionswege bei der Behandlung mit Ozon demonstriert, ii) die Bildung von Oxidationsprodukten (OPs) in Abhängigkeit von der chemischen Struktur der untersuchten Substanzen vorherzusagen und iii) das Verhalten der OPs (d.h. chemische Stabilität, Persistenz und biologische Aktivität) in Abhängigkeit von ihrer chemischen Funktionalität zu charakterisieren.

Um diese Ziele zu erreichen, verwenden wir schwere Sauerstoffisotope (¹⁸O) zur Herstellung eines schweren Ozonmoleküls vor, das mit den Spurenstoffen reagiert und deren OPs markieren kann. Diese Markierungsmethode wird den Nachweis, die Identifizierung und die Aufklärung der erzeugten OPs durch Massenspektrometrie erleichtern.

In 2020 wurden Anpassungen am bestehenden Ozonerzeugungssystem durchgeführt, um sie für die Verwendung mit schwerem Sauerstoff (¹⁸O₂) zu modifizieren und zu optimieren. Mit dem neuen Ansatz zur Markierung werden wir in der Lage sein, OPs auch in komplexen Matrices wie organischen Abwässern zuverlässig nachzuweisen und zu charakterisieren, sofern sie über Sauerstofftransferreaktionen gebildet werden. Darüber hinaus wird die Markierung dabei helfen, die Persistenz und den Abbau von OPs in biologischen Behandlungssystemen zu verfolgen.

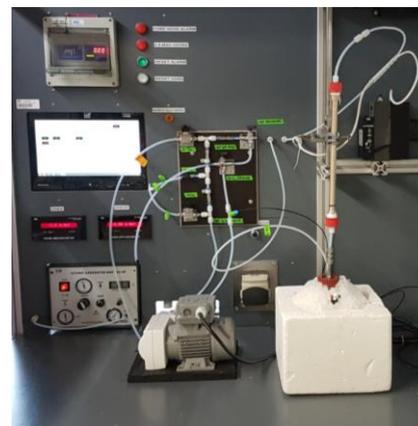


Abbildung 19: Modifiziertes Ozonierungssystem für die Produktion von Stammlösung von schwerem Ozon (¹⁸O₃).



**NEBOJŠA
ILIC**

(M.Sc.)

089/289 13718

NEBOJSA.ILIC
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
EUROPÄISCHE
KOMMISSION

KOOPERATION:
ZENTRALINSTITUT
FÜR KATALYSEFOR-
SCHUNG,
FRIEDRICH-
SCHILLER-
UNIVERSITÄT JENA,
UNIVERSITY OF
SANTIAGO DE COM-
POSTELA

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

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

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

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

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

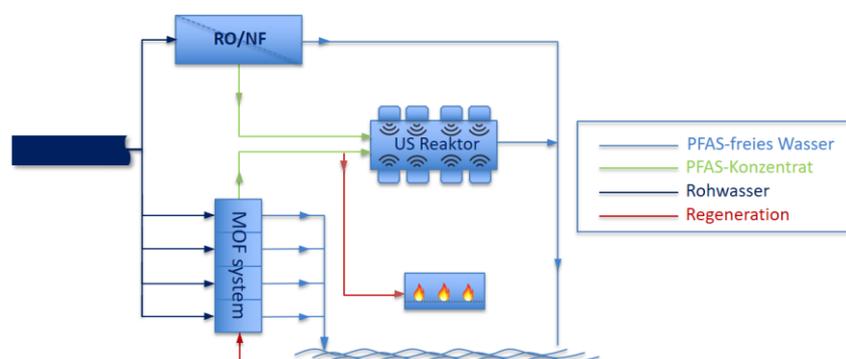


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Behandlungskonzepts für PFAS-kontaminiertes Wasser.



**EDWIN
CHINGATE**

(M.Sc.)

089/289 13711

EDWIN.CHINGATE
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
EUROPÄISCHE
KOMMISSION

KOOPERATION:
KATALANISCHES
INSTITUT FÜR
WASSERFORSCHUNG

Bioenergetisch-metabolisches Modell zur Vorhersage der mikrobiellen Transformation von Spurenstoffen

NOWELTIES ist ein Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie-Netzwerk für innovative Ausbildung, das aus 14 einzelnen Forschungsprojekten besteht. Gemeinsames Ziel aller Projekte ist die Entwicklung moderner Wasseraufbereitungstechnologien, die es ermöglichen, den unterschiedlichen Aufbereitungsanforderungen für eine Vielzahl miteinander verbundener Ströme aus Recyclingkreisläufen gerecht zu werden. Im Rahmen dieses Projekts modellieren wir die bakterielle Umwandlung organischer Spurenstoffe (TOCs) mit einem bioenergetisch-metabolischen Modell, das die Ansätze von Co-Metabolismus und Wachstum auf gemischten Substraten in einem Rahmen koppelt (Abbildung 21).

Da Versuche zur Biofiltration eine gute Entfernung vieler TOCs unter oligotrophen Bedingungen gezeigt haben, verwenden wir ein Retentostatensystem (Abbildung 22), um eine kontrollierte oligotrophe Umgebung aufrechtzuerhalten und die mikrobielle Adaptation durchzuführen. Die Ergebnisse der Retentostat-Experimente sollen Einblicke in die grundlegenden Prozesse der Biotransformation von TOCs geben.

Vier Substanzen mit einfachen chemischen Strukturen, die auch in TOCs vorkommen, wurden für die Versuche zur mikrobiellen Adaptation an eine einzelne Kohlenstoffquelle ausgewählt. Während Natriumacetat in der Natur sehr verbreitet ist und einen gut verstandenen Metabolismus aufweist, repräsentieren Anilin, Triethylamin und 1,3-Dichlorbenzol Xenobiotika mit schwerer abbaubaren funktionellen Gruppen.

Das bioenergetisch-metabolische Modell wird mit Daten aus den Retentostat-Experimenten trainiert und validiert. Zu den Messparametern gehören die Konzentration der Primärsubstrate und möglicher Nebenprodukte, Zellzahlen, 16S rRNA-Sequenzierung und Messungen des Metagenoms. Es wird erwartet, dass das Modell die Bedingungen für die TOCs-Biotransformation vorhersagen kann, aber auch eine bessere Identifizierung der am Prozess beteiligten Nebenprodukte und Enzyme ermöglicht.

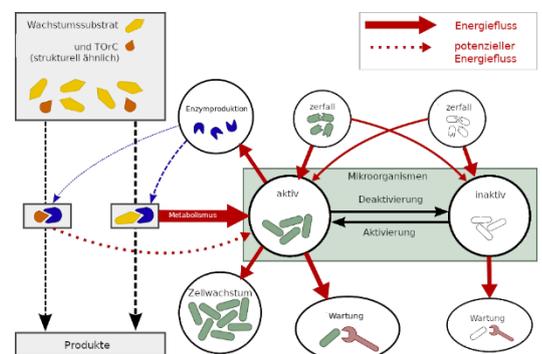


Abbildung 21: Illustration des an der TUM und der Universität Tübingen entwickelten bioenergetischen Modells.

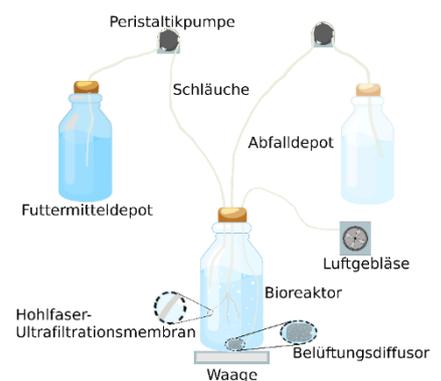


Abbildung 22: Illustration der Versuchsanordnung für das Rückhaltesystem.



**CHRISTOPH
SCHWALLER**

(M.Sc.)

089/289 13733

C.SCHWALLER
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Wasser Recycling

Nutzwasser – Gewinnung und Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Schweinfurter Trockenplatte

Unterfranken zählt zu den trockensten Gebieten in Bayern. Die Region um die Stadt Schweinfurt ist für andere Standorte mit vergleichbaren Herausforderungen repräsentativ. Zur Gewährleistung einer integrierten sowie nachhaltigen Bewirtschaftung des lokal stark genutzten Grundwassers war eine Erarbeitung von alternativen Handlungsoptionen für die Gewinnung, Verteilung und potentielle Einsatzmöglichkeiten von sogenanntem Nutzwasser in dieser Region dringend notwendig.



Abbildung 23: Nutzwasserkonzept für die landwirtschaftliche und urbane Bewässerung.

Neben der Etablierung eines Stakeholder-Prozesses wurden potentiell nutzbare alternative Wasserressourcen sowie der landwirtschaftliche und urbane Wasserbedarf quantitativ ermittelt und hinsichtlich ihres Potentials bewertet. Es hat sich gezeigt, dass durch die Wiederverwendung von einem geringen Anteil des weitergehend aufbereiteten Klarwassers von der Kläranlage Schweinfurt der komplette landwirtschaftliche und urbane Bewässerungsbedarf zuverlässig substituiert werden könnte. Auch die lokalen Baggerseen repräsentieren substantielle Wasserspeicher. Aus den ermittelten Wasserqualitäten der jeweiligen alternativen Wasserressourcen konnte durch den Abgleich mit bestehenden nationalen, internationalen sowie nutzerspezifischen Anforderungen eine entsprechende Aufbereitungstechnologie abgeleitet werden. Die über die identifizierte weitergehende Aufbereitungstechnologie (Ultrafiltration kombiniert mit Ozonung oder Pulveraktivkohle) potentiell erzeugbare Nutzwasserqualität wurde basierend auf einer Modellierung abgeschätzt und das davon ausgehende Risiko bei einer Bewässerungsanwendung für verschiedene Schutzgüter eruiert. Basierend auf den Erkenntnissen aus den regelmäßigen Arbeitsgruppentreffen wurden Konzepte sowie Handlungsempfehlungen zur Nutzwasseranwendung im landwirtschaftlichen und urbanen Bereich entwickelt und die Randbedingungen und Zielsetzungen für ein mögliches Demonstrationsprojekt ausgearbeitet. Für die Verfahrensanpassungen sowie für die Nutzwasserkonzepte zur landwirtschaftlichen Bewässerung wurden Kostenschätzungen vorgenommen.

FÖRDERUNG:

REGIERUNG VON
UNTERFRANKEN,
STAATSMINISTERIUM
FÜR UMWELT UND
VERBRAUCHER-
SCHUTZ

KOOPERATION:

BRANDT GERDES
SITZMANN UMWELT-
PLANUNG GMBH



**JONAS
ANIOL**

(M.Sc.)

089/289 13707

JONAS.ANIOL
@TUM.DE



**SEMA
KARAKURT-FISCHER**

(DR.-ING.)

BIS 30.11
SEMA.KARAKURT
@TUM.DE



**VERONIKA
ZHITENEVA**

(DR.-ING.)

BIS 31.07
V.ZHITENEVA
@TUM.DE

Technologien der Wasserwiederverwendung zur Stützung der Trinkwasserversorgung in urbanen Wasserkreisläufen

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

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

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

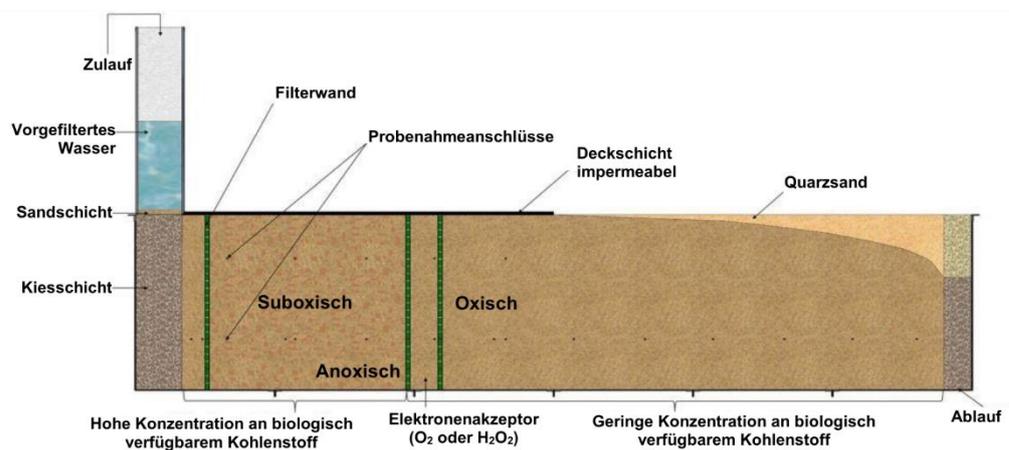


Abbildung 24: Planungsmodell der halbtechnischen Versuchsanlage SMART*plus* an der TUM.



**JONAS
ANIOL**

(M.Sc.)

089/289 13707

JONAS.ANIOL
@TUM.DE

Reuse-Brew: Demonstration der direkten Wasserwiederverwendung für die Getränkeherstellung

Die Ressource Wasser steht nicht an jedem Ort in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung. Hinzu kommt, dass bestehende Wasservorkommen durch steigende Urbanisierung, den Klimawandel, landwirtschaftliche und industrielle Aktivitäten vielerorts zunehmend unter Stress geraten. Diese Herausforderungen zwingen viele Wasserversorger und –verbraucher, neue aber auch unkonventionelle Wasserressourcen zu erschließen. Eine potentielle Quelle stellt dabei kommunales Abwasser dar, welches jedoch zumeist intensiv aufbereitet werden muss. Andererseits fällt kommunales Abwasser i.d.R. in der Nähe des eigentlichen Wasserbedarfs an und ist zudem weitestgehend unabhängig von saisonalen Schwankungen.

Ziel und Motivation des Projektes waren 1) die Demonstration der Machbarkeit der Abwasserwiederverwendung mit etablierten Technologien aber auch mit neuen Ansätzen, 2) die Aufklärung der Öffentlichkeit zum Thema Wasserknappheit und Abwasserwiederverwendung, 3) die Darstellung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie verfügbarer Technologielösungen. Um eine große Aufmerksamkeit zu erreichen, aber auch um die tatsächliche Qualität des aufbereiteten Abwassers anschaulich zu demonstrieren, wurde dieses verwendet, um damit ein eigenes Bier (*Reuse-Brew*) zu brauen. Dabei kamen im Anschluss an konventionelle Klärverfahren 1) eine biologische Denitrifikation, 2) eine sequentielle Biofiltration, 3) eine Membranfiltration sowie 4) eine weitergehende Oxidation mit UV-Strahlung und H_2O_2 (UV-AOP) zum Einsatz. Schließlich konnten 4 000 L aufbereitetes Trinkwasser an den Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie (TUM) übergeben werden, wo diese zu einem bayerischem Hellen (800 L) veredelt wurden.

KOOPERATION:
XYLEM SERVICES
GMBH,
LEHRSTUHL FÜR
BRAU- UND GETRÄN-
KETECHNOLOGIE



Abbildung 25: Wasserproben der verschiedenen Aufbereitungsschritte und das fertige Bier.



**DAPHNE
KEILMANN-
GONDHALEKAR**

(DR.)

089/289 22377

D.GONDHALEKAR
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Urban Water-Energy-Food (WEF) Nexus

Mit anhaltenden 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.

Die Urban WEF Nexus Forschungsgruppe analysiert die Interaktionen der Sektoren Wasser, Energie und Nahrung, sowie anderer relevanter Sektoren wie Transport und Abfall, und leitet alternative Szenarien für die zukünftige urbane Entwicklung daraus ab, die der Entwicklung von Pilot Projekten in urbanen Maßstäben dienen. Die Forschungsgruppe arbeitet zu verschiedenen Fallstudien in Leh, Indien; München, Deutschland; Kumasi, Ghana; und Ngonga, Niger.

Leh Stadt ist in Ladakh, einer semi-ariden Region im indischen Himalaya. 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" Dauer: 18 Minuten Link: <https://vimeo.com/142941443> Passwort: wefnexusleh.



Abbildung 26: WEF Nexus Ansatz.



Abbildung 27: Serie von internationalen urbanen WEF Nexus Workshops.



**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 die Unterdrückung von Biofouling durch die Integration von UV-LEDs in Membranmodule, der Kombination von Pulveraktivkohle und Ozon mit keramischen Ultrafiltrationsmembranen sowie der Rückhalt von mikrobiellen und chemischen Kontaminanten bei Hochdruckmembranen.

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

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



**PHILIPP
SPERLE**

(M.Sc.)

089/289 13708

PHILIPP.SPERLE
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM
FÜR BILDUNG UND
FORSCHUNG

KOOPERATION:
UV-EL GMBH,
DELTA
UMWELTECHNIK
GMH

Entwicklung eines UV-Bestrahlungssystems zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Umkehrosomose-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 Umkehrosomose (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 an Hand typischer Leistungskenngrößen eines Membranmoduls wie dem Verlust an Permeabilität oder dem Anstieg des Druckverlustes im Zulaufkanal (FCPD) (Abbildung 28). Die sich gebildeten Biofilme werden auf diverse Parameter wie den ATP Gehalt, die Zusammensetzung der extrazellulären polymeren Substanzen und die mikrobiologische Diversität analysiert

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.

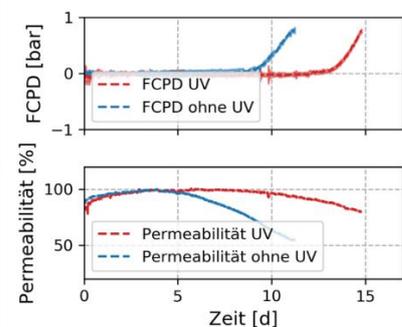
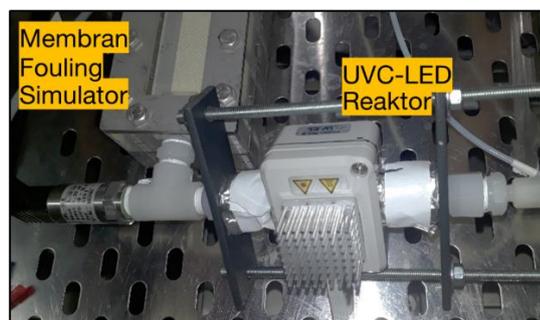


Abbildung 28: UVC-LED angeschlossen an einem Membran Fouling Simulator und die Auswirkungen der UV Vorbehandlung auf den Anstieg des Druckverlustes im Zulaufkanal (FCPD) sowie dem Verlust an Permeabilität.



**CHRISTOPH
SCHWALLER**

(M.Sc.)

089/289 13733

C.SCHWALLER
@TUM.DE

Inline-Dosierung von Pulveraktivkohle und Koagulationsmittel vor der Ultrafiltration

Bei der Wiederverwendung von Wasser ist die Entfernung von Krankheitserregern sowie organischen Spurenstoffen (TOrcs) besonders wichtig. Hybridmembranprozesse (HMP) wie die Inline-Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) vor Ultrafiltrationsmembranen (UF) haben bereits vielversprechendes Potential zur Verringerung dieser Kontaminanten gezeigt. Fragen in Bezug auf die Optimierung der Betriebsstabilität durch Koagulation und deren Interferenzen mit inline dosierter PAK wurden jedoch noch nicht umfassend untersucht.

Im Rahmen dieser Pilotstudie wurde die Inline-Dosierung von PAK mit oder ohne Zusatz von Koagulationsmittel vor der UF getestet. Durch die Dosierung von PAK konnten signifikante TOrc-Entfernungsraten erzielt werden. Die Koagulation reduzierte deutlich den Aufbau des Transmembrandruckes. Durch die Vorbeschichtung der UF mit Koagulationsmittel in Kombination mit einer kontinuierlichen Inline-Dosierung von PAK konnten besonders gute Entfernungsraten von TOrcs sowie eine optimierte Betriebsstabilität erzielt werden. Im Gegensatz dazu wird die gleichzeitige und kontinuierliche Dosierung von PAK und Koagulationsmittel nicht empfohlen, insbesondere aufgrund der nachteiligen Auswirkungen des Koagulationsmittels auf die Entfernungsleistung von TOrcs.

FÖRDERUNG:
REGIERUNG VON
UNTERFRANKEN

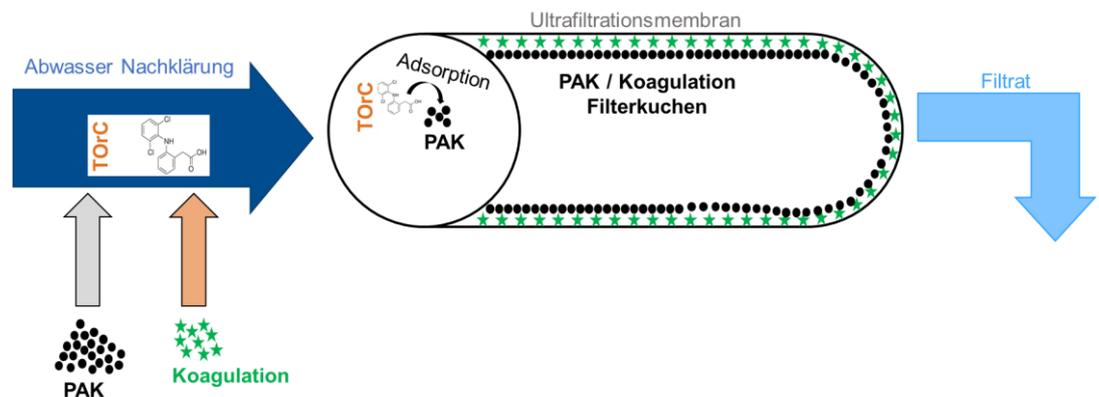


Abbildung 29: Hybridmembranverfahren PAK Inline-Dosierung vor UF.



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

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

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

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



**CHRISTIAN
WURZBACHER**

(DR. RER. NAT.)

089/289 13797

C.WURZBACHER
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme

Die Emmy-Noether Nachwuchsforschungsgruppe Mikrobielle Systeme konzentriert sich auf die Untersuchung mikrobieller Prozesse in aquatischen und technischen Systemen, die von der biologischen Abwasserbehandlung bis hin zu Oberflächengewässerökosystemen reichen. Wir suchen nach Möglichkeiten mikrobielle Funktionen besser zu verstehen. Ein Schwerpunkt der Forschung ist die Interaktion und Diversität von Organismen innerhalb mikrobieller Biofilme mit dem Fokus auf Pilzen und deren Funktion.

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



Abbildung 30: Die Arbeitsgruppe Mikrobielle Systeme.



**LIJIA
CAO**

(M.Sc.)

089/289 13712

LIJIA.CAO
@TUM.DE

FÖRDERUNG:

CHINA
SCHOLARSHIP
COUNCIL

KOOPERATION:

STOCKHOLM
UNIVERSITY,
BUNDESANSTALT FÜR
GEWÄSSERKUNDE

Diverse divergierende TOrCs Transformationseffizienzen in Biofiltrationssystemen

Das Aufspüren organischer Verbindungen (TOrCs) wie Pharmazeutika, Körperpflegeprodukte und Pestizide ist zu einem aufkommenden Problem in der aquatischen Umwelt geworden. Diese anthropogenen und xenobiotischen Verbindungen werden häufig in Oberflächenwasser, Grundwasser und sogar Trinkwasser in Konzentrationen von wenigen ng-L⁻¹ bis zu mehreren µg-L⁻¹ nachgewiesen. Die Biofiltration, die es Mikroorganismen ermöglicht, sich an die Filteroberfläche zu heften und einen Biofilm zu entwickeln, könnte sich zu einer vielversprechenden Technologie zur Entfernung von TOrCs bei Abwasserbehandlungsprozessen entwickeln, da sich viele Arten organischer Verbindungen entweder durch direkten Katabolismus oder Kometabolismus als biologisch abbaubar erwiesen haben. Bis heute sind die Mechanismen der Biotransformation von Mikroverunreinigungen sowie die zugrundeliegenden Triebkräfte hinter den Abbauprozessen noch nicht bekannt. Um die "Black Box" aufzudecken, sind daher Forschungen über die Zusammenhänge zwischen der Fülle an Taxa, Enzymen, Stoffwechselwegen und der TOrC-Biotransformation notwendig.

In dieser Studie wurden sechs verschiedene Sandmaterialien aus schnellen Sandfiltern kommunaler Kläranlagen und zwei Materialien aus langsamen Sandfiltern, die für die Wasseraufbereitung verwendet werden, beprobt. 51 TOrCs, die typischerweise in kommunalen Abwässern gefunden wurden, wurden in den Kultivierungsmedien aufgespießt. Diese Studie zielt darauf ab, das Verständnis der Biotransformationsmechanismen von TOrCs zu verbessern und neue Indikatoren für eine umfassendere Bewertung der individuellen oder globalen TOrC-Abscheideeffizienz vorzuschlagen. Zu diesem Zweck setzten wir die acht Sandfilter unter streng kontrollierte Laborbedingungen und schlossen dabei Parameter (Redox-Bedingungen, Kohlenstoff- und Stickstoffverfügbarkeit, HRT) aus, die die Umwandlungsraten beeinflussen könnten. Dies führt zum Ausschluss aller Parameter, mit Ausnahme der Mikrobiologie, was uns erlaubt, die Transformationsraten direkt mit den Taxa und Genen in Verbindung zu bringen, die während der experimentellen Inkubationen vorhanden sind. Wir nehmen an, dass Unterschiede in den Transformationsraten sich in einer unterschiedlichen a) mikrobiellen Gemeinschaft und b) Genhäufigkeit widerspiegeln. Dies kann zur Identifizierung von Indikatortaxa, Genen oder Pfaden für einzelne TOrCs führen.

8 unterschiedliche Sandfiltermaterialien

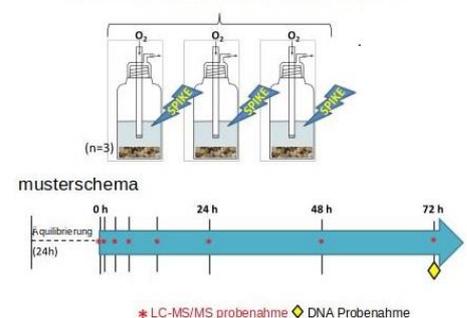


Abbildung 31: Batch-Versuchsaufbau.



**ALI
NAWAZ**

(DR. RER. NAT.)

089/289 193714

ALI.NAWAZ
@TUM.DE

FÖRDERUNG:

DEUTSCHE
FORSCHUNGS-
GEMEINSCHAFT

KOOPERATION:

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

Auflösen von aquatischer Dunkler Materie (FDM) durch Laserdissektion und Sequenzierung mit langen Lesewegen

Pilze sind eine wichtige Gruppe von Mikroorganismen, die integraler Bestandteil sowohl terrestrischer als auch aquatischer Ökosysteme sind. Pilze spielen eine Schlüsselrolle beim Abbau organischer Substanz und im Nährstoffkreislauf, und ihre Vielfalt wird auf 2,2 bis 3,8 Millionen Arten geschätzt. Mit nur ~149 000 formell beschriebenen Pilzarten ist jedoch vieles davon bisher noch unbekannt. Diese Diskrepanz zwischen bekannten und unbekanntem Pilzen ist in aquatischen Lebensräumen noch ausgeprägter. Um diese Kluft zwischen bekannten und unbekanntem Pilzen zu überbrücken, haben Mykologen kulturunabhängige Sequenzieretechnologien der nächsten Generation angewandt. Dennoch erwiesen sich diese Bemühungen als nicht ausreichend, um den Fungal Tree of Life (FToL) mit neu beschriebenen Pilzarten zu besiedeln.

Deshalb ist es seit April 2020 Teil der von Dr. Wurzbacher geleiteten Mikrobiellen Systemforschungsgruppe. Mein Projektziel ist es, die dunkle Materie von Wasserpilzen mit Hilfe eines kombinierten Ansatzes aus Laserdissektion einzelner Pilzzellen und anschließender langwieriger Sequenzierung der dritten Generation des vollständigen ribosomalen Pilzoperons aufzulösen. Ich arbeite an der Etablierung einer methodischen Plattform (Eco-ACDCS: Ecological Annotated Cell Disssection for Cultivation and nucleic acid Sequencing), die der Schlüssel zur Auflösung der dunklen Pilzmaterie in aquatischen Habitaten sein wird. Ziel ist es, einen Arbeitsablauf einzurichten, der innerhalb einer Woche von der Probenzerlegung bis zur Identifizierung der Zielpilze Ergebnisse liefern könnte. Im Moment konzentrieren wir uns auf aquatische Pilze, aber sobald die Plattform eingerichtet ist, werden wir den Anwendungsbereich auch auf andere mikrobielle Eukaryonten ausdehnen.

Darüber hinaus arbeite ich auch mit einer Forschungsgruppe des IGB-Berlin zusammen, um mit Pilzmetagenomen aus zwei Seen in Nordostdeutschland zu arbeiten.

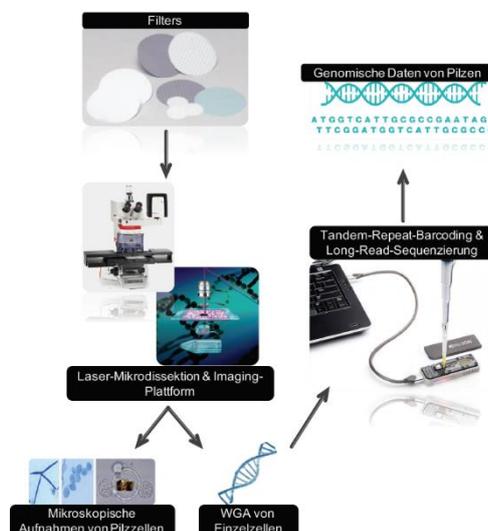


Abbildung 32: Methodische Plattform zur Abbildung, Präparation, Ganzgenom-Amplifikation (WGA) und Langzeit-Sequenzierung von Pilz-Einzelzellen, die von den Filtern gesammelt wurden.



**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 bekannt und erfüllen damit eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf. Ihre Rolle in aquatischen Ökosystemen ist jedoch weitestgehend unerforscht. Verschiedene Umwelt- und Diversitätsstudien zeigen ihr Vorhandensein in einer Vielzahl 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 konstruierte biologische Systeme wie Kläranlagen erfordern eine Betrachtung der Pilz, um Verständnis und im Folgenden eine Optimierung der gesamten mikrobiellen Gemeinschaft zu ermöglichen. In aktuellen Studien wurde ein großer Reichtum verschiedener Organismen des Reiches der Pilze, insbesondere Hefen und Cryptomycota, in Kläranlagen nachgewiesen.

Das übergeordnete Ziel dieser Studie ist es, einen Einblick in die Funktion und Diversität aquatischer Pilze zu gewinnen. Als Modellsystem werden Biofilme in mit Abwasser beschickten down-flow hanging sponge (DHS) Reaktoren verwendet. Das Verhältnis zwischen Pilzen und Bakterien, sowie die gesamte Biofilmzusammensetzung wird mit Hilfe von qPCR und ribosomalen Markergenen überwacht. Auch das Interaktionsnetzwerk auftretender Mikroorganismen im System und die funktionale Rolle der Pilze im immobilisierten Biofilm werden studiert. Zuletzt ist die Identifizierung grundlegender enzymatischer Stoffwechselwege der Pilze in den betrachteten Gemeinschaften beabsichtigt.

Um diese Untersuchungen zu ermöglichen, wird die Entwicklung und Optimierung standardisierter und zuverlässiger Arbeitsabläufe für (Meta-)Barcoding, Markierung mit stabilen Isotopen und Metatranskriptomik für Cryptomycota verfolgt.

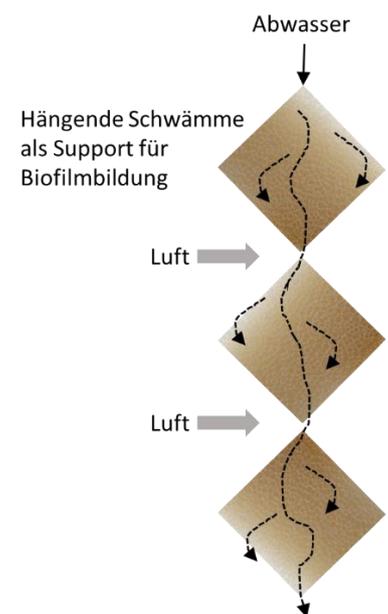


Abbildung 33: DHS Reaktor Konzept. Ping (2010), Imperial College Press, London.



**OLIVER
KNOOP**

(DR. RER. NAT.)

089/289 13702

OLIVER.KNOOP
@TUM.DE

Arbeitsgruppe Spurenstoffe in der Umwelt

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

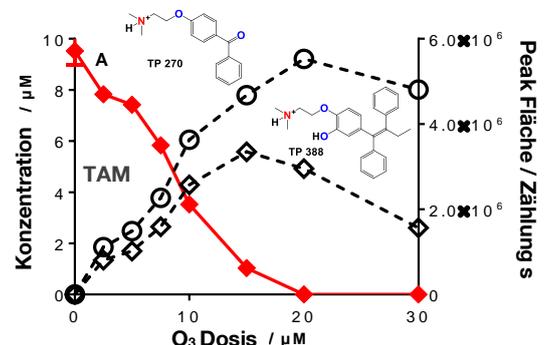


Abbildung 34: Links: AB Sciex QTRAP 5500 Massenspektrometer zur Identifikation von Transformationsprodukten. Rechts: Beispiel für die Bildung von Transformationsprodukten bei der Ozonung.



**MOHAMMED
AL-AZZAWI**

(M.Sc.)

089/289 13720

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. Hier zeigten sich die Aufschlüsse mittels Fenton-Reaktion sowie Wasserstoffperoxid bei sieben herkömmlichen Polymeren (PS, PE, PP, PET, PVC, PA, PLA) in dem Größenbereich von 80 – 300 μm als schnelle und geeignete Methoden.

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



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



**JULIA
REICHEL**

(M.Sc.)

089/289 13711

JULIA.REICHEL
@TUM.DE

FÖRDERUNG:
BUNDESMINISTERIUM
FÜR BILDUNG UND
FORSCHUNG

KOOPERATION:
BS-PARTIKEL GMBH

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

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

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

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

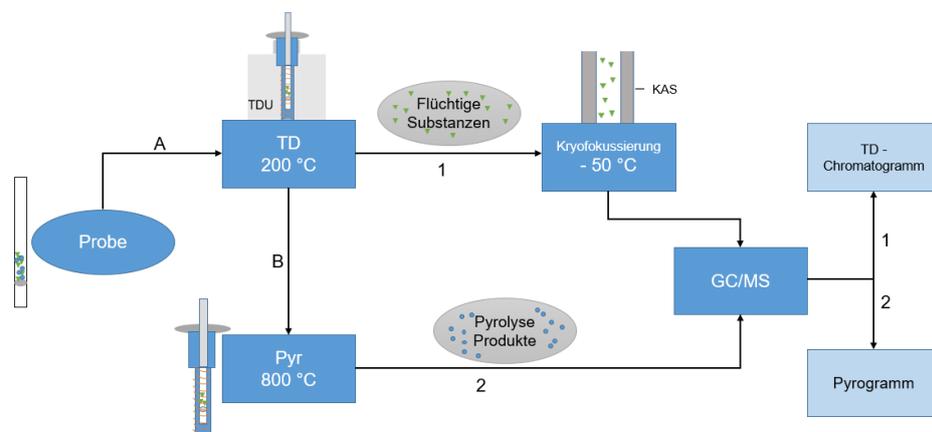


Abbildung 36: Flowchart TD-Pyr-GC/MS: (A) Thermodesorption der Probe (200 °C) (1) und Fokussierung der Analyten im Kaltaufgabesystem (KAS), gefolgt von der GC/MS Analyse. Anschließend wird die gleiche Probe (B) bei 800 °C pyrolysiert (2) und ins GC/MS geleitet.

**LEONHARD
PRECHTL**

(M.Sc.)

089/289 13709

LEONHARD.PRECHTL
@TUM.DE

Vorhersage der Ionisationsraten in einer ESI Ionenquelle mittels maschinellem Lernen

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

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

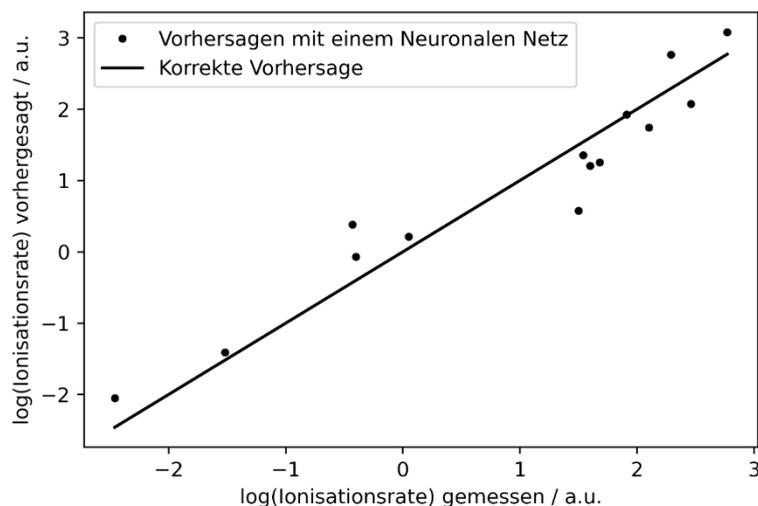


Abbildung 37: Mit einem neuronalen Netz für verschiedene Stoffe vorhergesagte Ionisationsraten gegen die gemessene Ionisationsrate aufgetragen.

KOOPERATION:
LEIBNIZ-RECHEN-
ZENTRUM DER
BAYERISCHEN
AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN



**JOHANN
MÜLLER**

(DR.-ING.)

089/289 13714

JO.MUELLER
@TUM.DE

FÖRDERUNG:

BAYERISCHES
STAATSMINISTERIUM
FÜR UMWELT UND
VERBRAUCHER-
SCHUTZ

KOOPERATION:

STADTENTWÄSSER-
UNG WEIßENBUR,
WEBER-INGENIEURE
GMBH,
INGENIEURBÜRO
DR. RESCH + PART-
NER PARTG

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

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

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

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



Abbildung 38: Blick auf die 4. Reinigungsstufe der Kläranlage Weißenburg.



**ROFIDA
WAHMAN**

(M.Sc.)

089/289 13707

ROFIDA.WAHMAN
@TUM.DE



**THOMAS
LETZEL**

(DR. RER. NAT.
HABIL)

T.LETZEL
@TUM.DE

FÖRDERUNG:

BAYERISCHES
STAATSMINISTERIUM
FÜR UMWELT UND
VERBRAUCHER-
SCHUTZ,
ÄGYPTISCHES
MINISTERIUM FÜR
HOCHSCHULBILDUNG

KOOPERATION:

FORSCHUNG-
EINHEIT
UMWELTGENOMIK,
HELMHOLTZ
ZENTRUM MÜNCHEN

sww@tum.de

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

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

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

Diese Studien wurden mit unterschiedlichen Pflanzen sowie mit (und ohne) unterschiedlichen Spurenstoffen durchgeführt und unterschiedliche Extrakte unterschiedlicher Pflanzenteile und teilweise unterschiedlichen Alters wurden mittels RPLC-HILIC-ESI-ToF-MS vermessen. Die Daten wurden für mehrere hundert Substanzen in (sehr) polaren bis unpolaren Bereich erfasst und auf deren statistische Nutzbarkeit hin untersucht sowie auf deren Aussagekraft auf den Einfluss des Pflanzenmetabolismus hin überprüft. Zusätzlich entstand die (derzeit mit über 3000 mit (primären und sekundären) Pflanzenmetaboliten gefüllte) open-access Datenbank PLANT-IDENT. Diese kann -implementiert in die freie Analytische Plattform FOR-IDENT- zur Auswertung von Non-Target Screening Daten herangezogen werden (siehe auch FOR-IDENT; see <https://water.for-ident.org/>).

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

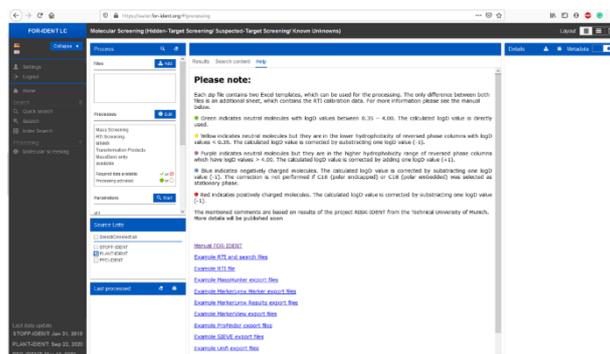


Abbildung 39: Screenshot der Open-Access-Plattform Plant-Ident.

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



**SUSANNE
MINKUS**

(M.Sc.)

SUSANNE.MINKUS
@TUM.DE

Externe Doktoranden

Polare Spurenstoffe in der Donau

Im Rahmen der vierten „Joint Danube Survey“ untersuchten wir 51 Proben entlang der Donau und ihrer Nebenflüsse, insbesondere auf polare anthropogene Spurenstoffe. Vermessen wurden die Proben mithilfe einer seriellen Kopplung aus hydrophiler Interaktionschromatographie (HILIC) und Umkehrphasen-Flüssigchromatographie, gekoppelt an ein QTOF-Massenspektrometer mit Elektrospray-Ionisationsquelle (ESI).

Die Proben wurden nach der „Non-Target-Screening“ Strategie vermessen und ausgewertet. Dazu wurden während jeder Messung die vollständigen massenspektrometrischen Spektren zyklisch über einen breiten Massenbereich aufgenommen.

Aus den Daten wurden Molekülkandidaten in Listen extrahiert, gruppiert und gefiltert. Berücksichtigt wurden in dieser Studie die Kandidaten, die von der HILIC-Säule eluierten, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit polar sind, also einen $\log D$ Wert < 0 aufweisen.

Mithilfe der Kandidatenlisten wurde die anthropogene Stoffdatenbank STOFF-IDENT auf der Plattform FOR-IDENT nach Substanzvorschlägen durchsucht. Aus den vorgeschlagenen Substanzen wurden jene weiter berücksichtigt, die einen $\log D < 0$ hatten. Diese Substanzvorschläge wurden dann je nach Auftrittswahrscheinlichkeit in den Proben und Vorhandensein von Fragmentspektren weiter priorisiert und kategorisiert. Durch diese Vorgehensweise wurden Molekülkandidaten mit erhöhter Sicherheit identifiziert, bevor die passenden Referenzstandards gekauft und nachgemessen wurden.

Susanne Minkus ist externe Doktorandin und bei der AFIN-TS GmbH. Betreut wird ihre Doktorarbeit von Jörg Drewes und PD Dr. Thomas Letzel (Gast des Lehrstuhls).

KOOPERATION:
AFIN-TS GMBH

WESTFÄLISCHE
WASSER- UND
UMWELTANALYTIK
GMBH,
NORMAN NETWORK

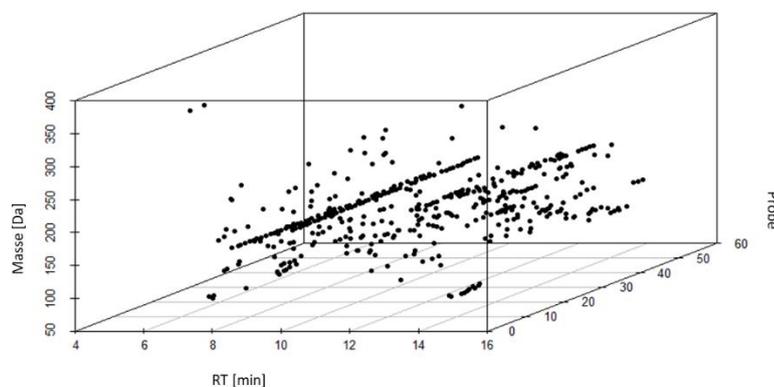


Abbildung 40: In der Abbildung sind die Molekülkandidaten, beschrieben durch ihre Masse und Retentionszeit (RT) auf der XY-Ebene aufgetragen. Die Proben sind auf der Z-Achse aufgetragen. Es ist zu sehen, dass einige Kandidaten über weite Strecken der Donau auftauchen.



**HANNA
ULRICH**

(DIPL.-GEOÖK.)

HANNA.E.ULRICH
@TUM.DE

KOOPERATION:
BAYERISCHES
LANDESAMT FÜR
UMWELT

Identifikation und Verhalten polyfluorierter Vorläuferverbindungen in der Umwelt

Aufgrund von chemikalienrechtlichen Beschränkungsmaßnahmen für langkettige perfluorierte Verbindungen werden zunehmend per- und polyfluorierte Ersatzstoffe eingesetzt. Häufig ist weder die chemische Struktur dieser Substanzen bekannt, noch stehen analytische Standards und Messmethoden zur Verfügung, die eine Erfassung dieser Verbindungen ermöglichen. Ziel ist es daher, verschiedene Ansätze zu nutzen, um Informationen zu diesen polyfluorierten Vorläuferverbindungen in der aquatischen Umwelt zu erhalten.

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

Die Non-Target- bzw. Suspected-Target-Analytik wird eingesetzt, um unbekannt bzw. erwartete polyfluorierte Verbindungen in Wasserproben zu identifizieren. Mit Hilfe eines hochauflösenden und akkuraten LC-MS/MS-Geräts kann die exakte Masse der Moleküle in einer Probe bestimmt werden. Anschließend können durch den Abgleich mit einer Suspected-Screening-Liste, Stoff- oder Spektrendatenbanken Vorschläge für mögliche Substanzen erhalten werden. Die im Rahmen des Projektes aufgebaute Substanzdatenbank ‚PFC-IDENT‘ umfasst bisher über 4.600 Verbindungen und kann über die FOR-IDENT Plattform genutzt werden. Erste Umweltproben wurden mit der hochauflösenden und akkuraten LC-MS/MS-Analytik gemessen und werden mit dieser Plattform und Datenbank ausgewertet.

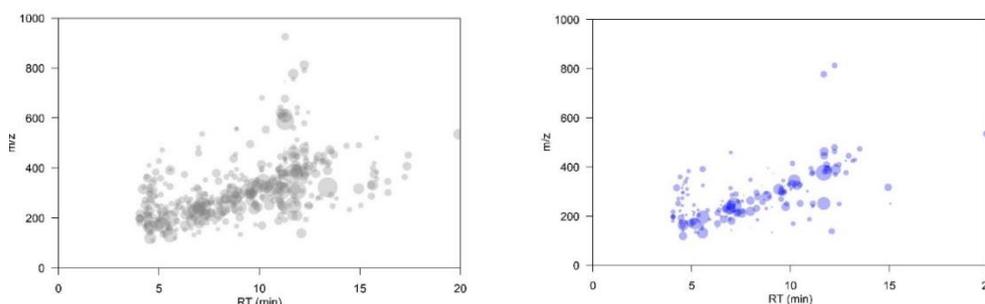


Abbildung 41: Mittels hochauflösender Massenspektrometrie detektierte Verbindungen in einer Oberflächengewässerprobe (links) und Reduktion auf wahrscheinlich fluorhaltige Verbindungen (rechts).

Hanna Ulrich ist externe Doktorandin und beim Bayerischen Landesamt für Umwelt angestellt. Betreut wird Hannas Doktorarbeit an der TUM von Jörg Drewes und Thomas Letzel (Gast des Lehrstuhls).



**RENATO
LIGUORI**

(M.Sc.)

RENATO.LIGUORI
@UNIPARTHENOPE.IT

Gastwissenschaftler

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

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

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

Internationale Kooperationspartner

Letztes Jahr konnten wir unsere internationalen Kooperationen weiter ausbauen (Abbildung 42).

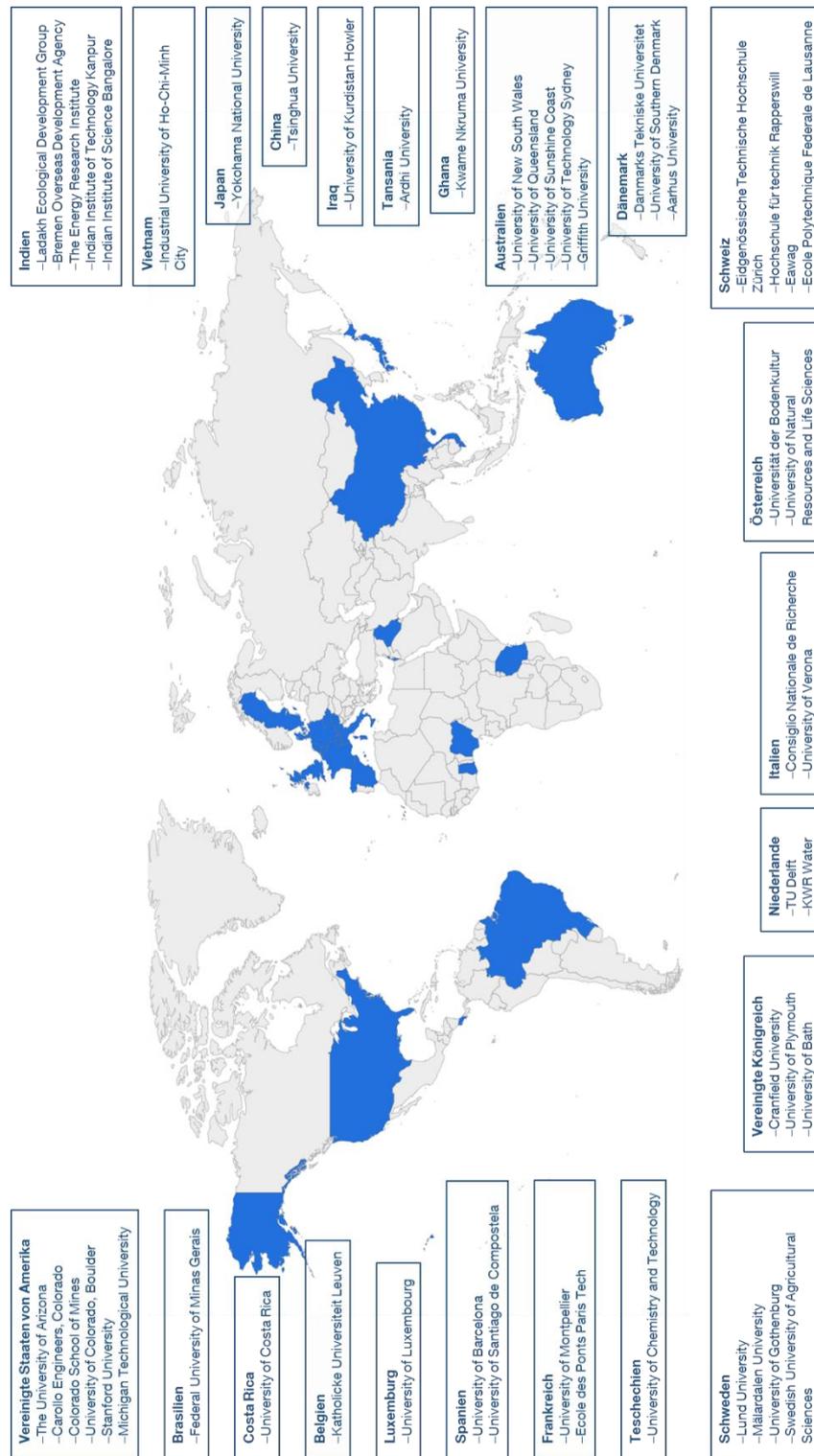


Abbildung 42: Internationale Partner.

Nationale & Internationale Gremienarbeit

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für globale Umweltveränderungen (WBGU)

Jörg E. Drewes wurde von der Bundesregierung in den WBGU für die Amtsperiode 2020-2024 berufen. Der interdisziplinär arbeitende Beirat mit 9 Mitgliedern bietet den politischen Entscheidungsträgern Orientierung für das komplexe Wirkungsgefüge globaler Umwelt- und Entwicklungsprobleme. Prof. Drewes wird in den Arbeiten für den WBGU durch Christoph Schwaller als persönlicher Referent unterstützt.

DFG-Fachkollegium

Jörg E. Drewes ist derzeit Mitglied des Fachkollegiums 318 „Wasserforschung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in der er die Bereiche Wasserchemie und Siedlungswasserwirtschaft repräsentiert.

DWA-Arbeitsgruppen

Brigitte Helmreich ist derzeit aktiv tätig in verschiedenen Arbeitsgruppen der DWA. Sie ist stellvertretende Obfrau des **DWA-Fachausschusses ES-3** „Anlagenbezogene Planung“ und Sprecherin der Arbeitsgruppe ES-3.1, die sich in 2020 mit der Überarbeitung des **DWA-A 138** beschäftigt hat. Dieses ist im November 2020 als DWA-A 138-1 „Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Planung, Bau und Betrieb“ im Gelbdruck erschienen. Sie ist Sprecherin der neu gebildeten Arbeitsgruppe ES-3.11, die ein Merkblatt **DWA-M 194** „Multifunktionale Flächen“ erarbeiten wird, und Mitglied der Arbeitsgruppe ES-3.7, die ein Merkblatt **DWA-M 179** „Dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung“ erstellt.

Zudem ist sie aktives Mitglied im **DWA-Fachausschuss IG-2** „Branchenspezifische Industrieabwässer und Abfälle“ und in der Arbeitsgruppe **IG 2.4** „Abwasser aus der Stärkeindustrie“.

Jörg Drewes engagiert sich im **DWA-Fachausschuss KA-8** „Weitergehende Abwasserbehandlung“, in den **DWA-Arbeitsgruppen Biz 11.4** „Wasserwiederverwendung“ sowie **KA-8.1** „Anthropogene Stoffe im Wasserkreislauf“.

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.

Expertengremium Wasserzukunft Bayern 2050

Jörg E. Drewes wurde in das Expertengremium „Wasserzukunft Bayern 2050“ der Bayerischen Staatsregierung berufen.

Internationale Gremien

Jörg Drewes ist aktives Mitglied im **Strategic Council** der **International Water Association**.

Zeitschriften Redakteur

Jörg Drewes ist Associate Editor von *ACS Environmental Science & Technology Water*, Editor des *Journal of Water Reuse and Desalination* sowie und im Editorial Board von *Environmental Technology Reviews*.

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

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

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

Ali Nawaz ist Associate Editor bei *Frontiers in Fungal Biology*.

Nachwuchsförderung / Workshops / Sonstige Aktivitäten

Wir freuen uns, dass die **Roland-Mall-Stiftung** in 2020 vier begabten Studierenden aus dem Bereich Wasser und Umwelt ein Stipendium von monatlich 500 € über die gesamte Regelstudienzeit des Masterstudiums überreichen konnte. Die ausgewählten Studierenden, Frau **Julia Degenhart**, Herr **Simeon Schaller**, Herr **Kevin Fokkens** und Frau **Magdalena Knabl**, wurden aufgrund ihres bisherigen Engagements und Werdegangs ausgesucht.

Young Water Reuse Professionals (YWRP)

Mitarbeiter des Lehrstuhls unter Federführung von Frau Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer engagieren sich auch 2020 in der 2015 gegründeten **Young Water Reuse Professionals (YWRP)** Gruppe der IWA Water Reuse Special Group (WRSG). Ziel ist die internationale Vernetzung der "Jungwissenschaftler" untereinander sowie der Austausch mit "Seniorwissenschaftlern" und Industrievertretern im Bereich des Wasser Recyclings. Die Aktivitäten beinhalten die Unterstützung von Plattformen und Strukturen für den gegenseitigen Austausch (IWA Connect), WRSG Newsletter sowie Mitarbeit bei der Planung der IWA Water Reuse Specialist Conferences.

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

Scienclisten

Im Jahr 2020 wurden auf dem Arbeitsweg insgesamt über 37.497 km durch die MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft zusammen geradelt. Dies entspricht einer CO₂-Einsparung von rd. 5,4 Tonnen im Vergleich zum Auto bzw. 14,2 Tonnen im Vergleich zum Flugzeug (economy). Ziel ist es den Gesamt- sowie den Einzelbetrag im Jahr 2021 weiter zu erhöhen.



Geplante Veranstaltungen in 2021

31. Wassertechnisches Seminar, 3. März 2021: Neue Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung durch perfluorierte Verbindungen (PFAS)? – VIRTUELL

Durch die neue Bewertung per- und polyfluorierter Alkylsubstanzen (PFAS) durch die europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) und die Aufnahme in die europäische Trinkwasserrichtlinie, hat die PFAS-Stoffgruppe stark an Bedeutung gewonnen. Die gemischten polaren und unpolaren Eigenschaften der PFAS, sowie ihre hohe Persistenz bringen nicht nur die von der Industrie gewünschte Vorteile, sondern auch große Probleme in der Umwelt sowie bei der Wasseraufbereitung und der Trinkwasserversorgung mit sich. Durch ihre hohe Mobilität verteilen sich die PFAS im Grundwasser und können über die meisten gut etablierten Wasseraufbereitungsmethoden nicht oder nur unzureichend entfernt werden. Somit bedrohen die PFAS die Versorgung der Menschen mit unserem wichtigsten Lebensmittel, sauberem Trinkwasser.

In unserem Seminar wollen wir für die Gruppe der PFAS einen Überblick zu den neuen Erkenntnissen aus der toxikologischen Bewertung und den daraus resultierenden neuen Grenzwerten für die Trinkwasserversorgung vorstellen. Diese neuen Grenzwerte führen zu neuen analytischen und verfahrenstechnischen Herausforderungen dieser in beiden Bereichen problematischen Stoffgruppe. Abschließend möchten wir die Frage beantworten, welche Konsequenzen sich aus den neuen Richtlinien für die Trinkwasserversorgung in bereits betroffenen Regionen ergeben werden.

Das Anmeldeformular finden Sie hier: <http://www.bgu.tum.de/sww/wts31/>

Programm

08:30 Uhr Öffnung der Online-Plattform

09:00 Uhr **Begrüßung, Nettiquette und Einführung**

Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes,
TU München

Themenblock: PFAS in der Umwelt

Moderation: Prof. Dr. Jörg E. Drewes

09:15 Uhr **Perspektive des UBA zur Relevanz von PFAS im Trinkwasser**

Dr. Camilla Beulker
Abt. II.3, Umweltbundesamt

09:35 Uhr **PFAS-Bestandsaufnahme im bayerischen Trinkwasser**

Dr. Holger Knapp
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

09:55 Uhr **Diskussion**

Themenblock: Toxikologie und Risikobewertung

Moderation: Prof. Dr. Jörg E. Drewes

10:10 Uhr **Human-Toxizität von PFAS, neue Erkenntnisse**Dr. Michael SchümannBehörde für Gesundheit und Verbraucherschutz, Hamburg
Human Biomonitoring Kommission10:30 Uhr **Ableitung von Leitwerten und GOWs für Trinkwasser**Dr. Alexander Eckhardt

FG II 3.6, Umweltbundesamt

10:50 Uhr **Diskussion**

11:20 Uhr Mittagspause

Themenblock: Analytik von PFAS, Herausforderungen und Lösungsansätze

Moderation: Dr. Oliver Knoop

11:50 Uhr **Analyse nach revidierter EU Trinkwasserrichtlinie: Summe PFAS und PFAS Gesamt**Frank Thomas Lange

TZW Karlsruhe

12:20 Uhr **Einzelstoffanalytik und Nachweisgrenzen**Alexander Kämpfe

FG II 3.2, Umweltbundesamt

12:50 Uhr **Diskussion****Themenblock: Geeignete Aufbereitungsverfahren zur Entfernung von PFAS aus dem Trinkwasser**

Moderation: Dr. Oliver Knoop

13:05 Uhr **Konventionelle Verfahren für die Trinkwasseraufbereitung**Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TU München

13:25 Uhr **Innovative Verfahren für die Trinkwasseraufbereitung**Thomas Lippert & Nebojsa Illic

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TU München

13:55 Uhr **Erfahrungen aus der Region Baden-Baden & Rastatt**Peter Riedinger

Stadtwerke Baden-Baden

14:15 Uhr **Diskussion**14:30 Uhr **Schlusswort**Prof. Dr. Jörg E. Drewes,
TU München, Garching

48. Abwassertechnisches Seminar am 14 Juli 2021: Regenwasserbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels

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

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

Programm

09:15 Uhr **Begrüßung und Einführung**

Prof. Dr. Brigitte Helmreich,
TU München

Themenblock: Einführung

Moderation: Prof. Dr. Brigitte Helmreich

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

[Prof. Dr. Matthias Garschagen](#)
Ludwig-Maximilian-Universität München, München

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

[Stefan Brückmann](#)
Ramboll Studio Dreiseitl, Überlingen

10:20 Uhr **Diskussion**

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

Themenblock: Herausforderung Klimaanpassungen

Moderation: Prof. Dr. Brigitte Helmreich

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

Werner Norgauer, BBI Ingenieure, Regensburg

11:30 Uhr **Überflutungsnachweise für Grundstücke im urbanen Raum - Gefährdungspotentiale erkennen und beseitigen**

Daniel Hoedemacker

GFM Bau und Umweltingenieure GmbH, München

11:50 Uhr **Wirtschaftlichkeit wassersensibler Stadtentwicklung – Kosten und Mehrwert alternativer Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen**

Dr. Nadine Gerner

Emschergesellschaft/Lippeverband, Essen

12:10 Uhr **Diskussion**

12:25 Uhr **Mittagspause und Besichtigung des Ausstellerforums**

Themenblock: Neue Regelwerke

Moderation: Prof. Dr. Jörg E. Drewes

14:00 Uhr **Regenwasserversickerung nach dem neuen DWA-A 138 ins Grundwasser – Was ist neu?**

Prof. Brigitte Helmreich,

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TU München, Garching

14:20 Uhr **Das neue DWA-A 102 – Zukünftige Anforderungen für das Einleiten von Regenabflüssen in Oberflächengewässer**

Bernd Haller

Regierungspräsidium Karlsruhe, Karlsruhe

14:40 Uhr **Der Wasserhaushalt in der Stadt der Zukunft – neue Regelungen in DWA-A/M 102 für Neubau- und Sanierungsgebiete**

Prof. Mathias Uhl,

FH Münster, University of Applied Science, Münster

15:00 Uhr **Diskussion**

15:15 Uhr **Kaffeepause und Besichtigung des Ausstellerforums**

Themenblock: Planung auf engem Raum

Moderation: Prof. Dr. Jörg E. Drewes

15:45 Uhr **Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung im urbanen Raum aus Sicht des Betreibers**

Dr. Maximilian Huber

Münchner Stadtentwässerung, München

16:10 Uhr **Dezentralen Behandlungsanlagen als platzsparende Alternative? Praxiserfahrungen**

Steffen Rommel,

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TU München, Garching

16:30 Uhr **Diskussion**

16:45 Uhr **Schlusswort**

Prof. Dr. Jörg E. Drewes,

TU München

Publikationen

Wissenschaftliche Zeitschriften (Peer-reviewed)

- 1) Al-Azzawi, M.S.M; Kefer, S.; Weißer, J.; Reichel, J.; Schwaller, C.; Glas, K.; Knoop, O.; Drewes, J.E.: Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices – reproducibility and standardization. *Water* 12, 2020, 2445.
- 2) Astals, S.; Koch, K.; Weinrich, S.; Hafner, S.; Tait, S.; Peces, M.: Impact of storage conditions on the methanogenic activity of anaerobic digestion inocula. *Water* 12, 2020, 1321.
- 3) Bandelin, J.; Lippert, T.; Drewes, J.; Koch, K.: Assessment of sonotrode and tube reactors for ultrasonic pre-treatment of two different sewage sludge types. *Ultrasonics Sonochemistry* 64, 2020, 105001.
- 4) Bandelin, J.; Lippert, T.; Drewes, J.E.; Koch, K.: Impact of high flow rates and increased viscosity of digested sewage sludge on the cavitation intensity in ultrasonic tube reactors. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* 152, 2020, 107925.
- 5) Bartonitz, A.; Anyanwu, I.N.; Geist, J.; Imhof, H.K.; Reichel, J.; Graßmann, J.; Drewes, J.E.; Beggel, S.: Modulation of PAH toxicity on the freshwater organism *G. roeseli* by microparticles. *Environmental Pollution* 260, 2020, 113999.
- 6) Friedman L.; Mamane H.; Chandran K.; Jekel M.; Cikurel H.; Hübner U.; Elgart M.; Dagan S.; Santo-Domingo J.; Avisar, J.: Stimulating nitrogen biokinetics with the addition of hydrogen peroxide to secondary effluent biofiltration. *Clean Technologies* 2, 2020, 53-73.
- 7) Hafner, S.D.; Fruteau de Laclos, H.; Koch, K.; Holliger, C.: Improving inter-laboratory reproducibility in measurement of biochemical methane potential (BMP). *Water* 12, 2020, 1752.
- 8) Heim, C.; Rajab, M.; Greco, G.; Grosse, S.; Drewes, J.E.; Letzel, T.; Helmreich, B.: Fate of Diclofenac and Its Transformation and Inorganic By-Products in different water matrices during electrochemical advanced oxidation process using a boron-doped diamond electrode. *Water* 12, 2020, 1686.
- 9) Horstmeyer, N.; Thies, C.; Lippert, T.; Drewes, J.E.: A hydraulically optimized fluidized bed UF membrane reactor (FB-UF-MR) for direct treatment of raw municipal wastewater to enable water reclamation with integrated energy recovery. *Separation and Purification Technology* 235, 2020, 116165.
- 10) Huber, M.; Athanasiadis, K.; Helmreich, B.: Phosphorus removal efficiency at municipal wastewater treatment plants in Bavaria – a case study. *Environmental Challenges* 1, 2020, 100008.
- 11) Juottonen, H.; Fontaine, L.; Wurzbacher, C.; Drakare, S.; Peura, S.; Eiler, A.: Archaea in boreal Swedish lakes are diverse, dominated by Woese archaeota and follow deterministic community assembly. *Environmental Microbiology*, 22, 2020, 3158–3171.
- 12) Karakurt-Fischer, S.; Bein, E.; Drewes, J.E.; Hübner, U.: Characterizing a novel in-situ oxygen delivery device for establishing controlled redox zonation within a high infiltration rate sequential biofilter. *Water Research* 182, 2020, 116039.
- 13) Karakurt-Fischer, S.; Sanz-Prat, A.; Greskowiak, J.; Ergh, M.; Gerdes, H.; Massmann, G.; Ederer, J.; Regnery, J.; Hübner, U.; Drewes, Jörg E.: Developing a novel biofiltration treatment system by coupling high-rate infiltration trench technology with a plug-flow porous-media bioreactor. *Science of The Total Environment* 722, 2020, 137890.
- 14) Koch, K.; Hafner, S.; Weinrich, S.; Astals, S.: Evaluation of common supermarket products as positive controls in biochemical methane potential (BMP) tests. *Water* 12, 2020, 1223.
- 15) Koch, K.; Hafner, S.D.; Weinrich, S.; Astals, S.; Holliger, C.: Power and Limitations of Biochemical Methane Potential (BMP) Tests. *Frontiers in Energy Research* 8, 2020.
- 16) Lippert, T.; Bandelin, J.; Schleder, F.; Drewes, J.E.; Koch, K.: Effects of ultrasonic reactor design on sewage sludge disintegration. *Ultrasonics Sonochemistry* 68, 2020, 105223.

- 17) Magalhães, N.C.; Silva, A.F.R.; Cunha, P.V.M.; Drewes, J.E.; Amaral, M.C.S.: Role of nanofiltration or reverse osmosis integrated to ultrafiltration-anaerobic membrane bioreactor treating vinasse for the conservation of water and nutrients in the ethanol industry. *Journal of Water Process Engineering* 36, 2020, 101338.
- 18) Mulugeta, S.; Helmreich, B.; Drewes, J.E.; Nigussie, A.: Consequences of fluctuating depth of filter media on coliform removal performance and effluent reuse opportunities of a bio-sand filter in municipal wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8, 2020, 104135.
- 19) Peces, M.; Pozo, G.; Koch, K.; Dosta, J.; Astals, S.: Exploring the potential of co-fermenting sewage sludge and lipids in a resource recovery scenario. *Bioresource Technology* 300, 2020, 122561.
- 20) Pecson, B.; Gerrity, D.; Bibby, K.; Drewes, J.E.; Gerba, C.; Gersberg, R.; Gonzalez, R.; Haas, C.N.; Hamilton, K.A.; Nelson, K.L.; Olivieri, A.; Rock, C.; Rose, J.; Sobsey, M.: Editorial Perspectives: will SARS-CoV-2 reset public health requirements in the water industry? Integrating lessons of the past and emerging research. *Environmental Science: Water Research & Technology* 6, 2020, 1761-1764.
- 21) Reichel, J.; Graßmann, J.; Letzel, T.; Drewes, J.E.: Systematic development of a simultaneous determination of plastic particle identity and adsorbed organic compounds by thermodesorption-pyrolysis GC/MS (TD-Pyr-GC/MS). *Molecules* 25, 2020, 4985.
- 22) Rommel, S.H.; Gelhardt, L.; Welker, A.; Helmreich, B.: Quantification of settling velocity decrease of road-deposited sediment at low temperatures and de-icing salt application. *Water* 2020, 12, 3126.
- 23) Rommel, S.H.; Noceti, L.; Stinshoff, P.; Helmreich, B.: Leaching potential of heavy metals from road-deposited sediment and sorptive media during dry periods in storm water quality improvement devices. *Environmental Science: Water Research & Technology* 6, 2020, 1890-1901.
- 24) Sari, M.A.; Oppenheimer, J.; Robinson, K.; Drewes, J.E.; Pisarenko, A.; Jacangelo, J.: Persistent contaminants of emerging concern in ozone-biofiltration systems: analysis from multiple studies. *American Water Works Association Water Science* 2, 2020, 1-19.
- 25) Schwaller, C.; Keller, Y.; Helmreich, B.; Drewes, J.E.: Estimating the agricultural irrigation demand for planning of non-potable water reuse projects. *Agricultural Water Management* 244, 2021, 106529.
- 26) Silva, A.F.R.; Magalhães, N.C.; Martelli Cunha, P.V.; Amaral, M.C.S.; Koch, K.: Influence of COD/SO₄²⁻ ratio on vinasse treatment performance by two-stage anaerobic membrane bioreactor. *Journal of Environmental Management* 259, 2020, 110034.
- 27) Silva, A.F.R.; Ricci, B.C.; Koch, K.; Weißbach, M.; Amaral, M.C.S.: Dissolved hydrogen sulfide removal from anaerobic bioreactor permeate by modified direct contact membrane distillation. *Separation and Purification Technology* 233, 2020, 116036.
- 28) Sperle, P.; Wurzbacher, C.; Drewes, J.E.; Skibinski, B.: Reducing the impacts of biofouling in RO membrane systems through in-situ low fluence irradiation employing UVC-LEDs. *Membranes* 10, 2020, 415.
- 29) Vega-Garcia, P.; Schwerd, R.; Scherer, C.; Schwitalla, C.; Helmreich, B.: Development of a model for stormwater runoff prediction on vertical test panels coated with plasters and mortars. *Water* 12, 2020, 2593.
- 30) Vega-Garcia, P.; Schwerd, R.; Scherer, C.; Schwitalla, C.; Johann, S.; Rommel, S.H.; Helmreich, B.: Influence of façade orientation on the leaching of biocides from building façades covered with mortars and plasters. *Science of The Total Environment* 734, 2020, 139465.
- 31) Wagner, M.; Eicheler, C.A.E.; Helmreich, B.; Hilbig, H.; Heinz, D.: Removal of congo red from aqueous solutions at hardened cement paste surfaces. *Frontiers in Materials Structural Materials* 7, 2020, 567130.
- 32) Wahman, R.; Graßmann, J.; Sauvêtre, A.; Schröder, P.; Letzel, T.: *Lemna minor* studies under various storage periods using extended-polarity extraction and metabolite non-target screening analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 188, 2020, 113362.

- 33) Wurzbacher, C.; Kreiling, A.K.; Svantesson, S.; Van den Wyngaert, S.; Larsson, E.; Heeger, F.; Nilsson, R.H.; Pálsson, S.: Fungal communities in groundwater springs along the volcanic zone of Iceland. *Inland Waters*, 2020, 418-427.
- 34) Zhiteneva, V.; Hübner, U.; Medema, G.J.; Drewes, J.E.: Trends in conducting quantitative microbial risk assessments for water reuse systems: a review. *Microbial Risk Analysis*, 2020, 100132.
- 35) Zhiteneva, V.; Ziemendorf, É.; Sperlich, A.; Drewes, J.E.; Hübner, U.: Differentiating between adsorption and biodegradation mechanisms while removing trace organic chemicals (TOCs) in biological activated carbon (BAC) filters. *Science of the Total Environment* 743, 2020, 140567.

Andere wissenschaftliche Zeitschriften und Buchbeiträge

- 1) Dandikas, V.; Lebuhn, M.; Post, M.; Fritz, M.; Koch, K.: Biogasausbeuten - Erklärung verschiedener Methoden und Tests. In: Biogas Forum Bayern, Hrsg. ALB Bayern e.V, www.biogas-forum-bayern.de/bif16, 2020.
- 2) Duarte, S.; Wurzbacher, C.; Seena, S.: Metabarcoding of litter-associated fungi and bacteria. In: *Methods to Study Litter Decomposition* (pp. 339-346). Springer, Cham., 2020.
- 3) Helmreich, B. Umgang mit Regenabflüssen von Metalldächern. Ratgeber Regenwasser, 8. Auflage 2020, S. 16-17.
- 4) Helmreich, B.; Rommel, S.: Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen im urbanen Raum – wohin geht die Reise? *Zeitschrift für Straßenverkehrstechnik*, 2020.3, 154-158.
- 5) Seena, S.; Duarte, S.; Wurzbacher, C.: A bioinformatics primer for the analysis of illumina MiSeq data of litter-associated fungi and bacteria. In *Methods to Study Litter Decomposition*. Springer, Cham., 2020, 573-582.
- 6) Spieler, M.; Muffler, L.; Drewes, J.E.: Wasserrechtliche Rahmenbedingungen der Wasserwiederverwendung in Deutschland. Teil 1: Rechtliche Grundlagen. *Korrespondenz Abwasser* 67(12), 2020.
- 7) Weinrich, S.; Astals, S.; Hafner, S.; Koch, K.: 8.11 Kinetic modelling of anaerobic batch tests. *Collection of Methods for Biogas - Methods to determine parameters for analysis purposes and parameters that describe processes in the biogas sector* (ISBN: 978-3-946629-47-4), Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ), Leipzig, 2020, p. 349-369

Konferenzen (Präsentationen)

- 1) Astals, S.; Justesen, C.G.; Mortensen, J.R.; Thorsen, R.; Koch, K.; Weinrich, S.; Triolo, J.M., Hafner, S.D.: Low-cost gas density biochemical methane potential (BMP) method. *Latin American Meetings on Anaerobic Digestion*, 29. October 2020, online, 2020.
- 2) Drewes, J.E.: Plastik, Mikroplastik...unersetzbar, aber unzersetzbar. Akatech Forum am 11.02.2020 in München (Vortrag), 2020.
- 3) Helmreich, B.: Das neue DWA-A 138. Regenwassertage der DWA, 16. Juni 2020, Videokonferenz, 2020.
- 4) Helmreich, B.: Einsatz modular aufgebauter technischer Anlagen mit DIBt-Zulassung zur Behandlung von Niederschlagswasser. Seminar „Wohin mit dem Niederschlagswasser? - Regenwasserbewirtschaftung von der Planung zur Praxis“ am 19.02.2020 in Nürnberg (Vortrag), 2020.
- 5) Helmreich, B.: Technische Regelwerke – das Arbeitsblatt DWA-A 138. Seminar „Wohin mit dem Niederschlagswasser? - Regenwasserbewirtschaftung von der Planung zur Praxis“ am 19.02.2020 in Nürnberg (Vortrag), 2020.

Abschlussarbeiten

Dissertationen

- 1) Strübing, Dietmar: H₂/CO₂ biomethanation in anaerobic thermophilic trickle bed reactors - Development of a flexible and efficient energy conversion technology. 11.02.2020.
- 2) Karakurt-Fischer, Sema: Development and validation of a novel treatment concept for planned potable reuse based on sequential managed aquifer recharge technology for more sustainable water management, 04.12.2020.
- 3) Zhiteneva, Veronika: Mitigating risk in water reuse systems by enhancing biofiltration with sorptive media. 18.12.2020.

Masterarbeiten

- 1) Ahmadi, Mohammad: Auswirkungen organischer Polymere bei der Ultrafiltration von PES Membranen - Eine Laborstudie mit unterschiedlichen synthetischen Wassermatrizen.
- 2) Alipour Tesieh, Zahra: "Natural Treatment System" als Ansatz für die Entwicklung einer dezentralen Abwasserbehandlungs-Pilotanlage in Leh Stadt, Indien, mit einem Fokus auf hybride "Constructed Wetlands".
- 3) Arivalagan, Akshaya: Der Einsatz von Mecoprop als Pestizid in der Bauindustrie - Anwendung, Auftreten und Umweltrelevanz.
- 4) Awais, Usama: Auswirkung variierender Raumbelastung auf die Zusammensetzung von FOS und die Methanproduktivität bei der CO₂-angereicherten anaeroben Vergärung von Klärschlamm.
- 5) Bayram, Berfin: Ökobilanz der LUQEL Water Station Excellence - Quantitative Analyse der Umweltauswirkungen und Vorschläge für Verbesserungen.
- 6) Bissinger, Moritz: Bewertung der Nitrifikationsleistung von drei an der Kläranlage Garching betriebenen Tropfkörper-Reaktoren und Maßnahmen zu deren Effizienzsteigerung als Grundlage zur Minimierung der Ammoniumfracht im Ablauf.
- 7) Bui, Hung: Planung und Modellierung einer Abwasserbehandlungsanlage für Papierfabriksabwässer mit Recycling-Papier als Rohmaterial an einem Beispiel in Binh Duong – Vietnam.
- 8) Chauhan, Simran: Fluoreszenzfärbung und Verfolgung von Mikroplastik-Partikeln im Abfluss einer Laborkläranlage.
- 9) Dorape Witharanage, Dinithi Bhagya Amarawardana: Kopplung von Pilzabbaukapazitäten mit Photosynthese-Abwasserbehandlungsverfahren.
- 10) Heck, David: Einfluss von CO₂-angereichertem Inokulum auf das Biomethanpotenzial von Klärschlamm unter Verwendung von zwei verschiedenen Batchtest Methoden: gravimetrisch und manometrisch.
- 11) Hsu, Hsin-yu: Entfernung der Genotoxizität von Ciprofloxacin durch Behandlung von Ozonung und Biofiltration.
- 12) Khatri, Himani: Untersuchung CNT beschichteter Membranen und deren Filtrationsleistung hinsichtlich der Reinigung schwer zu behandelnder Industrieabwässer.
- 13) Kuzmichev, Nikita: Deammonifikation in Industrieabwasser.
- 14) Lenert, Charlotte: Vergleich der Entfernung von Spurenstoffen in Biofiltern zur Behandlung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen.
- 15) Liao, Kuan-Po: Biologischer Abbau des künstlichen Süßstoffs Acesulfam in Kläranlagen.
- 16) Linziakina, Polina: Optimierung des Abwasserbehandlungsprozesses: Anwendung von Kieselgur bei der Pappeproduktion.
- 17) Liu, Dan: Bewertung des Vorkommens, der Entfernungseffizienz und des Gesundheitsrisikos von 5 Spurenstoffe in Wasserwiederverwendung.

- 18) Lutz, Jannik: Bewertung der Grundwasserqualität im Einzugsgebiet von Wolaita Sodo, Äthiopien - Erste Phase des Clean Water Project Sodo.
- 19) Manghabati, Hamed: Sanierungs- und Strukturkonzept für die Wasserversorgungsanlage der Gemeinde Kulmain.
- 20) Mayerl, Michael: Verbesserung der Wasserbilanz von alpinen Schutzhütten durch den Einsatz von alternativen Sanitärsystemen.
- 21) Meola, Alberto: Intermittierende Mikrobelüftung bei der anaeroben Vergärung: Bestimmung der optimalen Sauerstoffmenge für eine maximale Methanausbeute durch Machine Learning.
- 22) Nguyen, Anh Thang: Effekt des Zusatzes von Enzymen auf die Acidogenese bei der Behandlung von Papierherstellungsprozesswasser.
- 23) Ottinger, Ida: Ressourceneffizienz in der Automobilindustrie. Optimierung und Verwertung und Entsorgung von Kunststoffabfällen aus der Produktion am Beispiel dreier Montagelinien.
- 24) Pechtl, Leonhardt: Entwicklung einer effektbasierten analytischen Methode durch Kopplung eines Neurotoxizität-Assay mit LC-MS.
- 25) Rainer, Andreas: Bewertung und Verbesserung des Kohlenstoffdioxid-Massentransfers und der Biokonversionseffizienz bei der mit Kohlenstoffdioxid angereicherten anaeroben Vergärung von Klärschlamm.
- 26) Renner, Sebastian: Untersuchungen zum Rückhalt von Mikroplastik im Belebtschlamm von Laborkläranlagen.
- 27) Rieder, Patrick: Etablierung einer Messmethode für Plastik-Nanopartikel mit dem ZetaView Nano-Tracking-Analyzer, sowie die Untersuchung der Effekte unterschiedlicher Behandlungsmethoden auf Nanopartikel.
- 28) Rodriguez Ramirez, Juan: Gefährdungscharakterisierung der Wasserwiederverwendung: Gefährdungscharakterisierung der Wasserwiederverwendung: Entwicklung eines Bayesschen Netzwerks zur Entfernung von Spurenstoffe innerhalb eines Behandlungszuges für die Wasserwiederverwendung.
- 29) Ruf, Anastasis: Modellierung im strategischen Asset Management von Pump-, Klär- und Wasserwerken unter Berücksichtigung der Risikoentwicklung.
- 30) Schmelzig, Helene: Potentiale und Grenzen der Coupled Aerobic-anoxic Nitrous Decomposition Operation (CANDO).
- 31) Schmidt, Jonas: Monitoring von Mikroplastikpartikeln in einer Laborkläranlage mittels Fluoreszenz-Tagging.
- 32) Schmidt, Nicolas: Trübungsmessung an einer dezentralen Regenwasserbehandlungsanlage - Datenaufbereitung, Auswertung und Konzeption möglicher betriebsorientierter Anwendungen.
- 33) Schmuck, Alexandra: Auswirkungen einer kontrollierten Redox-Zonierung durch in-situ Sauerstoff Eintrag auf die Biotransformation der Spurenstoffe im SMARTplus Bioreaktor im Pilotmaßstab.
- 34) Schott, Sebastian: Charakterisierung von Feststoffen im Straßenabfluss.
- 35) Shahrour, Mahmoud: Zeitreihengenerierung für Wasserkraft basierend auf Strömungsmodellen. Fallstudie: Donau.
- 36) Shehata, Omar: Charakterisierung eines pulsierenden Durchfluss UVC-LED Reaktors und der Einfluss der Fluenzrate auf die mikrobielle Desinfektion.
- 37) Souf, Amr: Bewertung der Anwendbarkeit von sequentiellen Biofiltrations-Hybridsystemen in Behandlungsschemata für die Wiederverwendung von Wasser.
- 38) Stinshoff, Philipp: Sequentielle Extraktion von Schwermetallen aus zurückgehaltenen Straßensedimenten und vorbelasteten sorptiven Filtermaterialien von dezentralen Behandlungsanlagen für Straßenabflüsse.
- 39) Tessaro, Gloria: Dynamik der mikrobiellen Anpassung an Anilin und Acetat als einzelnes Wachstumssubstrat.
- 40) Thoma, Mario: Optimierung der anaeroben Vergärbarkeit von lignocellulosehaltiger Biomasse.
- 41) Weihofen, Björn: Untersuchungen zum Zustand der bayerischen Kanalisation 2018.

Studienarbeiten

- 1) Akhimova, Elizaveta: Überblick über die Hybridsysteme von UF, MF in Kombination mit O₃ und PAC mit dem Fokus auf Entfernungsleistungen von organischen Spurenstoffen und antibiotikaresistenten Bakterien.
- 2) Betianu, Radu Mihai: Pilotstudie über die Viruslast der Münchner Abwasserströme.
- 3) Bui, Hung: Modellierung der Entfernung anthropogener Edukte für die Bildung von Desinfektionsnebenprodukten in Schwimmbeckenwasser durch den Hybridprozess PAC-UF unter Verwendung von AQUASIM.
- 4) Del Rio Melo, Julio: Behandlung hoch stickstoffreicher Industrieabwässer.
- 5) Etchechury Gomez, Gerónimo Agustín: In-situ Sauerstoffeintrag in sequentielle Biofiltersysteme zur indirekten Wasserwiederverwendung.
- 6) Fianelli, Francesco: DemoMeth: Vorschläge zur Gasnutzung.
- 7) Franco Pereira, Lucas Cesar: Diskussion über die Effektivität von Water Tariffs und Empfehlungen für Leh Stadt, Ladakh, Indien.
- 8) Geelani, Rameez Ahmad: Hochwertige DNA-Extraktion aus Wasserpilzen für die Sequenzierung mit langen Leselängen.
- 9) Hernandez Robles, Gabriel: Betrieb eines kontinuierlichen Fermenters mit Ultraschall als Co-Behandlung für Faulschlamm.
- 10) Hsu, Hsin-yu: Entwicklung einer Extraktionsmethode für den umu-Assay zur Bestimmung der Genotoxizität in Sedimenten von Verkehrsflächenabflüssen.
- 11) Janicek, Maximilian: Sanierungskonzeption als Pilotprojekt für zwei Sammler.
- 12) Kim, Erin: Grundlegende Analyse des Massentransfers eines Sauerstoff- und Ozoneintragssystems in Grundwasser.
- 13) Liu, Yu Chen: Leistungsbeurteilung der Klärschlammbeschallung.
- 14) Lowicki, Maximilian: Großtechnische Ultraschallbehandlung von Klärschlamm auf einer Kläranlage.
- 15) Marhoon, Ahmed: Modellierung des Transports von Bioziden in der ungesättigten Bodenzone unter Verwendung des allgemeinen Protokolls des Projektes "Sickerwasserprognose".
- 16) Nay, Vongvichra: Eine Nachhaltigkeitsstudie für die Trinkwasseraufbereitung mittels Ultrafiltration in ländlichen Gebieten.
- 17) Páez-Curtidor, Natalie: Reuse Brew Projekt – Weitergehende Abwasserbehandlung zu Trinkwasserzwecken und der Herstellung von Bier.
- 18) Schmuck, Alexandra: Aufbau und Betriebsoptimierung eines in-situ Sauerstoffeintragssystems in die sequentiellen Biofiltersysteme (SMARTplus).
- 19) Tessaro, Gloria: Auswirkungen der variierenden Betriebsbedingungen auf den Biofilm eines biologischen Systems (SMARTplus Bioreaktor).
- 20) Uchaikina, Anna: Untersuchung des Abbaus von Antikoagulantien durch Ozonung und Adsorption an granulierter Aktivkohle.
- 21) Weidner, Jonas: Analyse, Interpretation und Bewertung eines mehrjährigen Grundwassermonitorings im Großraum München.
- 22) Zhang, Boyang: Kartierung der Local Climate Zones in der Brüssel-Hauptstadt Region anhand Sentinel-2-Mission und Random Forest classifier in QGIS.

Bachelorarbeiten

- 1) Ackermann, Leopold: Untersuchung des Verhaltens von antikoagulanten Wirkstoffen in der biologischen Abwasserreinigung anhand eines Batch-Versuches.
- 2) Bergmann, Felix: Effizienz der Optimierung einer 4. Reinigungsstufe in Klärwerken: Ozonung, Granulierte Aktivkohle und pulverisierte Aktivkohle.
- 3) Busse, Lilian: Vorkommen von Mikroplastik in deutschen Fließgewässern.
- 4) Duraku, Erzen: Grundwassersanierung durch membrangestützten In-situ-Gaseintrag – Umsetzung und Wirksamkeit.
- 5) El Khodary, Karim: Die Auswirkung von in-situ UVC Desinfektion des Zulaufstroms auf die mikrobielle Diversität von Biofilmen, geformt in Umkehrosmose (UO) Prozessen.
- 6) Gunelj, Karlo: Vibration as Mechanical Antifouling Strategy for Membrane Filtration – An Overview of the State of the Art of Science and Technology.
- 7) Henkes, Felix: Auswirkungen von Covid-19 auf den Klimawandel.
- 8) Jung, Aaron: Mikrobiologische Aspekte von Verkehrsflächenabflüssen.
- 9) Lange, Kim: Quantitative und Qualitative Betrachtung von Niederschlag in Unterfranken zur landwirtschaftlichen Bewässerung.
- 10) Lehrer, Clara: Qualitative Bewertung von auf Dachflächen gesammeltem Niederschlagswasser für landwirtschaftliche Bewässerungszwecke.
- 11) Marson, Jeff: Die mögliche zentrale Rolle von Vitamin B12 (Cobalamin) im Cometabolismus mikrobieller Gemeinschaften beim Abbau von Mikroschadstoffen.
- 12) Mraz, Kristina: Suspendierbarkeit von Mikroplastik in verschiedenen Lösungen und kontinuierliche Dotierung in eine Labor-Kläranlage.
- 13) Pöll, Lisa: Spurenstoffe im europäischen Wasserkreislauf.
- 14) Püttmann, Enno: Potenzielle Wassersicherheitsplan Optionen für die hochgelegene Stadt Leh, Ladakh, Indien.
- 15) Rojas Sonderegger, Thomas: Geografische Information zur Unterstützung der Entscheidungsfindung für die nachhaltige Entwicklung von Leh Stadt, Indien.
- 16) Rösch, Barbara: Optimierung von Sorptionsexperimenten mit Spurenstoffen auf Mikro- und Nanoplastikpartikeln mit Fokus auf Lagerbedingungen.
- 17) Schill, Rebecca: Energieeffizienz von Kläranlagen in Tunesien - Ein Vergleich von Faultürmen und Photovoltaik anhand des Beispiels der Kläranlage Kairouan II.
- 18) Stein, Sebastian: Herstellung von Insektenprotein - Ein Beitrag zur Suche nach alternativen Proteinquellen für eine nachhaltige menschliche und tierische Ernährung.
- 19) Stern, Benedikt: Sauerstoffeintrag in Belebungsbecken - Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf den Sauerstoffeintrag mit Druckbelüftungssystemen.
- 20) Straub, Julian: Vorkommen und Verbleib von TORCs in Kläranlagen.
- 21) Vandewiele, Michiel: Die Stickstoffaufnahme und -assimilation in Pflanzenkläranlagen - Datenerfassung für PLANT-IDENT.
- 22) Weise, Kilian: Optimierung eines Erfassungssystems zur Bestimmung von Methanerträgen.

Dissertationen und Auszeichnungen

Herzlichen Glückwunsch an Herr **Dr.-Ing. Dietmar Strübing** für die erfolgreiche Verteidigung seiner Doktorarbeit am 28. Februar 2020. Seine Arbeit mit dem Titel, *'H₂/CO₂ biomethanation in anaerobic thermophilic trickle bed reactors - Development of a flexible and efficient energy conversion technology'* wurde von Herrn Prof. Largus Angenent (Universität tübingen), Herrn Prof. Lars Ottsen (Aarhus University) und Herrn Prof. Jörg Drewes begutachtet.



Abbildung 43: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Dietmar Strübing



Abbildung 44: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr.-Ing. Sema Karakurt-Fischer** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 4. Dezember 2020. Ihre Arbeit mit dem Titel *'Development and validation of a novel treatment concept for planned potable re-use based on sequential managed aquifer recharge technology for more sustainable water management'* wurde von Herrn Prof. Sung Kyu (Andrew) Maeng (Sejong University, Seoul, South Korea), Herrn Prof. Christian Griebler (Universität Wien, Österreich) und Herrn Prof. Jörg Drewes begutachtet.

Herzlichen Glückwunsch an Frau **Dr.-Ing. Veronika Zhiteneva** für die erfolgreiche Verteidigung ihrer Doktorarbeit am 18. Dezember 2020. Ihre Arbeit mit dem Titel *'Mitigating risk in water reuse systems by enhancing biofiltration with sorptive media'* wurde von Herrn Prof. Dr. Martin Elsner (TUM, Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie), Herrn Prof. Dr. Gertjan Medema (Technische Universität Delft, Niederlande) und Herrn Prof. Jörg Drewes begutachtet.



Abbildung 45: Promotionskomitee von Dr.-Ing. Veronika Zhiteneva

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 2020 angeboten:

Sommersemester

Bachelor

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

Master/PhD

- Advanced Water Treatment Engineering and Reuse: Drewes, Jörg
- Anaerobic Treatment and Energy Recovery: Koch, Konrad
- Industrieabwasserreinigung und Wiederverwertung: Helmreich, Brigitte
- Bewirtschaftung von Kanalnetzen und Regenwassermanagement: Helmreich, Brigitte
- PhD Seminar SiWaWi: Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Wastewater Treatment: Koch, Konrad
- Planning the urban Water-Energy-Food Nexus: Keilman-Gondhalekar, Daphne
- Doktoranden und Masteranden Kolloquium – Proaktiv: Drewes, Jörg; Helmreich, Brigitte; Koch, Konrad, Hübner, Uwe; Knoop, Oliver; Wurzbacher, Christian; Keilman-Gondhalekar, Daphne
- Application of Urban Climate: Katzschner, Lutz (TUM-Lehrbeauftragter)

Wintersemester

Bachelor

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

Master/PhD

- Water and Wastewater Treatment Engineering: Drewes, Jörg
- Engineered Natural Treatment Systems: Hübner, Uwe
- Hydrochemistry Helmreich, Brigitte
- PhD Seminar SiWaWi: Drewes, Jörg; Koch, Konrad;
- Sanitation in the Global South: Al-Azzawi, Mohammed; Bein, Emil; Feickert Fenske, Carolina; Lippert, Thomas; Muntau, Meriam; Sierra Olea, Millaray; Sperle, Philipp
- Technical Communication Skills in Water and Wastewater Treatment: Drewes, Jörg; Koch, Konrad
- Modelling of aquatic systems: Koch, Konrad
- Planung und Betrieb von Kläranlagen: Athanasiadis, Konstantinos (TUM-Lehrbeauftragter); Böhm, Bernhard (TUM-Lehrbeauftragter)
- Aquatic microbiology: Wurzbacher, Christian
- Planungs- und Genehmigungsverfahren nach deutschem und europäischem Wasserrecht: Spieler, Martin (TUM-Lehrbeauftragter)
- Statistisch-stochastische Prognosen des baulich-betrieblichen Zustands von Entwässerungssystemen: Raganowicz, Andrzej (TUM-Lehrbeauftragter)
- Doktoranden und Masteranden Kolloquium – Proaktiv: Drewes, Jörg; Helmreich, Brigitte; Koch, K., Hübner, Uwe; Knoop, Oliver; Wurzbacher, Christian; Keilman-Gondhalekar, Daphne



**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



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



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



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



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



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



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

Sekretariat



Marianne Lochner
+49.89.289.13703
m.lochner@tum.de



Susanne Wießler
+49.89.289.13701
s.wiessler@tum.de

Wissenschaftliche MitarbeiterInnen

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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



Sema Karakurt-Fischer (Dr.-Ing.)
+49.89.289.13717
sema.karakurt@tum.de



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



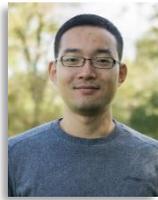
Hanna Ulrich
(Dipl.-Geoök.)
hanna.ulrich@tum.de



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



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



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

GastwissenschaftlerInnen



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

Technisches Personal



Franziska Bedacht
+49.89.289.13732
franziska.bedacht
@tum.de



Heidrun Mayrhofer
+49.89.289.13732
heidrun.mayrhofer
@tum.de



Hubert Moosrainer
+49.89.289.13730
h.moosrainer@tum.de



Myriam Reif
+49.89.289.13715
m.reif@tum.de



Wolfgang Schröder
+49.89.289.13726
wolfgang.schroeder
@tum.de



Andrea Vogel
+49.89.289.13709
a.vogel@tum.de



Ursula Wallentits
+49.89.289.13732
u.wallentits@tum.de

Auszubildende



Marina Rath
+49.89.289.13715
marina.rath@tum.de



Vanessa Weiß
+49.89.289.13732
vanessa.weiss@tum.de



Kontakt

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Am Coulombwall 3

85748 Garching

Tel. +49.89.289.13701

Fax +49.89.289.13718

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

sww@tum.de

Spendenkonto

Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls e.V.,

Postbank München

IBAN: DE04 7001 0080 0034 9498 02

BIC: PBNKDEFF

Editorin

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft

Millaray Sierra Olea, M.Sc.

Carolina Feickert Fenske, M.Sc.