

DEUS 21 – REGENERATIVES WASSERMANAGEMENT

ABWASSERREINIGUNG DURCH VERWERTUNG DER INHALTSSTOFFE







2

PARADIGMENWECHSEL GELUNGEN

ABWASSERREINIGUNG LIEFERT BIOGAS UND DÜNGER – REGENWASSER WIRD ZU PFLEGEWASSER

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.

Semizentrales Wasser- und Abwassermanagement

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

- Eine qualitätsgesicherte Regenwassernutzung
- Eine neue Form des Abwassertransports (Vakuumkanalisation)
- Eine semizentrale, nachhaltige anaerobe Abwasserreinigung

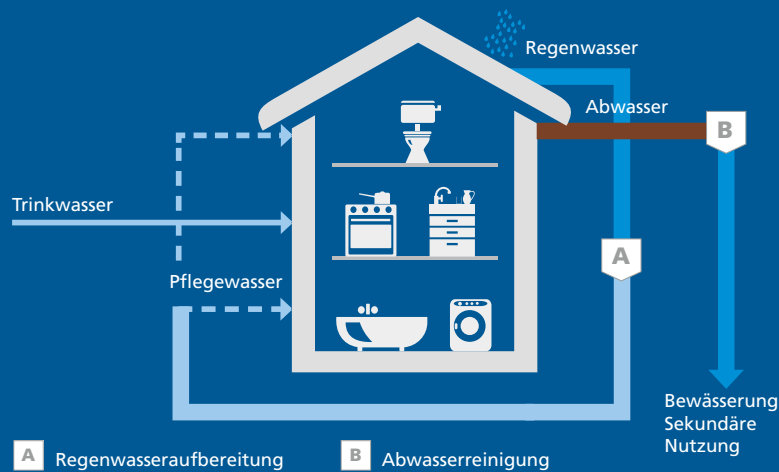
Vakuumsanitärsysteme wie in Flugzeug, Schiff und Bahn sind auch für Haushaltsabwasser verfügbar. Diese Systeme und die Nutzung von Regenwasser als Brauchwasser senken den Trinkwasserverbrauch und die Kosten drastisch. Das semizentrale Konzept ermöglicht zudem, die Leitungsquerschnitte der Abwasserkanäle 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« in einem Neubaugebiet in Knittlingen hat das Fraunhofer IGB gezeigt, dass diese Verwertungsstrategie in der Realität machbar ist.

1 *Blick ins Wasserhaus.*

2 *Vakuumstation.*



DEUS 21

PROJEKT DEUS 21 IN KNITTLINGEN

Seit 2006 entwickelt und erprobt 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. 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 derzeit ca. 175 Anwohnern reinigt und einfach erweitert werden kann, angefahren 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 integriert.

Das Regenwasser wird separat gesammelt, in unterirdischen Zisternen gespeichert und im »Wasserhaus« aufbereitet. Ziel ist es, hier Trinkwasserqualität zu erreichen, um das Regenwasser in einem separaten Netz an die Bewohner des Wohngebiets zu verteilen und damit einen großen Teil des Trinkwassers einzusparen. Genutzt werden soll das aufbereitete Regenwasser zur Toilettenspülung und Gartenbewässerung, aber auch für Wasch- und Spülmaschine sowie zum Waschen und Duschen. Zunächst wird das gesammelte Regenwasser noch über einen längeren Zeitraum untersucht sowie Verfahrenstechniken zur Aufbereitung getestet. Während dieser Zeit erhalten die Anwohner auch über die zweite Leitung Trinkwasser der Stadt Knittlingen.



REGENWASSERNUTZUNG

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 mit sich führt, nicht in die Zisternen gelangt. Damit gelingt es, für die meisten chemischen Parameter bereits im Rohwasser Trinkwasserqualität zu erreichen.

Verunreinigungen im Regenwasser

Im Zisternenwasser konnten jedoch einzelne Pflanzenschutzmittel detektiert werden, die wohl vor allem aus Dachabdichtungsmaterialien stammen. Speziell im Winter waren die Konzentrationen von Natrium und Chlorid im Zisternenwasser erhöht, was auf Streusalz zurückzuführen ist. Während der anderen Jahreszeiten weist das Zisternenwasser nur geringe Salzkonzentrationen auf und hat eine im Vergleich zu Trinkwasser geringe Härte. Da das Regenwasser über Oberflächen (Dächer und Straßen des Neubaugebiets) zur Zisterne läuft, gelangen zahlreiche Mikroorganismen ins Zisternenwasser. Ebenso werden durch die Vegetation organische und durch Bautätigkeiten anorganische Feststoffe in die Zisterne gespült.

Mehrstufiges Aufbereitungsverfahren

Durch mehrere Verfahrensschritte soll das Zisternenwasser so weit aufbereitet werden, dass es Trinkwasserqualität erreicht. Dabei werden zunächst durch einen Filter mit einer Porenweite von 1 µm noch 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 sollen hier durch Adsorption gebunden werden. Nun durchläuft das Wasser eine Ultrafiltrationsstufe, in der noch verbliebene feinste Partikel sowie Mikroorganismen zurückgehalten werden sollen. Am Ende soll eine UV-Lampe sicherstellen, dass das aufbereitete Regenwasser frei von Keimen ist.

Zur Reduktion des Salzgehalts sollen anstelle von aufwendiger Verfahrenstechnik einfache organisatorische Maßnahmen ergriffen werden, wie eine reduzierte Verwendung von Streusalz oder ein Verschließen der Zisternen bei entsprechenden Witterungsverhältnissen.

Aus einem Speicherbehälter kann das aufbereitete Wasser dann im Wohngebiet verteilt werden. Um eine Wiederverkeimung durch Stagnation zu verhindern, wird es in einer Ringleitung durch das Wohngebiet und wieder zurück in den Speicherbehälter geführt. Eine weitere UV-Lampe im Rücklauf beseitigt eventuell in den Leitungen gewachsene Keime.



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 nun ein Absetzbehälter (Schema Bild 3).

Vergärung der Feststoffe

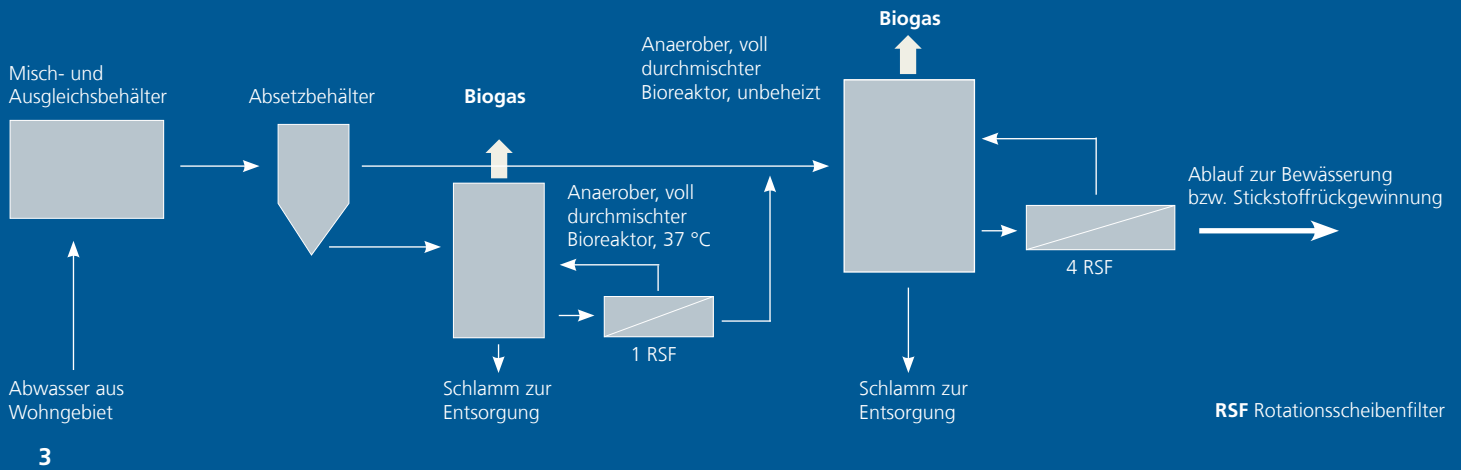
Die abgesetzten Feststoffe werden separat bei 37 °C nach dem am Fraunhofer IGB entwickelten Verfahren der Hochlastfaulung mit integrierter Mikrofiltration behandelt. Dabei werden bis zu 5000 Liter Biogas pro Tag produziert. Die hydraulische Verweilzeit im Reaktor beträgt etwa zehn Tage, die Verweilzeit 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 % 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, müssen die Mikroorganismen, die dies bewerkstelligen, zunächst herangezüchtet werden. Daher wurde die Belastung des Bioreaktors zunächst nur langsam gesteigert.

Hervorragende Reinigung – weniger Schlamm

Schon im Sommer 2009 (Reaktortemperaturen 22 bis 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 bis 19 °C) wurde kontinuierlich ein Grenzwert von 150 mg CSB/l unterschritten, obwohl die Methanbakterienkonzentration im Bioreak-



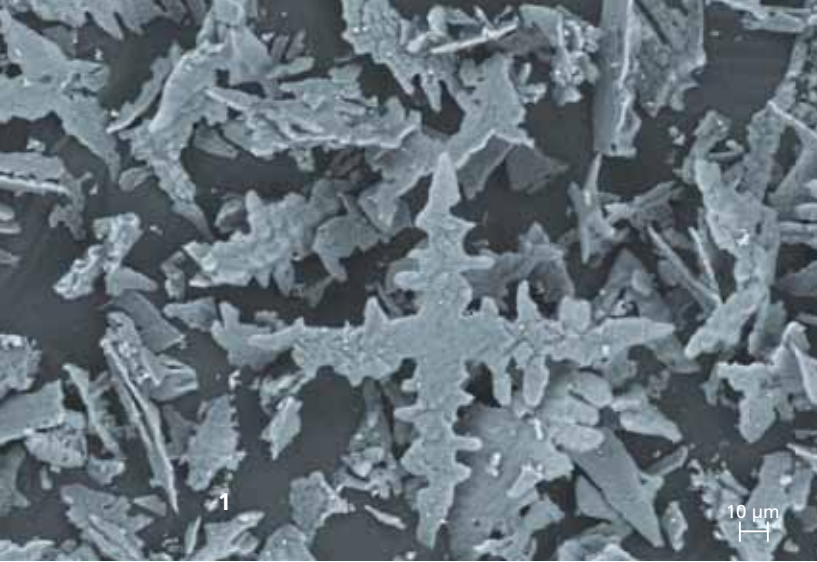
tor noch relativ niedrig war. Die minimalen Verweilzeiten des Abwassers im Bioreaktor betragen im Herbst/Winter 36 Stunden. Die Zulaufkonzentrationen liegen zwischen 400 und 1100 mg CSB/l, der durchschnittliche Abbaugrad lag zu den genannten Zeiträumen bei 85 %. Die maximale Biogasproduktion betrug knapp 2000 Liter pro Tag. Im Sommer betrug der Zuwachs der Biomasse in zwei Monaten knapp 5,5 kg (gemessen als Trockensubstanz), dies entspricht bei üblicher Entwässerung auf 25 % Trockensubstanzgehalt einem zu entsorgenden Schlammvolumen von 22 Litern. Das sind 10 % der beim Belebtschlammverfahren zu erwartenden Menge an Überschussschlamm. Die Membranfiltration ist seit Inbetriebnahme im März 2009 nur durch automatisches Rückspülen mit Filtrat gereinigt worden, eine erste chemische Reinigung findet im April 2010 statt.

Gewinnung von Biogas

Durch die rein anaerobe Verfahrenstechnik werden die organischen Inhaltsstoffe des Abwassers zum größten Teil zu Biogas umgesetzt. Nach den bisherigen Erfahrungen liegt die Biogasproduktion bei 40 bis 60 Litern pro Einwohner und Tag. Bei der herkömmlichen Abwasserreinigung wird durch die Schlammfäulung ein Biogasertrag von etwa 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 eine mindestens energieautarke Abwasserreinigung unter anaeroben Bedingungen 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.

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



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. Mit Hilfe eines elektrochemischen Prozesses werden Ammonium und Phosphat als Struvit (MAP, Magnesiumammoniumphosphat) ausgefällt (Bilde 1). Auf Grund seiner Zusammensetzung (Makronährstoffe N, P und Mg) und seiner Pflanzenverfügbarkeit ist MAP ein ausgezeichnete Dünger. Erste Fällungsexperimente mit Filtrat aus Knittlingen sind äußerst vielversprechend. Mit Hilfe dieser Technologie ist es ge-

lungen, die Phosphat-Konzentrationen im Ablauf um 93 % auf unter 1 mg/l zu senken. 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 werden. 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 Zeolith 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.



AUSBLICK

Mit zunehmender Methanbakterienkonzentration soll die Verweilzeit des Abwassers im Bioreaktor bis auf eine Größenordnung von zwölf Stunden reduziert werden. Daraufhin wird die Anlagentechnik weiter optimiert, insbesondere bezüglich Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit sowie Betriebsicherheit. Bei der Regenwasseraufbereitung werden die Untersuchungen fortgesetzt und weitere Technologien erprobt, so dass das Regenwasser zuverlässig in Trinkwasserqualität zur Verfügung gestellt werden kann. Die Prozesse zur Nährstoffrückgewinnung werden im dauerhaften Automatikbetrieb getestet und optimiert.

Grundlage für Anlagen in größerem Maßstab

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 semi-zentrales 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.

- 1 *MAP-Kristalle.*
- 2 *Anlage zur Stickstoffrückgewinnung.*
- 3 *Entnahme einer Filtratprobe.*

CHRONIK, FÖRDERUNG UND PARTNER

Spatenstich für das Demonstrationsvorhaben in Knittlingen war 2004. Im Oktober 2006 wurde die erste Pilotanlage zur anaeroben Abwasserreinigung, die für 50 Einwohnerwerte des neu erschlossenen Neubaugebiets ausgelegt war, offiziell eingeweiht und hiermit die Testphase zur Ermittlung exakter Auslegungsdaten und zur Optimierung der Technologien eingeleitet. 2008 ging eine technisch verbesserte Anlage in Betrieb, die heute das Wasser von 175 Anwohnern reinigt und 7000 Liter Biogas erzeugt.

Das Projekt »DEUS 21 – Dezentrale urbane Wasserinfrastruktursystem« 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.

Seit Januar 2009 fördert die Fraunhofer-Gesellschaft das Vorhaben in dem marktorientierten Vorlaufforschungsprojekt »InWasif – Zukunftsfähiges integriertes Wasserinfrastruktur- und -nutzungskonzept für Stadtquartiere«.

Partner aus der Wirtschaft sind 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

VORTEILE VON DEUS 21

- 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, Ammoniak- und Phosphatdünger gewonnen

Kontakt

Dipl.-Ing. Marius Mohr

Telefon +49 711 970-4216

marius.mohr@igb.fraunhofer.de

Prof. Dr. Walter Trösch

Stv. Institutsleiter und Leiter der Abteilung

Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik

Telefon +49 711 970-4220

walter.troesch@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

Institutsleiter
Prof. Dr. Thomas Hirth
Telefon +49 711 970-4400
thomas.hirth@igb.fraunhofer.de

Fraunhofer IGB Kurzprofil

Das Fraunhofer IGB entwickelt und optimiert Verfahren und Produkte für die Geschäftsfelder Medizin, Pharmazie, Chemie, Umwelt und Energie. Wir verbinden höchste wissenschaftliche Qualität mit professionellem Know-how in den Kompetenzfeldern Grenzflächentechnologie und Materialwissenschaft, Molekulare Biotechnologie, Physikalische Prozesstechnik, Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik sowie Zellsysteme – stets mit Blick auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts. Kunden profitieren auch vom konstruktiven Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen am IGB, das in Bereichen wie Medizintechnik, Nanotechnologie, industrieller Biotechnologie oder Abwasserreinigung neue Ansätze eröffnet. Mit mehr als 80 Forschungseinrichtungen in Deutschland ist die Fraunhofer-Gesellschaft Europas führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung.

www.igb.fraunhofer.de

Bildquellen: Rafael Kroetz