



# Energieeffiziente Kläranlagen und Biogasanlagen

Energetische und stoffliche Nutzung organischer Reststoffe



**Kürzere Verweilzeit –  
mehr Biogas –  
geringere Kosten!«**

*Kläranlage Edenkoben,  
© Verbandsgemeinde  
Edenkoben*



# Energie- und ressourcen- effiziente Kläranlagen und Biogasanlagen

---

Angesichts der Endlichkeit fossiler und biologischer Rohstoffe wird es für Unternehmen, Kommunen und Staaten immer wichtiger, vorhandene Ressourcen effizienter und intelligenter zu nutzen und Inhaltsstoffe nach dem Ansatz der Kreislaufwirtschaft für eine stoffliche oder energetische Nutzung zurückzugewinnen.

## Anaerobe Vergärung zu Biogas

Vergärungsprozesse finden unter anaeroben Bedingungen statt, das heißt unter Ausschluss von Luftsauerstoff. Die Vergärung läuft in verschiedenen Stufen ab, an denen jeweils unterschiedliche Bakterien beteiligt sind. Am Ende der anaeroben mikrobiellen Nahrungskette entsteht aus dem Kohlenstoffanteil der organischen Substanz immer ein Gemisch aus Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Methan ( $\text{CH}_4$ ) – Biogas.

Die Biogas-Anaerobtechnik wird, auch in technischen Dimensionen, schon lange angewandt, beispielsweise bei der Stabilisierung von Klärschlamm oder Gülle.

## Hochlastfaulung für verbesserten Abbaugrad und mehr Biogas

Für die Vergärung von Klärschlamm zu Biogas hat das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB ein besonders effizientes Hochlastverfahren entwickelt. 1994 wurde es erstmals auf der Kläranlage Leonberg in Betrieb genommen und inzwischen von mehreren kommunalen Kläranlagen erfolgreich betrieben.

Die Bilanz zeigt: Die Hochlastfaulung setzt den Schlamm sehr viel schneller und kostengünstiger zu Biogas um als herkömmliche Faultürme. Auch für die anaerobe Behandlung von industriellen Biomassereststoffen und in landwirtschaftlichen Biogasanlagen wurde die Hochlastfaulung erfolgreich eingesetzt.

### Wesentliche Vorteile der Hochlastfaulung

- Kürzere Verweilzeiten (5–10 Tage)
- Höhere Biogausausbeute
- Höherer Abbaugrad
- Kleinerer Faulraum
- Keine Schaumprobleme
- Bessere Entwässerbarkeit des ausgefaulten Schlamms
- Geringere Betriebs- und Entsorgungskosten



oben:  
Faultürme der  
Kläranlage Edenkoben,  
© Verbandsgemeinde  
Edenkoben

unten:  
Faulschlamm-speicher der  
Kläranlage Erbach

# Hochlastfaulung

## Das Verfahren



Das Verfahren wurde für die Effizienzsteigerung bei der Klärschlammfaulung entwickelt und war diesbezüglich Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten am Fraunhofer IGB. Das Hochlastverfahren zeichnet sich durch einen wesentlich verbesserten Wirkungsgrad, kurze Verweilzeiten und hohen Abbaugrad aus.

Es wird zur anaeroben Umsetzung organisch abbaubarer Substrate wie Klärschlamm, aber auch von Gülle, Bioabfall oder anderen organischen Reststoffen eingesetzt. Aufgrund der im Vergleich zu anderen Verfahren wesentlich erhöhten Biogasausbeute gewinnt es zunehmend an Attraktivität.

### Betriebsdaten des Verfahrens im Vergleich zur herkömmlichen Faulung

#### Kürzere Verweilzeit

Auch bei hohem Feststoffgehalt kann der Klärschlamm mit einer Verweilzeit von nur 5 bis 10 Tagen umgesetzt werden. Herkömmliche Faultürme werden mit durchschnittlich 20 bis 30 Tagen Verweilzeit betrieben. So werden organische Raumbelastungen von 8–10 kg oTR\*/m<sup>3</sup>·d statt 1–2 kg oTR/m<sup>3</sup>·d erreicht.

#### Höhere Biogasausbeute

Mit der Hochlastfaulung kann je nach Qualität der Rohschlämme die Biogasproduktion auf bis zu 23 Liter Biogas pro Einwohnerwert (EW) und Tag gesteigert werden. Mit einer herkömmlichen Faulung werden dagegen durchschnittlich nur 19,7 Liter Biogas pro Einwohnerwert und Tag erreicht [Haber Kern et al.; Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen Umweltbundesamt Texte Nr. 11/08, Dessau-Roßlau, März 2008].

Das Gas kann zur Energieversorgung der Anlage oder zur Trocknung des Klärschlammes genutzt oder als technisch und kommerziell verwertbarer Energieträger abgegeben werden.

#### Weniger Gärrückstände

Im Zuge der erhöhten Biogasproduktion reduziert die Hochlastfaulung auch den Gehalt an organischen Inhaltsstoffen – je nach spezifischer Verfahrenskombination um 50–70 Prozent. Der organische Anteil des Trockenrückstands beträgt nur noch weniger als 50 Prozent. Der Schlamm kann dadurch besser entwässert werden. So fallen weit geringere Schlamm mengen an, die günstig entsorgt werden können.

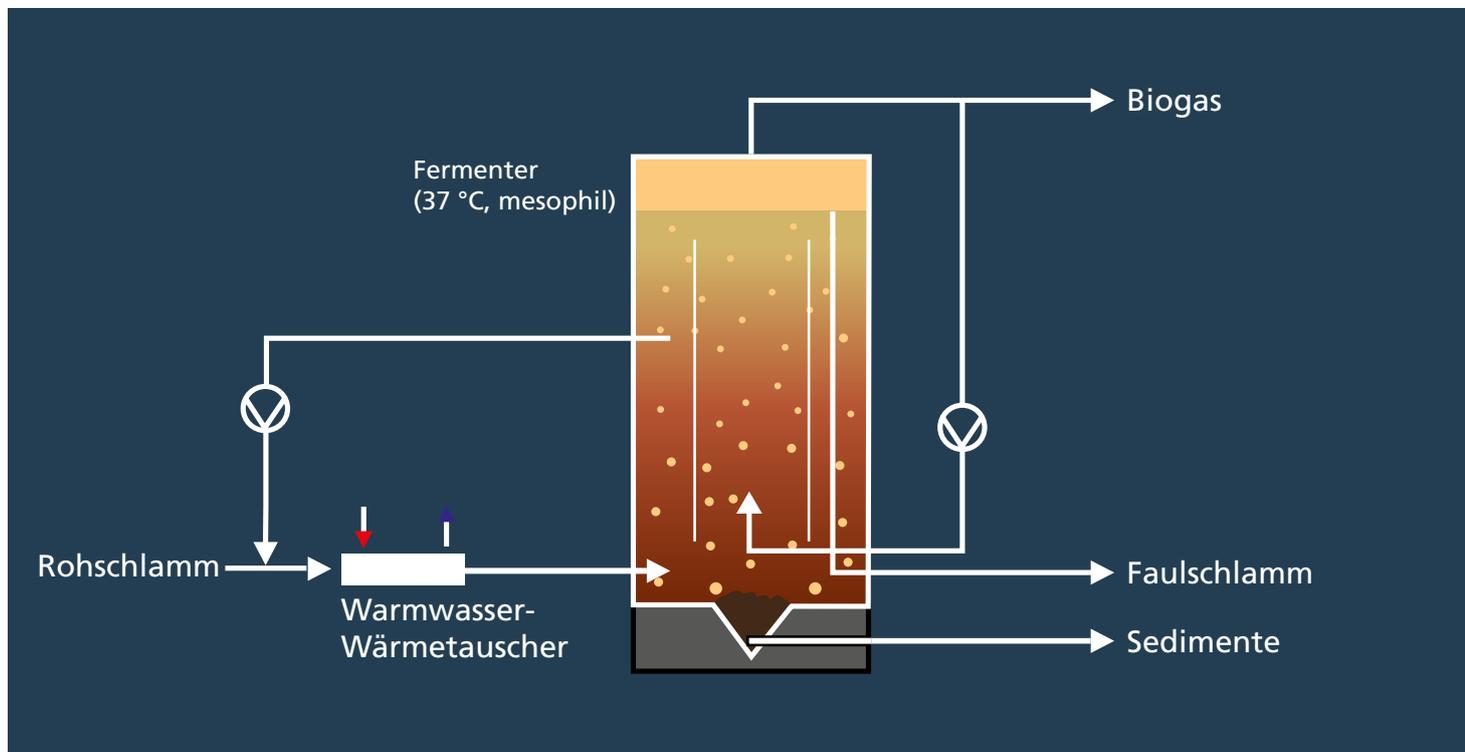


oben:  
Einstufige Anlage in Ilsfeld

unten:  
Hochlastfaulungsreaktor  
im Technikum des  
Fraunhofer IGB

### Entwässerung des Faulschlammes liefert nährstoffreiches Schlammwasser für Nährstoff-Recycling

Für eine weitergehende Nutzung bzw. Rückgewinnung von Inhaltsstoffen wird der Faulschlamm in einer Fest-Flüssig-Trennungsanlage, wie zum Beispiel in einer Kammerfilterpresse oder Zentrifuge, entwässert. Damit erhält man ein partikelfreies Schlammwasser, das den größten Teil der gelösten Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) enthält und somit direkt zur düngenden Bewässerung genutzt werden kann. Alternativ können Stickstoff und Phosphor als Dünger zurückgewonnen werden. Das Fraunhofer IGB hat verschiedene Technologien für eine Nährstoff-Rückgewinnung entwickelt.



Schema der Hochlastfaulung

\* oTR = organischer Trockenrückstand

# Anwendungen der anaeroben Vergärung

---



# Schlamm-Management auf Kläranlagen

---

Kläranlagen entfernen organische Inhaltsstoffe aus dem Abwasser. Verfault der dabei anfallende Schlamm, entsteht als Produkt Biogas. Allerdings verfügen nur gut ein Zehntel der über 9000 Kläranlagen in Deutschland über einen Faulturm. Vor allem kleinere Betreiber scheuen die Kosten, die durch den Neubau eines Faulturms entstehen. Stattdessen reichern sie den Klärschlamm im ohnehin vorhandenen Belebungsbecken mit Sauerstoff an und stabilisieren ihn. Die Belebungsbecken benötigen sehr viel Strom und machen die Kläranlagen zum größten kommunalen Stromverbraucher. Gleichzeitig geht ein enormes Potenzial an Energie verloren, da bei der aeroben Schlammstabilisierung kein nutzbares Biogas entsteht. Auch viele größere Kläranlagen, deren Faultürme mittlerweile veraltet sind, könnten mit moderner Technologie mehr Biogas produzieren und so Kosten- und Energieeffizienz verbessern.

## Eingeschränkte Entsorgungsmöglichkeiten

Die Entsorgungswege für Klärschlamm aus der kommunalen Abwasserreinigung wurden seitens des Gesetzgebers bereits eingeschränkt. Eine Deponierung ist nicht mehr möglich. Nach der Novellierung der Klärschlammverordnung 2017 dürfen große Kläranlagen (> 100 000 bzw. 50 000 EW) Klärschlamm nur noch bis 2029 bzw. 2032 als Dünger ausbringen. Die Verbrennung des Klärschlammes wird weiter an Bedeutung gewinnen, Preise für die Entsorgung steigen. Die Alternative, den Schlamm zu verbrennen, ist jedoch nicht nachhaltig, da feuchter Schlamm keinen positiven Beitrag zur regenerativen Energieerzeugung liefert. Die aerobe Schlammstabilisierung ist aufgrund des hohen Energiebedarfs teuer, oft unzureichend und für Kläranlagen > 10 000 EW keine adäquate Alternative.

## Intelligente Nutzung von Klärschlamm als Energieträger

Die am Fraunhofer IGB entwickelte Hochlastfaulung macht die Klärschlammfaulung zu einem Verfahren, das durch die effiziente Umsetzung der Klärschlammstoffe zu Biogas wesentlich zur Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz von Kläranlagen beitragen kann. Es ist deshalb auch ein geeignetes Verfahren für Kläranlagen mit 10 000 EW, die bisher den Schlamm mit hohem Strombedarf aerob stabilisieren.

Durch die Hochlastfaulung wird der Klärschlamm mit Nettoenergiegewinn stabilisiert, kann optimal entwässert und der Rest mit kleinstmöglichem Kostenaufwand thermisch entsorgt werden. Der regenerative Energieträger Biogas entsteht als Produkt. Mit dem gewonnenen Biogas kann der thermische Energiebedarf der Kläranlage gedeckt und über Kraft-Wärme-Kopplung weitere Kosten eingespart werden. Die Hochlastfaulung stellt deshalb auch betriebswirtschaftlich eine intelligente Alternative dar und verbessert die Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen deutlich.

## Energieeffizienz auch bei kleinen Kläranlagen

Am Beispiel einer Kläranlage für 28 000 Einwohner hat das Fraunhofer IGB in einer Kosten-Nutzen-Studie nachgewiesen, dass es sich auch für kleinere Klärwerke bis 30 000 EW, die bisher den Schlamm mit hohem energetischem Aufwand oft aerob stabilisieren, lohnt, auf das energieeffizientere Hochlastverfahren umzusteigen – selbst, wenn sie dafür in eine Schlammfaulung investieren müssen. Die jährlichen Entsorgungskosten von ca. 200 000 Euro für den Faulschlamm könnten um bis zu 50 000 Euro reduziert werden, wenn der Schlamm nicht aerob, sondern in einer Hochlastfaulung abgebaut werden würde.

Rund 60 Prozent der Organik werden nach dem Hochlastverfahren zu Biogas umgesetzt – damit ist die Ausbeute etwa ein Drittel höher als beim herkömmlichen Faulungsprozess. Das gewonnene Biogas lässt sich über Kraft-Wärme-Kopplung im Blockheizkraftwerk für den Betrieb der Anlage nutzen. Im Fallbeispiel sinken die Energiekosten durch Einsparungen für den Sauerstoffeintrag und die Eigenstromerzeugung um weitere 50 000 Euro jährlich.

*Die zweistufige Hochlastfaulung in Edenkoben erlaubt es, die Kläranlage flexibel an die hohe Abwasserfracht während der Weinlese anzupassen*  
© Verbandsgemeinde Edenkoben



# Unsere Vorgehensweise bis zur Implementierung

## Auslegungsdaten in Technikumsanlage

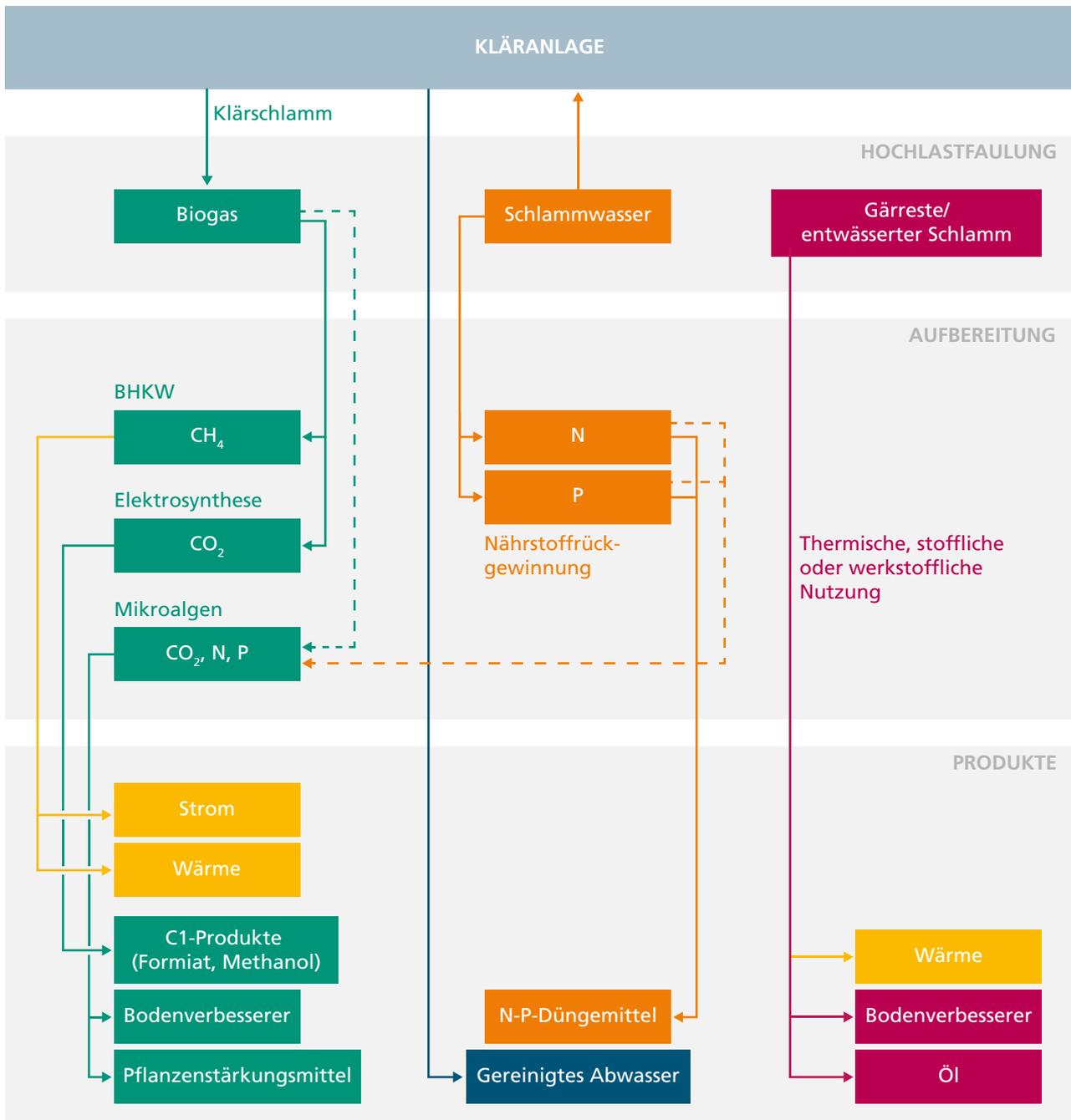
Hochlastfaulungen werden hinsichtlich ihrer Integration in den Gesamtprozess der Schlammbehandlung einer Kläranlage individuell dimensioniert und ausgeführt. Für die erfolgreiche Realisierung einer Hochlastfaulung untersuchen wir die Vergärbarkeit des Rohschlammes im Hochlastbetrieb daher in der Regel zuvor im Technikumsmaßstab. Die Experimente erfolgen in einer Versuchsanlage mit automatisierten 50-Liter-Reaktoren am Fraunhofer IGB. Anhand der hier gewonnenen Kenndaten konzipieren wir eine großtechnische Anlage und skalieren das Design auf einen industriellen Maßstab.

## Pilotanlage gewährleistet optimalen Know-how-Transfer

Zudem können wir das Verfahren der Hochlastfaulung im Pilotmaßstab auf der Kläranlage umsetzen. Die Untersuchungen werden in diesem Fall in einer Pilotanlage ausgeführt, die aus einem temperierbaren Biogasschlaufenreaktor aus Edelstahl mit einem Nutzvolumen von ca. 2 m<sup>3</sup> besteht. Dies bietet die Möglichkeit, den Betrieb einer Hochlastfaulung vor Ort zu erproben und dem Betreiber das Prozess-Know-how reibungslos zu übertragen, um die erfolgreiche Implementierung zu gewährleisten.



## DIE KLÄRANLAGE ALS BIOAFFINERIE



Vereinfachte Darstellung der Wertschöpfung in einer Abwasser-Bioraffinerie

# Die Kläranlage als Bioraffinerie

Die Kreislaufwirtschaft gilt als Schlüsselstrategie, um Ressourcen zu erhalten und die Klimaziele zu erreichen. Auch die Inhaltsstoffe im Abwasser einer Kläranlage lassen sich stofflich nutzen – wenn man es entsprechend aufbereitet. Dabei stehen die Nährstoffrückgewinnung und die Nutzung von CO<sub>2</sub> zur Herstellung von Folgeprodukten im Vordergrund. So hergestellte Produkte sollen in wertschöpfenden Prozessen als Ausgangsmaterialien eingesetzt werden, um eine lokale und nachhaltige Kreislaufwirtschaft realisieren zu können.

Unser Verfahren zur Hochlastfaulung legt die Grundlage für die Nutzbarmachung der Rest- und Abfallstoffe, da es den auf einer Kläranlage anfallenden Schlamm nicht nur zu Biogas als regenerativer Kohlenstoff- und Energiequelle umsetzt, sondern zudem mit dem Entwässerung des Faulschlammes ein nährstoffreiches »Schlammwasser« und mit dem Konzentrat kohlenstoffreiche Gärreste als weiter nutzbare Stoffströme liefert.

Das Schlammwasser ist reich an wertvollen Pflanzennährstoffen, allen voran Phosphor und Stickstoff. Das Fraunhofer IGB hat verschiedene Konzepte erarbeitet, um die Nährstoffe aus diesem bei der Entwässerung des Schlammes anfallenden Wasser zurückzugewinnen und als Dünger aufzuarbeiten. Alternativ kann das Schlammwasser als Wachstumsmedium zur Kultivierung von photosynthetisch, mit CO<sub>2</sub> wachsenden Mikroalgen genutzt werden, die z. B. pflanzenstimulierende Polysaccharide synthetisieren.

Dieser Ansatz wird seit 2021 in dem von der EU und vom Land Baden-Württemberg geförderten Projekt »RoKka – Rohstoffquelle Klärschlamm und Klimaschutz auf Kläranlagen« verfolgt.



*oben:  
Aus Abwasser zurückgewonnenes Struvit kann als langsam N und P freisetzender Dünger eingesetzt werden*

*unten:  
Auf der Kläranlage Erbach wird im Projekt RoKka eine Pilotanlage der Abwasser-Bioraffinerie aufgebaut*





## Biogas aus organischen Reststoffen

Auch in organischen Reststoffen und Bioabfällen steckt wertvolle Energie. Bei der Verwertung in Kompostierungsanlagen geht diese verloren; dazu ist die Kompostierung mit einem hohen energetischen Aufwand für die Belüftung des Kompostgutes verbunden. Eine energieeffiziente und kostensparende Alternative zur Nutzung und Entsorgung organischer Stoffe stellt auch hier die Vergärung dar.

### Biogas aus Abfällen – Alternative zu Erdgas

Biogas bzw. das hieraus aufgereinigte Biomethan könnte auch eine Alternative darstellen, um die Versorgungssicherheit mit Methan (»Erdgas«) sicherzustellen und internationale Abhängigkeiten zu reduzieren. Rund 9600 Biogasanlagen gibt es laut Angaben des Fachverbands Biogas derzeit in Deutschland. Mit einem Anteil von elf Prozent der erneuerbaren Stromerzeugung lieferten sie 2021 gut 50 Terawattstunden Strom – ebenso viel wie alle Photovoltaikanlagen in Deutschland

(Umweltbundesamt, auf Basis AGEE-Stat, Stand 02/2022). Damit ist Biogas eine wichtige speicherbare Ergänzung zu volatilem Strom aus Wind und Sonne.

In Deutschland wird Biogas heute noch vorwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugt. Dabei eignet sich die Vergärung hervorragend für alle holzarmen frischen und feuchten organischen Abfälle: von Gülle und Mist, über Grünschnitt und Gemüseabfälle aus der kommunalen Entsorgung bis hin zu Lebensmittelabfällen aus Handel und Industrie. Eine Förderung der flächendeckenden Nutzung dieser organischen Abfälle sollte Eingang in nationale Strategien zur nachhaltigen Nutzung biologischer Ressourcen finden, damit der Anbau von Energiepflanzen auf Ackerflächen reduziert werden kann. Auch für die landwirtschaftlichen Betreiber kleinerer Anlagen würden so wirtschaftliche Anreize geschaffen. Zuletzt wurden bereits funktionstüchtige Anlagen stillgelegt, da die EEG-Vergütung nach 20 Jahren Laufzeit entfällt.

## Effiziente anaerobe Vergärung organischer Reststoffe

Mit Vergärungsverfahren können direkt am Entstehungsort der Restbiomasse Anlagen betrieben werden, welche die Verwertung gut vergärbaren Stoffe zu Biogas gewährleisten. Auch das für die Effizienzsteigerung bei der Klärschlammfäulung entwickelte Hochlastverfahren verspricht für den Einsatz bei organischen Reststoffen wesentlich verbesserten Wirkungsgrad, kurze Verweilzeiten und hohen Abbaugrad sowie eine hohe Biogausausbeute.

### Vorteile der anaeroben Vergärungstechnologie

- Produktion von Biogas als Alternative zu fossilen Brennstoffen
- Beitrag zum Klimaschutz durch Reduktion von Treibhausgasemissionen
- Nutzung der Gärreste zur Bodenverbesserung und nachhaltigen Phosphorversorgung
- Inaktivierung von Unkrautsamen, Neutralisierung von Inhaltsstoffen (z. B. Antibiotika) und Hygienisierung der Reststoffe (mit thermophilen Verfahren bei ca. 55 °C)

## Prozessentwicklung – Wir machen mehr aus Reststoffen

Das Fraunhofer IGB entwickelt individuelle und angepasste Lösungen zur stofflichen und energetischen Nutzung von organischen Reststoffen, die in Industrie und Landwirtschaft als Nebenprodukte anfallen.

Hierzu untersuchen wir die fermentative Umsetzung der Reststoffe im Labormaßstab hinsichtlich ihres Biomethanpotenzials. Für die Auslegung des neuen Verfahrens entsprechend der Kundenvorgaben bewerten wir die verschiedenen Prozessparameter, ermitteln Schwachpunkte und optimieren den Prozess in Hinblick auf maximale Produktausbeute.

Bestehende Biogasanlagen bewerten und optimieren wir hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Energieeffizienz.

Mit einer technisch-wirtschaftlichen Analyse der Produktionsabfälle und Nebenprodukte beraten wir Betriebe, um anfallende Reststoffe jeweils optimal zu verwerten, etwa durch Kopplung der anaeroben Vergärung mit weiteren Umsetzungs- oder Rückgewinnungsschritten.

### Optimale Prozessführung

Für die Auslegung des Prozesses ist die Art und Zusammensetzung der Substrate entscheidend, da die Eigenschaften der Rohstoffe den größten Einfluss auf die Abbaudauer haben. Weitere wichtige Parameter, die wir für eine optimale Konversion der Rohstoffe zu Biomethan untersuchen, sind – neben der Prozess-temperatur – die Verweilzeit der Substrate und die organische Raumbelastung im Reaktor. Die Stabilität des biologischen Prozesses wird dabei vor allem durch die im Inokulum verfügbaren Mikroorganismen und das C/N-Verhältnis im Fütterungsregime beeinflusst, zudem durch die Verfügbarkeit von Spurenelementen. Auch Stoffwechselprodukte wie Ammoniak und flüchtige Fettsäuren oder Toxine müssen bei der Prozessführung berücksichtigt werden.

Eine umfassende Analytik sichert das Monitoring des Prozesses, seine Optimierung und die Verbesserung der Prozess- und Energieeffizienz der Anlage.

### Anaerob-Reaktortechnik

Charakteristisch für die anaerobe Umsetzung ist der geringe Zuwachs von Biomasse, da der Großteil der in den Substraten enthaltenen Energie in das Endprodukt Methan übergeht. Für eine Steigerung der Umsetzungsgeschwindigkeit muss die aktive Biomasse daher im Reaktor zurückgehalten und konzentriert werden. Dies kann durch Immobilisierung der Biomasse auf einem Trägermaterial in einem Festbettreaktor oder durch mechanische Rückhaltung in einem Membranbioreaktor geschehen.

Flüssige Rohstoffe können ohne weitere Vorbehandlung verwendet werden. Zum Einsatz kommen hierbei Suspensionsreaktoren oder Festbettreaktoren.



*Vergärungsversuche im Labor- und Technikumsmaßstab*



*Biogasanlage*

## Zusätzliche Wertschöpfung in Abfall-Bioraffinerie

Neben der energetischen Verwertung als Bio-Methan lassen sich organische Reststoffe auch stofflich verwerten. Durch die Kopplung der anaeroben Vergärung mit der biotechnologischen oder elektrochemischen Umwandlung von Inhaltsstoffen und  $\text{CO}_2$  nach dem Prinzip einer Bioraffinerie können zusätzlich wertschöpfende Produkte hergestellt werden, z. B.:

- Basischemikalien
- Algenbiomasse
- Papier und Biokunststoff aus Fasern und festen Rückständen
- Bio-Öl
- Aktivkohle und Biokohle
- Aminosäuren und andere organische Säuren
- Hochwertige organische Dünger, z. B. Struvit

Für Rohstoffe mit hohem Feststoffgehalt, z. B. die organische Fraktion kommunaler Feststoffabfälle, Lebensmittelabfälle und lignocellulosehaltige Biomasse, eignen sich anaerobe Feststoffreaktoren.

Bei faser- und lignocellulosehaltigen Rohstoffen führen längere Verweilzeiten und eine geeignete Vorbehandlung, beispielsweise mit verschiedenen mechanischen, biologischen oder thermochemischen Aufschlussverfahren, zu besseren Biogasausbeuten.

### Für Biomethanproduktion geeignete Substrate

- Lebensmittelabfälle
- Rinder-/Schweinegülle und Geflügelmist
- Abfälle/Rückstände aus der Getränke- und Lebensmittelindustrie
- Abfälle/Rückstände aus der Biokraftstoffproduktion
- Energiepflanzen, z. B. Mais, Becherpflanze (Silphium), Miscanthus (nach ausreichender Vorbehandlung), Zuckersorghum
- Kombination von verschiedenen Substraten

*Aus Gülle und Gärresten können wertvolle Phosphordünger (hinten), Stickstoffdünger (rechts) und Bodenverbesserer (vorne) gewonnen werden*



# Bedarfsorientierte Biogaserzeugung als Beitrag zur Energiewende



Um Schwankungen der Stromerzeugung aus Sonne und Wind besser ausgleichen zu können, hat das Fraunhofer IGB gemeinsam mit der Hochschule Hamm-Lippstadt in dem vom BMEL geförderten Projekt NextGenBiogas ein Verfahren entwickelt, mit dem Biogas flexibel und nach Bedarf erzeugt werden kann. Dazu wird der anaerobe Fermentationsprozess so betrieben, dass die an der Methanproduktion beteiligten Mikroorganismen schnell auf Veränderungen der Betriebsbedingungen reagieren können.

## Angewandtes Konzept

Der anaerobe Vergärungsprozess erfolgt in einem zweistufigen System. Die Säurebildung erfolgt in einer ersten, hydrolytischen Stufe, die Biogasbildung in der zweiten, methanogenen Stufe. Um im Bedarfsfall die Methanproduktion in der zweiten Stufe schnell hochfahren zu können, werden in der hydrolytischen Stufe leicht umsetzbare organische Säuren und Alkohole als Speichermedium erzeugt.

Die optimalen Bedingungen für eine schnelle und effiziente Säureproduktion und damit die höchste Methanausbeute wurden in Laboruntersuchungen ermittelt: Die höchste

Säurebildung wurde bei einer Temperatur von 51 °C, einem pH-Wert von 5,5 und einem Verhältnis von zerkleinerter Mais-silage zu Rindergülle von 50:50 erreicht. In der methanogenen Phase wurden verschiedene Szenarien der flexiblen Fütterung getestet, um die schnellste Erholung der Mikroorganismen und die höchste Effizienz der Biogasproduktion nach ausgewählten Hungerphasen zu erreichen.

## Prozessregulierung durch mikrobiellen Ansatz

Mit Metagenom- und Metatranskriptomanalysen des Inokulums und von Proben aus dem zweistufigen System konnten wir die jeweils beteiligten Spezies identifizieren. Dies ermöglicht es, den Prozess durch ein gezieltes Animpfen und Anpassen der Kultivierungsbedingungen zu steuern.

# Referenzen

## Schlammfaulung auf Kläranlagen

Die Hochlastfaulung wird derzeit von zehn kommunalen Klärwerken in Baden-Württemberg genutzt:

- **Klärwerk Mittleres Glemstal**, Leonberg, 1994: zweistufige Hochlastfaulung (HLF)
- **Klärwerk Heidelberg**, 2001: Erweiterung der eiförmigen Faultürme um eine vorgeschaltete Hochlaststufe, ohne die Entsorgungslinie außer Kraft zu setzen
- **Klärwerk Tauberbischofsheim**: zweistufige HLF
- **Klärwerk AZV Mittleres Wutachtal**, Schwerzen, 2007: einstufige Hochlastfaulung für Kläranlage mit 10 000 EW
- **Gruppenkläranlage Schozachtal**, Ilsfeld, 2008: einstufige Hochlastfaulung für 35 000 EW
- **Klärwerk ZWA Bad Dürrenberg**, 2012: einstufige Hochlastfaulung für Auslastung von 26 000 EW
- **Kläranlage Edenkoben**, 2016: zweistufige Hochlastfaulung für ca. 7000 EW
- **Kläranlage Erbach**, 2017: Hochlastfaulturm mit einer Auslastung von ca. 25 000 EW
- **Kläranlage Leipheim**, 2018: einstufige Hochlastfaulung zur Modernisierung und Erweiterung von 16 000 EW auf 20 000 EW
- **Zweckverband Klärwerk Steinhäule**, Ulm, 2020–2022: Pilotanlage zur Hochlastfaulung

## Biogasanlagen

### NextGenBiogas – Flexible Bioenergieerzeugung zur Stabilisierung der Stromnetze

Förderung: BMELV | Laufzeit: Februar 2019–März 2022

Im Rahmen des Verbundprojekts wurde ein flexibles Verfahren zur bedarfsgerechten Erzeugung von Biogas entwickelt – als Schlüssel für eine erfolgreiche Integration der Biogaserzeugung in das regenerative Energiesystem.

### HoLaFlor – Effizienzsteigerung von Biogasanlagen durch Etablieren der Hochlastfaulung (am Beispiel von Mais) mit Nachweis der Mikroorganismenflora

Förderung: BMEL | Laufzeit: Oktober 2015–Dezember 2018

Hier haben wir eine Biogasanlage im Hochlastverfahren im Technikumsmaßstab betrieben und mit einer Referenzanlage in herkömmlicher Verfahrensweise verglichen. Wir konnten zeigen, dass durch eine geeignete Anlagentechnik Biogasanlagen mit deutlich kürzeren Verweilzeiten realisiert und dadurch zwei- bis vierfach höhere Methanproduktivitäten erreicht werden können als im Betrieb mit herkömmlicher Verfahrensweise und langen Verweilzeiten.



### **MOST – Modellbasierte Prozesssteuerung von Biogasanlagen: Praxistests**

Förderung: BMBF | Laufzeit: Oktober 2013–Dezember 2017  
Ein Ziel des Projekts war es, die Betriebssicherheit von Biogasanlagen durch frühes Erkennen einer Betriebsstörung zu erhöhen. Dafür wurden im Technikumsmaßstab verschiedene Betriebssituationen experimentell nachgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch rechtzeitiges Reagieren die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen erhöht werden kann.

### **GOBi – Ganzheitliche Optimierung der Biogasprozesskette**

Förderung: BMBF | Laufzeit: Juni 2013–Dezember 2016  
Ziel des Projekts war es, die gesamte Prozesskette der Biogasproduktion – vom Anbau der Pflanzen bis zur Erhöhung der Ausbeute an Biogas – mit einem ganzheitlichen Ansatz zu optimieren und dabei die Biomasse der eingesetzten Pflanzen möglichst vollständig zu nutzen.

## **Organische Reststoffe**

### **En-X-Olive – Nutzung von Reststoffen aus der Olivenölproduktion**

Förderung: EU | Laufzeit: November 2008–Oktober 2011  
Hier haben wir zusammen mit Partnern aus Spanien, Italien, Griechenland und Frankreich die Gewinnung von Biogas, Polyphenolen und Düngemitteln aus Rückständen der Olivenölproduktion erforscht und demonstriert.

## **Abwasser-Bioraffinerie**

### **RoKka – Rohstoffquelle Klärschlamm und Klimaschutz auf Kläranlagen**

Förderung: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, kofinanziert von der EU (EFRE)  
Laufzeit: Oktober 2021–März 2024  
Dieses Projekt soll die Trendwende zu einer klimafreundlichen Kläranlage durch eine wertstoffzentrierte Verknüpfung verschiedener innovativer Verfahren vorantreiben.



*von links nach rechts:*

*Faulturm der Kläranlage  
Bad Dürrenberg*

*RoKka-Projektteam vor der  
Kläranlage Erbach (© Umwelt-  
technik BW GmbH)*

*HoLaFlor: Biogasanlage  
im Hochlastverfahren im  
Technikumsmaßstab*

# Leistungsangebot

---

Das Fraunhofer IGB entwickelt seit über 40 Jahren aerobe und anaerobe biotechnologische Verfahren für die Aufbereitung von Wasser und Abfall – von den mikrobiologischen Grundlagen bis hin zur Anlage im Technikums- und Pilotmaßstab.

## Integrierter Ansatz: Energiegewinnung und Nährstoffrückgewinnung

Ein Schwerpunkt dabei ist das Stoffrecycling. Damit sind wir der Ansprechpartner für Kommunen und Industrieunternehmen, die die Abfallentsorgung und Abwasserreinigung mit der Nutzung organischer Reststoffe verbinden wollen. Für die Nährstoffrückgewinnung der bei der Hochlastvergärung anfallenden flüssigen und festen Rückstände haben wir ebenfalls verschiedene Technologien entwickelt.

Wir beraten Sie gern, wie Sie Ihre Reststoffe optimal und ganzheitlich verwerten können! Hierzu arbeiten wir am Fraunhofer IGB mit anderen Fachabteilungen zusammen.

## Skalierung vom Technikums- bis zum Industriemaßstab

In unseren Technika untersuchen wir die Vergärbarkeit verschiedener biogener Reststoffe im Labor- und Technikumsmaßstab und entwickeln Konzepte für die großtechnische Umsetzung. Basic- und Detail-Engineering auf Basis von Fraunhofer-Patenten werden durch unsere industriellen Partner aus dem Anlagenbau bewerkstelligt.

## Pilotanlage für Know-how-Transfer

Um eine reibungslose Übertragung des Know-hows an die Betreiber und eine erfolgreiche Implementierung zu gewährleisten, können wir das Hochlastverfahren auch immer zunächst im Pilotmaßstab umsetzen und vor Ort betreiben.

## Leistungsangebot im Überblick

### Analytische Bestimmungen

- Umfassende Analytik (chemische und biologische Parameter)
- Charakterisierung von Feststoffen und Substraten: Qualitative und quantitative Biogas-Analytik, Analytik von Inhaltsstoffen von Substraten

### Studien

- Machbarkeitsuntersuchungen zur Produktion von Biogas aus Reststoffen
- Analyse von Kläranlagen und Biogasanlagen zur Steigerung der Energieeffizienz
- Spezifische Analyse von Prozessen mit dem Ziel der Verfahrensverbesserungen: Beheben von Störungen, Steigerung der Effizienz, Prozess-Optimierungen
- Potenzialermittlung zur Leistungssteigerung von Prozessen, z. B. Abwasserreinigung, Biogasanlagen, Klärschlammfäulung

### Laboruntersuchungen

- Untersuchungen zur Klärschlammvergärung für die Ermittlung von Auslegungsparametern
- Durchführung von Gärtests (Untersuchung der Vergärbarkeit)
- Quantifizierung der Biogausbeute von Substraten/ Cosubstraten
- Verfahrensentwicklung zur anaeroben Behandlung von organischen Reststoffen, z. B. aus der Landwirtschaft, der Lebensmittelverarbeitung und -produktion
- Verfahrensentwicklung zur Produktion von Wertstoffen/ Biogas aus Reststoffen: Ermittlung von Auslegungsparametern im Technikumsmaßstab

### Implementierung in der Industrie

- Erarbeitung von Planungskonzepten zur Realisierung der Hochlastfäulung im technischen Maßstab
- Wissenschaftliche Begleitung bei der Inbetriebnahme von Prozessen im technischen Maßstab
- Technische Umsetzung in den Pilotmaßstab und Betrieb vor Ort
- Technisch-wissenschaftliche Beratung zur Verfahrensverbesserung bzw. Inbetriebnahme von Anlagen
- Individuelle, kostensparende Erweiterung von Kläranlagen



## Kontakt

---

Bitte kontaktieren Sie unser Team unter [biogas@igb.fraunhofer.de](mailto:biogas@igb.fraunhofer.de).

Dr.-Ing. Marius Mohr  
Leiter Innovationsfeld  
Wassertechnologien und  
Wertstoffrückgewinnung  
Tel. +49 711 970-4216  
[marius.mohr@igb.fraunhofer.de](mailto:marius.mohr@igb.fraunhofer.de)

Diego Eufrazio Lucio M. Sc.  
Innovationsfeld Wassertechnologien  
und Wertstoffrückgewinnung (Kläranlagen)  
Tel. +49 711 970-4124  
[diego.eufrazio.lucio@igb.fraunhofer.de](mailto:diego.eufrazio.lucio@igb.fraunhofer.de)

Ievgeniia Morozova M. Sc.  
Innovationsfeld Wassertechnologien  
und Wertstoffrückgewinnung  
(Biogasanlagen)  
Tel. +49 711 970-4275  
[ievgeniia.morozova@igb.fraunhofer.de](mailto:ievgeniia.morozova@igb.fraunhofer.de)

# Wir verbinden Biologie und Technik

Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB entwickelt und optimiert Verfahren, Technologien und Produkte für Gesundheit, nachhaltige Chemie, Umwelt und Klimaschutz. Dabei setzen wir auf die Kombination biologischer und verfahrenstechnischer Kompetenzen, um Lösungen für eine auf den Patienten zugeschnittene Gesundheitsversorgung, eine nachhaltige Bioökonomie sowie eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft zu erarbeiten. Unseren Kunden bieten wir Forschungsleistungen von der Machbarkeitsstudie bis zur anwendungsreifen Entwicklung, ergänzt durch ein breites Spektrum an Analyse- und Prüfleistungen. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts.

## Kontakt

---

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

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

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:

