

DEUS 21 – REGENERATIVES WASSERMANAGEMENT

ABWASSERREINIGUNG DURCH VERWERTUNG DER INHALTSSTOFFE







SEMIDEZENTRALES WASSER- UND ABWASSERMANAGEMENT

Seit mehr als 100 Jahren werden in den Industrieländern Fäkalien mit Trinkwasser aus den Wohngebieten über lange Strecken zu einer zentralen Kläranlage gespült. Bau und Instandhaltung der Kanalisationsnetze verschlingen hohe Kosten, welche die Kommunen – und letztlich die Bürger – tragen müssen. Zudem ist sauberes Wasser ein knappes Gut – zu wertvoll, um als Transportmedium missbraucht zu werden. Das Fraunhofer IGB untersucht im Projekt DEUS 21 (Dezentrale urbane Wasserinfrastruktursysteme) ökologisch und ökonomisch sinnvollere Alternativen zum herkömmlichen Wassermanagement.

Wasser sparen, Ressourcen nutzen

Das am Fraunhofer IGB erarbeitete Konzept für ein semidezentrales urbanes Wasser- und Abwassermanagement umfasst:

- Eine qualitätsgesicherte Regenwassernutzung
- Eine intelligente Form des Abwassertransports (Vakuumkanalisation)
- Eine semidezentrale, nachhaltige anaerobe Abwasserreinigung

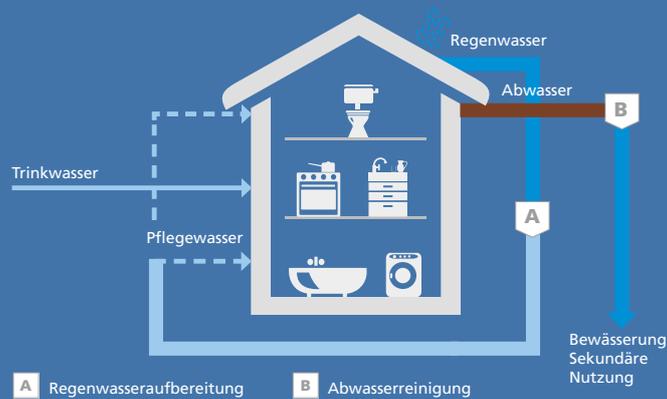
Vakuumsanitärsysteme wie in Flugzeug, Schiff und Bahn sind auch für Haushaltsabwasser verfügbar. Diese Systeme und die Nutzung von Regenwasser als Brauchwasser senken den Trinkwasserverbrauch und die Kosten drastisch. Das semidezentrale Konzept ermöglicht zudem, die Leitungsquerschnitte der Abwasserkanäle und deren Einbautiefe zu verringern. Bauwerke der Abwasserbehandlung müssen nur noch auf der Grundlage von Schmutzwassermengen ausgelegt werden. Auch dies senkt die Kosten, ebenso die Einsparung von Zentralkläranlagen und Regenrückhaltebecken.

Ziel der neu entwickelten und eingesetzten Abwasserreinigungstechnologie ist es, Stoffkreisläufe zu schließen, indem die Inhaltsstoffe des Abwassers zu Wertstoffen umgewandelt werden: Kohlenstoffverbindungen zu Methan, Stickstoffverbindungen zu Ammoniumdünger und Phosphorverbindungen zu einem Phosphatdünger.

In seinem Demonstrationsvorhaben »DEUS 21 – Dezentrale urbane Wasserinfrastruktursysteme« hat das Fraunhofer IGB in einem Neubaugebiet in Knittlingen gezeigt, dass diese Verwertungsstrategie in der Realität machbar ist.

1 *Blick ins Wasserhaus, Knittlingen.*

2 *Vakuumstation.*



DEUS 21

DEMONSTRATIONSANLAGE IN KNITTLINGEN

Zwischen 2006 und 2010 hat das Fraunhofer IGB im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts DEUS 21 in einem Neubaugebiet in Knittlingen, einem Ort in der Nähe von Pforzheim, dieses neue Konzept des Wassermanagements entwickelt und erprobt. Bereits Ende 2005 ging die Vakuumstation in Betrieb, die zuverlässig das Abwasser aus den Häusern des Neubaugebiets sammelt und der Abwasserreinigung zur Verfügung stellt. Eine von der Größe an die zunächst noch geringe Anzahl an Bewohnern angepasste Pilotanlage wurde seit 2006 zur Ermittlung exakter Auslegungsdaten für die technische Anlage im Wasserhaus betrieben. Im Jahr 2008 konnte dann eine technisch optimierte Anlage, welche das Abwasser von ca. 175 Anwohnern reinigt und einfach erweitert werden kann, in Betrieb genommen werden. Parallel zur Entwicklung der anaeroben Abwassertechnik wurden Technologien zur Rückgewinnung des Phosphors und des Stickstoffs aus dem Ablauf der Anlage untersucht und als technische Einheiten in die Prozesslinie im »Wasserhaus«, in welchem die gesamte Technik für die Realisierung von DEUS 21 untergebracht ist, integriert.

Das Regenwasser wurde während der Erprobungsphase separat gesammelt, in unterirdischen Zisternen gespeichert und im Wasserhaus aufbereitet. Ziel war es, das Regenwasser zu Trinkwasserqualität aufzubereiten, um es in einem separaten Netz an die Bewohner des Wohngebiets zu verteilen und damit einen großen Teil des Trinkwassers einzusparen. Genutzt werden sollte das aufbereitete Regenwasser zur Toilettenspülung und Gartenbewässerung, aber auch für Wasch- und Spülmaschine sowie zum Waschen und Duschen. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Qualität des gesammelten Regenwassers schlechter als erwartet war. Dennoch konnten wir zeigen, dass auch dieses Wasser zu »Pflegewasser« mit hygienisch einwandfreier Trinkwasserqualität aufbereitet werden kann. Da in Knittlingen jedoch kein Mangel an Trinkwasser herrscht, ist hier ein dauerhafter Betrieb der Regenwasseraufbereitung nicht wirtschaftlich. Für Regionen mit Mangel an Rohwasser in guter Qualität stellt die Regenwassernutzung jedoch eine wichtige Option dar.



REGENWASSERNUTZUNG

Verunreinigungen im Regenwasser

Bereits bei der Sammlung des Regenwassers ist es wichtig, den Eintrag von Schadstoffen so gering wie möglich zu halten. So passiert das Wasser, bevor es in die Zisternen läuft, ein Sieb mit 0,6 mm Spaltbreite. Wenn es anfängt zu regnen, wird zudem für einige Zeit ein Ventil im Zulauf der Zisterne geschlossen, so dass der erste Regen, der den meisten Schmutz von überflossenen Oberflächen, Dachflächen und Straßen, mit sich führt, nicht in die Zisternen gelangt. Damit gelingt es, für die meisten chemischen Parameter bereits im Rohwasser Trinkwasserqualität zu erreichen.

Im Zisternenwasser konnten jedoch einzelne Pflanzenschutzmittel detektiert werden, die wohl vor allem aus Dachabdichtungsmaterialien stammen. Im Winter waren die Konzentrationen von Natrium und Chlorid im Zisternenwasser erhöht, was auf den Einsatz von Streusalz zurückzuführen ist. Während der anderen Jahreszeiten weist das Zisternenwasser nur geringe Salzkonzentrationen und eine im Vergleich zu Trinkwasser geringere Härte auf. Mit dem Regenwasser gelangen zahlreiche Mikroorganismen, die von Dächern und Straßen gespült werden, ins Zisternenwasser. Ebenso werden Pflanzenteile und anorganische Feststoffe, beispielsweise von Bautätigkeiten, in die Zisterne gespült.

Mehrstufiges Aufbereitungsverfahren

Durch mehrere Verfahrensschritte wurde das Zisternenwasser so weit aufbereitet, dass es Trinkwasserqualität erreichte. Dabei werden zunächst mittels eines Filters mit einer Porenweite von 1 µm im Zisternenwasser enthaltene Partikel entfernt. Daraufhin werden die organischen Bestandteile durch die Zugabe von Ozon oxidiert, wobei insbesondere die Entfernung der Pflanzenschutzmittel angestrebt wird. Das Wasser durchläuft daraufhin einen Aktivkohlefilter, an dem die Oxidationsprodukte adsorbieren und biologisch abgebaut werden können. Auch anorganische Bestandteile des Regenwassers werden hier durch Adsorption gebunden. Nun durchläuft das Wasser eine Ultrafiltrationsstufe, in der noch verbliebene feinste Partikel sowie Mikroorganismen zurückgehalten werden. Am Ende soll eine UV-Lampe sicherstellen, dass das aufbereitete Regenwasser frei von Keimen ist.

Zur Reduktion des Salzgehalts sollten anstelle aufwendiger Verfahrenstechnik einfache organisatorische Maßnahmen ergriffen werden. So könnte bereits eine eingeschränkte Verwendung von Streusalz oder ein Verschließen der Zisternen bei entsprechenden Witterungsverhältnissen Abhilfe schaffen.



ANAEROBE ABWASSERREINIGUNG

Versuche an einer ersten Pilotanlage im Neubaugebiet Knittlingen sowie einer Technikumsanlage am Fraunhofer IGB hatten gezeigt, dass die Abwasserreinigung besser funktioniert, wenn die Feststoffe vorher abgetrennt werden. Diese Funktion übernimmt ein Absetzbehälter (Abb. 3).

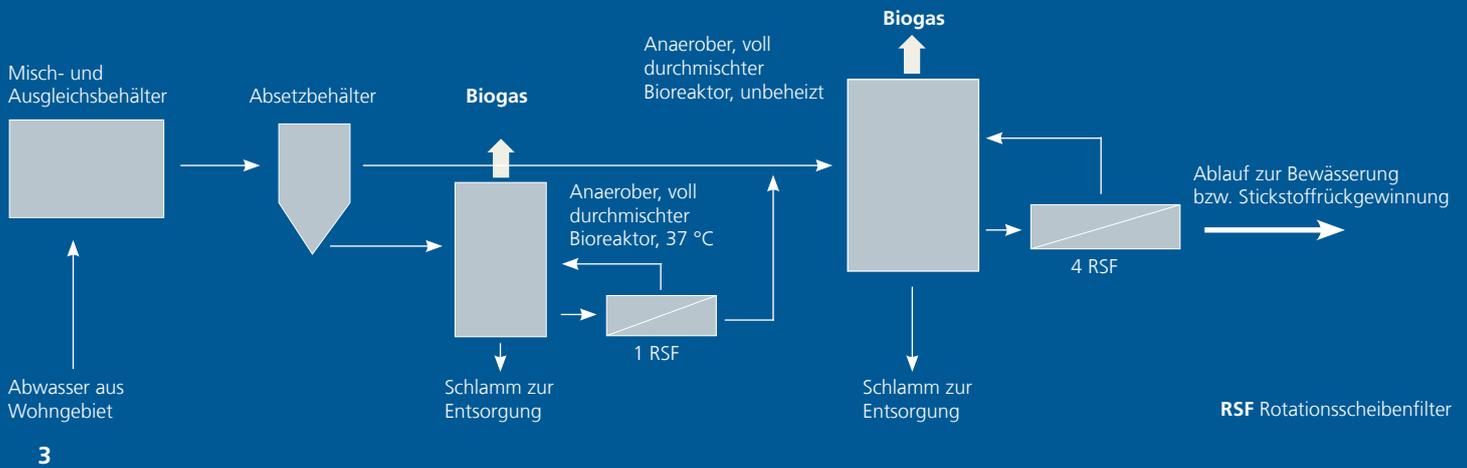
Vergärung der Feststoffe

Die abgesetzten Feststoffe werden separat bei 37 °C nach dem am Fraunhofer IGB entwickelten Verfahren der Hochlastfaulung mit integrierter Mikrofiltration behandelt. Dabei werden bis zu 5000 Liter Biogas pro Tag produziert. Die hydraulische Verweilzeit im Reaktor beträgt etwa zehn Tage, die Verweilzeit der Feststoffe ist durch den Abzug des Filtrats in gewissem Umfang frei einstellbar, liegt jedoch deutlich höher.

Anaerobe Reinigung des Abwassers

Der Überlauf des Absetzbehälters (ca. 99 Prozent des Zulaufs) wird in einem unbeheizten, voll durchmischten Bioreaktor mit einem Volumen von 10 m³ behandelt. Der Ablauf erfolgt über vier parallele Rotationsscheibenfilter mit einem Porendurchmesser von 0,2 µm. Da es bisher in Deutschland keine Anlagen gibt, in denen kommunales Abwasser anaerob bei niedrigen Temperaturen behandelt wird, mussten die Mikroorganismen, die dies bewerkstelligen, zunächst herangezüchtet werden. Daher wurde die Belastung des Bioreaktors zunächst nur langsam gesteigert.

- 1 Behälter zur Abwasserreinigung.
- 2 Bioreaktor.
- 3 Schema der anaeroben Abwasserreinigung mit Membranfiltration.



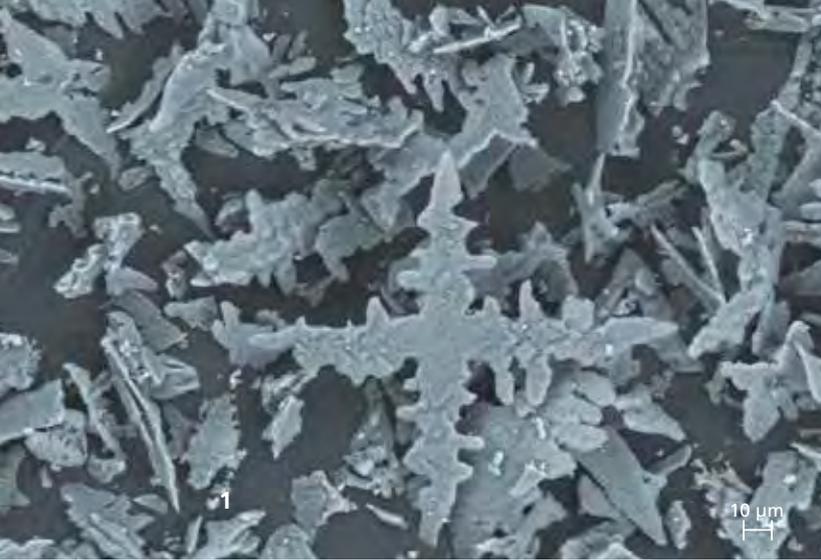
Hervorragende Reinigung – weniger Schlamm

Schon im Sommer 2009 (Reaktortemperaturen 22–27 °C) konnte der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) des Ablaufs über einen längeren Zeitraum konstant unter 150 mg/l (Grenzwert der Abwasserverordnung für Kläranlagen für weniger als 1000 Einwohner) gehalten werden, für mehr als einen Monat sogar unter 120 mg/l. Im Herbst/Winter 2009 (Reaktortemperaturen 13–19 °C) wurde kontinuierlich ein Grenzwert von 150 mg CSB/l unterschritten, obwohl die Methanbakterienkonzentration im Bioreaktor noch relativ niedrig war. Die minimalen Verweilzeiten des Abwassers im Bioreaktor betragen 26 Stunden. Die Zulaufkonzentrationen lagen zwischen 400 und 1100 mg CSB/l, der durchschnittliche Abbaugrad lag zu den genannten Zeiträumen bei 85 Prozent. Die maximale Biogasproduktion betrug knapp 3000 Liter pro Tag. Der Zuwachs der Biomasse liegt bei nur 16,5 Prozent dessen, was beim aeroben Belebtschlammverfahren an Überschussschlamm entsteht. Die Menge an zu entsorgendem Schlamm ist demnach stark verringert. Die Membranfiltration erreicht im anaeroben Schlamm auch bei niedrigen Temperaturen einen Flux von 12–14 l/m²/h; eine chemische Reinigung ist nur einmal jährlich notwendig.

Gewinnung von Biogas

Durch die rein anaerobe Verfahrenstechnik werden die organischen Inhaltsstoffe des Abwassers zum größten Teil zu Biogas umgesetzt. Ohne Zugabe von Küchenabfällen liegt die Biogasproduktion bei etwa 34 Litern pro Einwohner und Tag, durch die Zugabe von Küchenabfällen kann sich diese Menge mehr als verdoppeln. Bei der herkömmlichen Abwasserreinigung wird durch die Schlammfäulung ein Biogasertrag von 20 bis 25 Litern pro Einwohner und Tag erreicht. Der Energiegehalt des bei der anaeroben Abwasserreinigung entstehenden Biogases liegt bei mehr als 100 kWh pro Einwohner und Jahr. Stellt man diesen Gewinn von 100 kWh dem Energiebedarf großer Kläranlagen gegenüber, die pro Jahr etwa 30 kWh elektrische Energie pro Einwohner und Jahr und noch einmal den gleichen Betrag an thermischer Energie benötigen, zeigt dies, dass die anaerobe Abwasserreinigung mindestens energieautark möglich ist.

Da die Anlage in Knittlingen als Demonstrationsanlage relativ klein ist, ist hier eine Nutzung des Biogases mit herkömmlichen Systemen wie Blockheizkraftwerk oder auch Stirlingmotor kaum umsetzbar. Das Biogas wird daher in einem Brenner verbrannt und thermisch im Prozess der Abwasserreinigung für die Beheizung des Bioreaktors verwertet.



NUTZUNG DES GEREINIGTEN WASSERS UND DER NÄHRSTOFFE

Eine mögliche Nutzung des Ablaufs der Anlage stellt die kombinierte Bewässerung und Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen dar. Im Bioreaktor werden die Nährstoffe Ammonium und Phosphat, die sich in relativ hohen Konzentrationen im Abwasser befinden, kaum abgebaut. Durch die Membranfiltration ist der Ablauf keimarm und kann daher gefahrlos für die Bewässerung verwendet werden. Bei stichprobenartigen Untersuchungen im Mai 2009 wurden im Ablauf der für die Membranfiltration eingesetzten Rotationsscheibenfilter keinerlei Bakterien der Art *Escherichia coli* nachgewiesen, obwohl diese im Reaktorschlamm in Größenordnungen von einer Million Keime pro Milliliter vorkommen.

Rückgewinnung der Nährstoffe

Für Fälle, in denen eine Nutzung des Ablaufs zur Düngung nicht möglich ist, werden Verfahren zur Rückgewinnung des Phosphats sowie des Ammoniums aus dem Ablauf entwickelt. Mithilfe eines elektrochemischen Prozesses werden Ammonium und Phosphat als Struvit (MAP, Magnesiumammoniumphosphat) ausgefällt (Abb. 1). Aufgrund seiner Zusammensetzung (Makronährstoffe N, P und Mg) und seiner Pflanzenverfügbarkeit ist MAP ein ausgezeichnete Dünger.

Erste Fällungsexperimente mit Filtrat aus Knittlingen sind äußerst vielversprechend. Mithilfe dieser Technologie konnte die Phosphat-Konzentration im Ablauf um 93 Prozent auf unter 1 mg/l gesenkt werden. Damit wird der Grenzwert der Abwasserverordnung für Anlagen bis 100 000 Einwohnerwerte (2 mg/l) gesichert unterschritten.

Da Ammonium in deutlich höheren Konzentrationen vorliegt als Phosphat, ist es nach der Fällung von MAP immer noch im Ablauf enthalten. Auch dieses soll noch zurückgewonnen werden. Dabei wird Zeolith, ein Silikat-Mineral, als Ionenaustauscher eingesetzt und anschließend mit einer konzentrierten Kochsalzlösung regeneriert. Diese Kochsalzlösung wird dann wiederum in einer Luftstrippung behandelt. Hierbei wird das Ammonium in Form von Ammoniak an Schwefelsäure gebunden und als Ammoniumsulfat als Dünger gewonnen. Versuche im technischen Maßstab in Knittlingen ergaben, dass nach etwa 24 Stunden ein Wert von 4 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ im Ablauf der mit Zeolithen gefüllten Säule überschritten wurde und damit 3600 Liter Wasser gereinigt wurden, bei Zulaufkonzentrationen von 70 bis 80 mg/l. Je nach Reinigungsziel kann bei Erreichen der Grenzkonzentration auf eine zweite parallele Säule umgeschaltet und die erste regeneriert werden.



DEUS 21 – NACHHALTIG UND EFFIZIENT

Einsatzgebiete

Insgesamt steht mit den in Knittlingen betriebenen Anlagen sowie mit der ebenfalls im Rahmen von DEUS 21 erfolgreich betriebenen Membranbelebung in Heidelberg-Neurott eine Auswahl an Prozessen zur Verfügung, mit der – angepasst an die Bedingungen an anderer Stelle – ein nachhaltiges semidezentrales Wassermanagement in größerem Maßstab realisiert werden kann. Sinnvoll ist dies insbesondere an Standorten, an denen bisher keine Wasserinfrastruktur existiert.

Durch die Möglichkeit, das anaerob behandelte Abwasser in der Landwirtschaft zu nutzen, ist dieses Konzept insbesondere für kleinere Kommunen im ländlichen Bereich optimal. Es erspart den Transport des Wassers über weite Strecken und ermöglicht eine Rückführung der Wertstoffe, des Wassers und der Energie und begünstigt damit relativ kleinräumige Kreisläufe.

Vorteile

- Einsparung von Trinkwasser durch Regenwassernutzung
- Einsparung von Infrastrukturkosten für den Bau und die Instandhaltung einer zentralen Abwasserkanalisation zur Großkläranlage
- Reduktion von Abwasserreinigungskosten durch Einsatz moderner Membran- und Reaktortechnologie, die praktisch keinen Klärschlamm erzeugt
- Vorbeugender Hochwasserschutz, Anhebung des Grundwasserspiegels, da gereinigtes Abwasser zur Bewässerung genutzt oder einfach versickert werden kann
- Stoffrecycling statt Entsorgung: Als Produkte werden Biogas, Ammonium- und Phosphatdünger gewonnen

1 *Magnesiumammoniumphosphat-Kristalle.*

2 *Anlage zur Stickstoffrückgewinnung.*

3 *Entnahme einer Filtratprobe.*



FÖRDERUNG UND PARTNER

Das Projekt »DEUS 21 – Dezentrale urbane Wasserinfrastruktursysteme« wurde in zwei Stufen von Oktober 2003 bis Mai 2010 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Neben dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart, waren als Forschungspartner das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, und in der ersten Förderphase auch das ISA der RWTH Aachen beteiligt.

Von Januar 2009 bis März 2013 förderte die Fraunhofer-Gesellschaft Entwicklungen im Zusammenhang mit diesem Vorhaben in dem marktorientierten Vorlaufforschungsprojekt »InWasif – Zukunftsfähiges integriertes Wasserinfrastruktur- und -nutzungskonzept für Stadtquartiere«.

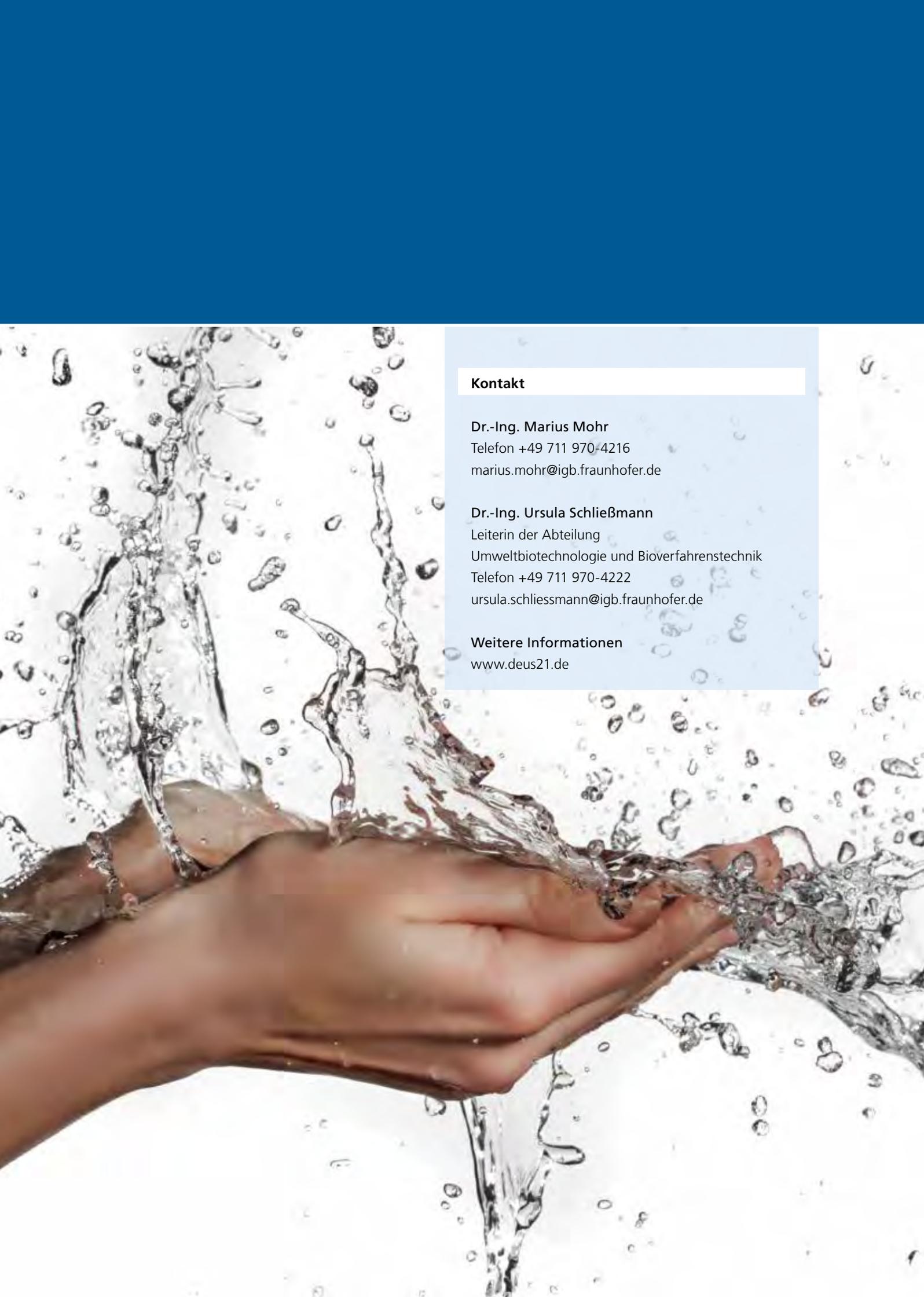
Partner aus der Wirtschaft waren die Firmen EnBW, Eisenmann, Kerafol, Gemü, Roediger, Prov und Bellmer.

Wir danken der Stadt Knittlingen und den Anwohnern des Neubaugebiets »Am Römerweg« für ihr Vertrauen und die gute Zusammenarbeit.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Kontakt

Dr.-Ing. Marius Mohr

Telefon +49 711 970-4216

marius.mohr@igb.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Ursula Schließmann

Leiterin der Abteilung

Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik

Telefon +49 711 970-4222

ursula.schliessmann@igb.fraunhofer.de

Weitere Informationen

www.deus21.de

Fraunhofer-Institut
für Grenzflächen- und
Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-4401
Fax +49 711 970-4200
info@igb.fraunhofer.de
www.igb.fraunhofer.de

Fraunhofer IGB Kurzprofil

Das Fraunhofer IGB entwickelt und optimiert Verfahren, Produkte und Technologien für die Geschäftsfelder Gesundheit, Chemie und Prozessindustrie sowie Umwelt und Energie. Wir verbinden höchste wissenschaftliche Qualität mit professionellem Know-how in unseren Kompetenzfeldern – stets mit Blick auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts. Kunden profitieren auch vom interdisziplinären Austausch zwischen den fünf FuE-Abteilungen in Stuttgart und den Institutsteilen an den Standorten Leuna und Straubing. Das konstruktive Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen am Fraunhofer IGB eröffnet neue Ansätze in Bereichen wie Medizintechnik, Nanotechnologie, industrieller Biotechnologie oder Umwelttechnologie. Das Fraunhofer IGB ist eines von 69 Instituten und Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft, Europas führender Organisation für angewandte Forschung.

www.igb.fraunhofer.de

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:

