

Biologische Methanisierung aus technischer Sicht



www.biogas-forum-bayern.de/bif49

Biogas Forum Bayern, Verfasser:

R. Kissel
M. Lebuhn
LfL

K. Koch
TUM

F. Popp
Electrochaea
GmbH

M. Burkhardt, M. Tietze,
H. Hilse
GICON®-Großmann Inge-
nieur Consult GmbH

R. Böhm
O. Stutzenberger
Kanadevia Inova
Schmack GmbH

S. Schneller
MicroPyros
GmbH

Foren der ALB Bayern e.V.

Die ALB Bayern e.V. ist ein offiziell anerkannter, gemeinnützig tätiger, eingetragener Verein mit Mitgliedern aus Landwirtschaft, Wissenschaft, Beratung und den landwirtschaftlichen Organisationen. Weiterhin sind die staatliche Verwaltung, Firmen sowie Dienstleistungsunternehmen aus Industrie, Handel, Gewerbe sowie dem Umweltbereich vertreten.

Die ALB unterstützt die Landwirtschaft mit Wissensvermittlung in den Themenbereichen Bauen in der Landwirtschaft, Bewässerung, Biogas und Landtechnik. Hierzu handelt sie als neutraler Mittler und Bindeglied zwischen landwirtschaftlicher Praxis, Forschung, Umwelt, staatlicher Verwaltung, Gewerbe und Industrie.

Für umfassende Informationen zur umweltschonenden und effizienten Anwendung in der Praxis

werden zu den einzelnen Tätigkeitsbereichen Foren mit folgenden Aufgaben organisiert:

- ▶ Zusammenführen des aktuellen Wissensstandes,
- ▶ Reflektieren mit allen an der Thematik Beteiligten,
- ▶ Erarbeiten/Bekanntmachen konsensfähiger Lösungen

Foren der ALB Bayern e.V.:

- ▶ Bau Forum Bayern (BaF),
Leitung: Jochen Simon, LfL-ILT
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF),
Leitung Dr. Martin Müller
- ▶ Biogas Forum Bayern (BiF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum Bayern (LaF),
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL-ILT

Förderer



Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Impressum

Herausgeber Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon 08161 / 887-0078

Telefax 08161 / 887-3957

E-Mail info@alb-bayern.de

Internet www.alb-bayern.de

1. Auflage 2025

© ALB Alle Rechte vorbehalten

Titelfoto Limeco

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Produktion von Biomethan	4
2.1 CO ₂ -Abtrennung	4
2.2 Biogas Aufbereitung über Methanisierung (biologisch oder katalytisch).....	4
3. Herstellerkonzepte zur biologischen Methanisierung	6
3.1 Electrochaea GmbH.....	6
3.1.1 Beschreibung des Verfahrens	6
3.1.2 Verfahrensschema	7
3.1.3 Technologiereifegrad	7
3.2 GICON®-Großmann Ingenieur Consult GmbH	8
3.2.1 Beschreibung des Verfahrens	8
3.2.2 Verfahrensschema	10
3.2.3 Technologiereifegrad.....	10
3.2.4 Referenzanlagen.....	11
3.3 Kanadevia Inova Schmack GmbH.....	12
3.3.1 Beschreibung des Verfahrens.....	12
3.3.2 Verfahrensschema	12
3.3.3 Technologiereifegrad	13
3.3.4 Referenzanlagen	13
3.4 MicroPyros BioEnerTec GmbH (Pietro Fiorentini Group).....	16
3.4.1 Beschreibung des Verfahrens.....	16
3.4.2 Technologiereifegrad	16
3.4.3 Referenzanlage BioFARM	17
4. Schlusswort	18

1. Einführung

Unter „Power-to-gas“ versteht man die Umwandlung von elektrischer Energie in einen gasförmigen und speicherbaren Energieträger. Da die Energiewende durch den massiven Ausbau der Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen wie Windkraft und Photovoltaik-Anlagen umgesetzt wird, gewinnen Speicher zunehmend an Bedeutung. Mit der Technologie „Power-to-gas“ kann die Abregelung von Stromerzeugungsanlagen bei besonders günstiger Witterung verhindert werden. Sie ermöglicht so die Nutzung von erneuerbarer elektrischer Leistung, die andernfalls gar nicht erst erzeugt worden wäre („Überschussstrom“).

Für die Biogasproduktion eröffnet sich hierdurch die Möglichkeit, das erzeugte Rohbiogas mit solcher „Überschussenergie“ relativ günstig auf Erdgasqualität ($> 95\%$ CH_4 -Gehalt nach DVGW 260) aufzubereiten, wodurch sich das Einsatzfeld des erzeugten Gases deutlich erweitert. Hochkalorisches Biomethan kann dann beispielsweise in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden, ist aber auch nutzbar als Kraftstoff (Mobilität) oder Rohstoff für die chemische Industrie. Natürlich lässt es sich auch weiterhin in BHKW verstromen, wobei der höhere Methangehalt für eine bessere Effizienz des Motors sorgt.

2. Produktion von Biomethan

Für die Gewinnung von Methangas aus Biogas gibt es im Prinzip zwei wichtige Verfahrensweisen: Die erste ist die Abtrennung von CO_2 , die zweite die Methananreicherung durch die Umsetzung von CO- oder CO_2 -haltigen Gasen mit

H_2 zu Wasser und CH_4 . Zu diesem Thema wurde vom DBFZ ein sehr informatives und detailliertes Fokusheft mit dem Titel „[Methanisierung](#)“ veröffentlicht.

2.1 CO_2 - Abtrennung

Für die „Veredelung“ von Biogas auf Erdgasqualität durch Abtrennung des CO_2 gibt es verschiedene technische Lösungen, die in einer Broschüre der FNR detailliert beschrieben sind „[Leitfaden Biogasaufbereitung und -einspeisung](#)“. Bei allen dort beschriebenen Verfahren werden die einzel-

nen Bestandteile des Biogases voneinander getrennt, was einen hohen technischen Aufwand erfordert. Derzeit gibt es in Deutschland rund 250 Anlagen, die mit solchen Verfahren zusammen eine stündliche Einspeisekapazität von ca. 270.000 Normkubikmeter CH_4 aufweisen.

2.2 Biogasaufbereitung über Methanisierung (biologisch oder katalytisch)

Bei der Methanisierung wird das CO_2 nicht abgeschieden, sondern in CH_4 umgewandelt und so der Nutzungsgrad des Kohlenstoffs erhöht. Hier wird zwischen katalytischen und biologischen Verfahren unterschieden. Für beide ist extern bereitgestellter Wasserstoff erforderlich, der in der Regel über eine Elektrolyseanlage aus Wasser und elektrischer Energie gewonnen wird. Wich-

tig ist, dass dieser Prozess an einer Biogasanlage nur dann sinnvoll anzuwenden ist, wenn für die Elektrolyse kostengünstiger Strom zur Verfügung gestellt werden kann. Dies ist der Fall, wenn ein Überangebot zu sinkenden Bezugspreisen führt, „Überschussstrom“ generiert und genutzt werden kann oder dauerhaft günstiger erneuerbarer Strom an einem Standort verfügbar ist.

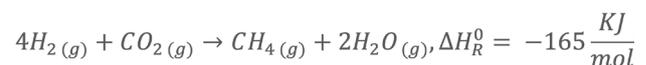
Bei der katalytischen Methanisierung erfolgt die Reaktion von CO_2 und H_2 zu Methan und Wasser an einem Katalysator, der in einem separaten Behälter als Festbettreaktor ausgestaltet sein kann. Dafür kommen i.d.R. Nickelkatalysatoren zum Einsatz, die bei Temperaturen von 300 bis 600°C und Drücken von bis zu 100 bar arbeiten. Der katalytische Prozess stellt dabei entsprechende Anforderungen an das Rohgas, wobei insbesondere der Gehalt an Schwefelwasserstoff (H_2S) nur noch im einstelligen ppm-Bereich liegen sollte, um eine nachhaltige Schädigung des empfindlichen Nickelkatalysators zu vermeiden.

Bei der biologischen Methanisierung sorgen methanogene Archaeen für die Umsetzung von CO_2 (ggf. auch CO) und Wasserstoff. Die grundlegende physikalische und damit ingenieurtechnische Herausforderung besteht darin, trotz der relativ geringen Löslichkeit von H_2 in Wasser eine hohe Verfügbarkeit des Wasserstoffs für den Stoffwechsel der Mikroorganismen zu erreichen. Die Effektivität des Stoffaustausches ist abhängig von Druck, Temperatur, Verweilzeit und der Art der eingesetzten Mikroorganismen. Diese Betriebsparameter sind entscheidend für die Umsatzraten des Gesamtprozesses. Wird der Wasserstoff direkt in einen Biogasfermenter eingebracht (in-situ-Verfahren), ist die Methanbildungsrate gering. Deshalb kann mit diesem System allein kein einspeisefähiges Gas produziert werden. Effektiver verläuft die Methanisierung in externen Behältern (ex-situ-Verfahren), in denen die methanogenen Archaeen als Rein- oder Mischkultur den Wasserstoff und das im Rohbiogas enthaltene CO_2 unter kontrollierten Bedingungen zu CH_4 umwandeln. So kann einspeisefähiges Biomethan erzeugt werden.

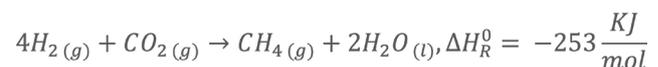
Auf biologisch/biochemischem Wege liegt gemäß Gleichung 1 (s. unten) eine Reaktion von H_2 und CO_2 zu Methan und Wasser vor. Diese sogenannte hydrogenotrophe Methanogenese ist eine Teilreaktion des mikrobiellen anaeroben Abbaus organischer Verbindungen, wie sie auch in klassischen Fermentern zur Biogasbildung stattfindet. Die negative Reaktionsenthalpie ΔH_R^0

besagt, dass bei der Reaktion prinzipiell Energie frei wird. Wenn das entstehende Wasser nach der Reaktion kondensiert ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$), entsteht zusätzlich die sog. Kondensationsenthalpie. Da es sich um einen mikrobiologischen Prozess handelt, der von methanogenen Archaeen durchgeführt wird, ist davon auszugehen, dass diese auch versuchen werden, möglichst viel der freiwerdenden Energie für sich selbst zu nutzen, insbesondere für den Erhaltungsstoffwechsel und die Zellteilung. Die restliche Energie wird dann in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben, wie dies auch schon in großtechnischen Anlagen beobachtet wurde. Welcher Anteil der zur Verfügung stehenden Energie durch die Biomasse konsumiert oder entsprechend als Wärme frei wird, hängt stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen ab und ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

Gleichung 1:



Gleichung 2:



Einige der von verschiedenen Herstellern angebotenen Verfahren zur biologischen Methanisierung werden in dieser Fachinformation näher beschrieben.

3. Herstellerkonzepte zur biologischen Methanisierung

Im folgenden Kapitel werden unterschiedliche technologische Lösungen zur biologischen Methanisierung vorgestellt, die von verschiedenen Firmen erforscht und mittlerweile auch angeboten werden. Es handelt sich ausschließ-

lich um ex-situ Verfahren von vier Anbietern. Die einzelnen Methoden werden in alphabetischer Reihenfolge beschrieben. Es handelt sich ausschließlich um Firmenaussagen und es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

3.1 Electrochaea GmbH

Electrochaea bietet als Energieunternehmen eine Lösung zur Speicherung von fluktuierender erneuerbarer Energie und die Herstellung von synthetischem Methan mit Hilfe eines pa-

tentierten planktonischen Biokatalysators. Dieser arbeitet in einem Rührkessel mit optimiertem Design, um hohe Gasumsatzraten bei geringem Flächenbedarf zu ermöglichen.

3.1.1 Beschreibung des Verfahrens

Der biologische Katalysator ist widerstandsfähig gegenüber in der CO_2 -Quelle enthaltenen Verunreinigungen, was das Einsatzspektrum deutlich vergrößert und eine Reinigung unnötig macht. Bereits getestet wurde der Einsatz von Fermentationsgasen aus der alkoholischen Gärung bspw. in Brauereien, Biogase aus Biogas- oder Kläranlagen, Geothermiegase, Depo-niegase sowie aufbereitetes CO_2 aus Verbrennungs- und anderen industriellen Prozessen. Durch die Selbstregeneration des Katalysators

ist der Wartungsaufwand gering. Das Verfahren arbeitet bei Temperaturen von 65°C und niedrigem Druck (bis zu 10 bar). Dies ermöglicht eine kostengünstige und kompakte Anlagentechnologie mit relativ geringen sicherheitstechnischen Anforderungen. Der verwendete Archaeestamm (Bild 1) arbeitet nach Inbetriebnahme innerhalb von wenigen Tagen bei voller Leistung, ist robust und reproduziert sich kontinuierlich. Das System liefert Produktgasqualitäten mit Methangehalten von 97 %.

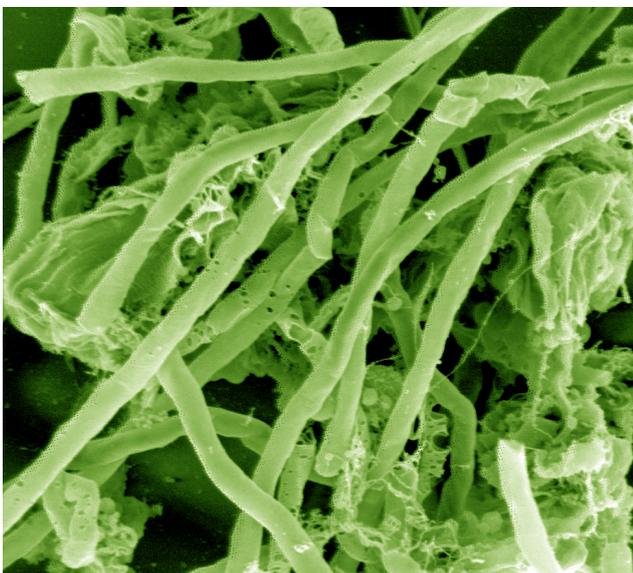


Bild 1: Archaeae
(Quelle: Prof. Klingl)

3.1.2 Verfahrensschema

In Abb. 1 sind die einzelnen Verfahrensschritte sowie die beteiligten Anlagenkomponenten schematisch dargestellt

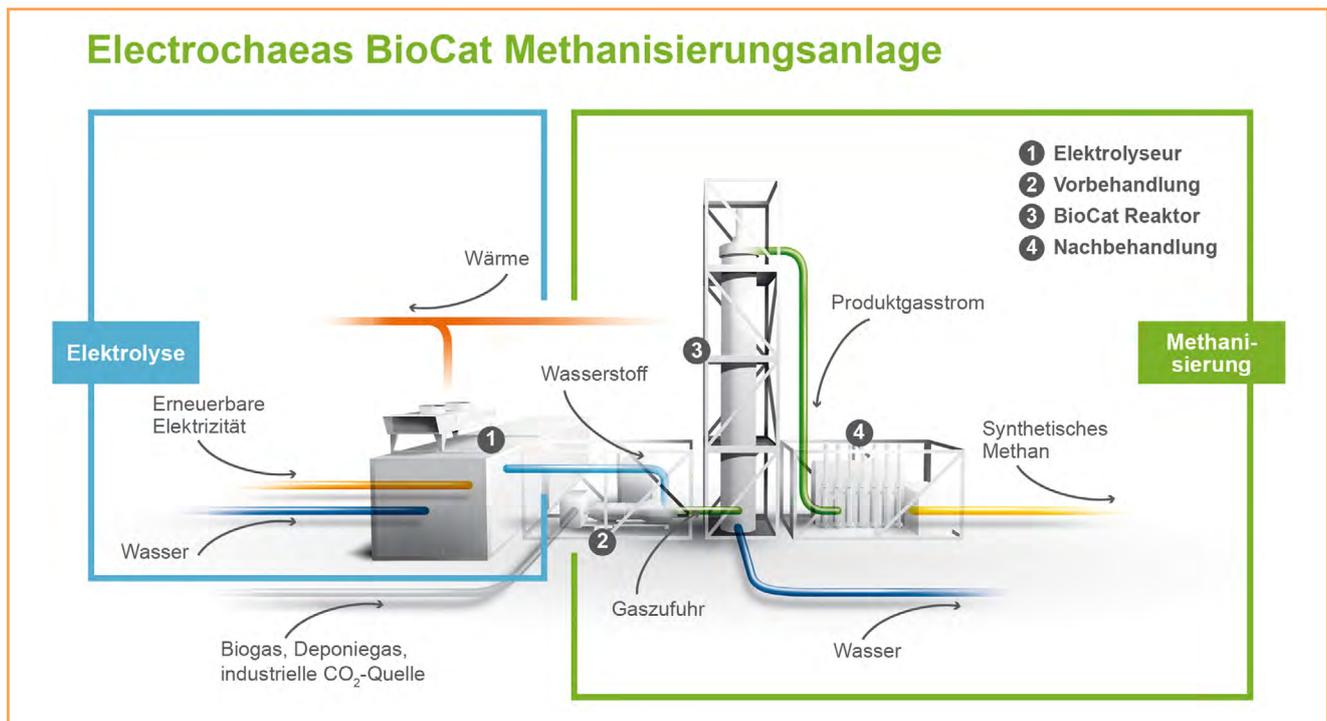


Abb. 1: Prinzipdarstellung der Power-to-Gas-Anlage mit biologischer Methanisierung von Electrochaegas

3.1.3 Technologiereifegrad

Das Verfahren wurde in Anlagen von 1 bzw. 0,7 MW elektrischer Eingangsleistung in Dänemark und der Schweiz über einen Betriebszeitraum von mehreren tausend Betriebsstunden erfolgreich validiert, inklusive der Gaseinspeisung in die lokalen Gasnetze. Darauf basierend wurde die Technologie auf Standardprodukte mit einer Eingangsleistung von 10 MW_{el.} und 75 (3x25) MW_{el.} skaliert. In den oben erwähnten ersten industriellen Anlagen wurde nachgewiesen, dass die biologische Methanisierung zuverlässig vom Labor auf den industriellen Maßstab übertragbar ist. Das flexible BioCat-System ist in der Lage realistische Lastprofile abzubilden, die sich durch schwankende Stromproduktion im Bereich der erneuerbaren Energien ergeben können.



Bild 2: BioCat Pilot-Anlage in Dänemark © Electrochaegas GmbH

3.2 GICON®-Großmann Ingenieur Consult GmbH

3.2.1 Beschreibung des Verfahrens

Beim GICON®-Rieselbettverfahren liegen die für die Methanisierung verantwortlichen Mikroorganismen vorwiegend immobilisiert auf Träger-

körpern als Biofilm vor. Der grundlegende Aufbau eines Rieselbettreaktors ist in Abb. 2 und 3 schematisch dargestellt.

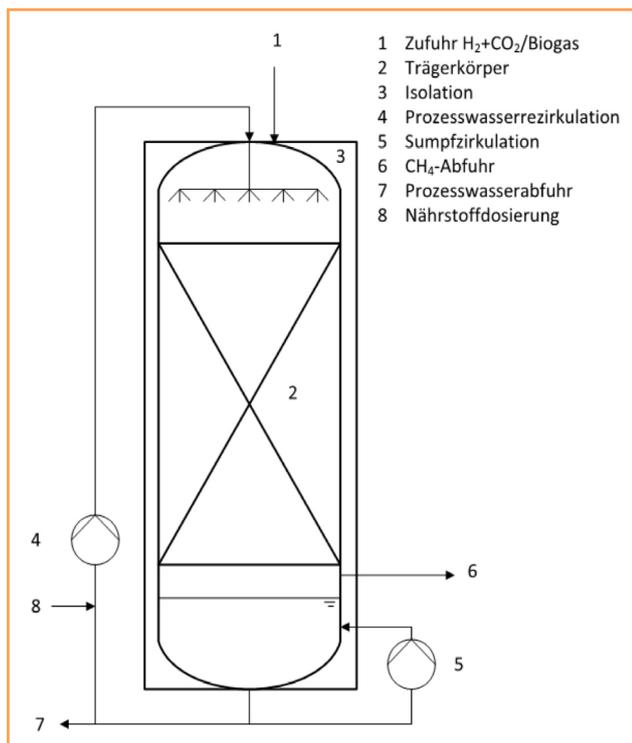


Abb. 2: Schematischer Aufbau Rieselbettreaktor

Bild 3 zeigt beispielhaft eingesetzte Trägerkörper, die sich durch eine hohe spezifische Oberfläche auszeichnen. Der Vorteil des Rieselbettverfahrens besteht darin, dass bei Biofilmen mit geringen Schichtdicken ein relativ großes Konzentrationsgefälle für den Übergang der Reaktionspartner CO₂ und Wasserstoff aus der Gasphase in die Flüssigphase entsteht. Je höher dieses Konzentrationsgefälle ist, desto schneller erfolgt ein „Nachliefern“ von H₂ und CO₂ aus der Gasphase an die Mikroorganismen. Dieser Effekt in Verbindung mit einer großen filmbedeckten Oberfläche wird beim Rieselbettverfahren genutzt. Das Verfahrensprinzip zeichnet sich durch einen einfachen Aufbau aus, da keine Durchmi-

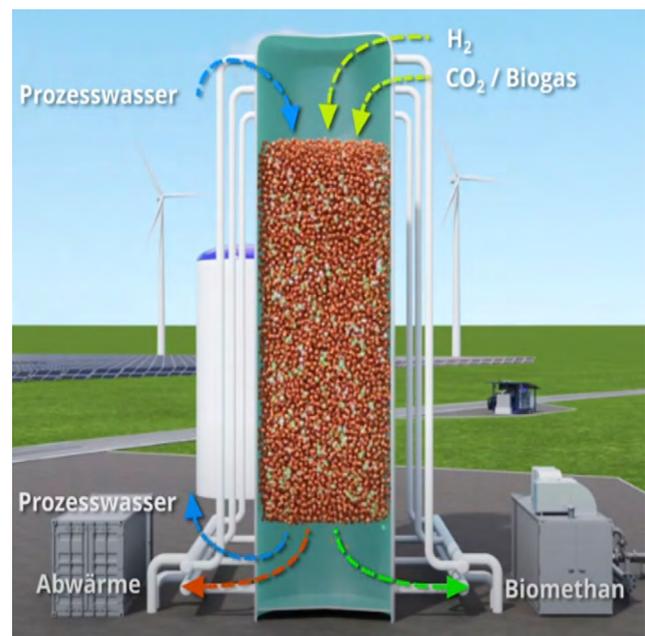


Abb. 3: Stofftransport im Rieselbettreaktor zur biologischen Methanisierung von CO₂ und H₂

schung der Prozessflüssigkeit, keine Rezirkulation des Gases und keine Druckerhöhung erforderlich sind.

Zum Aufbau des anaeroben Biofilmes erfolgt bei der Inbetriebnahme des Reaktors eine Animpfung mit Gärmedium aus einer Biogas- oder Kläranlage. Es werden keine speziellen Mikroorganismen eingesetzt. Die Verwendung von Mischkulturen aus verschiedenen hydrogenotrophen Mikroorganismen, welche im Gärmedium enthalten sind, hat dabei hinsichtlich einer kontinuierlichen und praxisrelevanten Betriebsweise eine stabilisierende Wirkung auf den Prozess.



Bild 3: Beispielhafte Trägerkörper (links $\varnothing \approx 40$ mm; rechts $\varnothing \approx 25$ mm) mit anaerobem Biofilm

Der Freiraum zwischen den Trägerkörpern (Rieselbett) bildet den Gasraum, durch den die zugeführten Gase H_2 und CO_2 / Biogas von oben nach unten, idealerweise laminar strömen. Auf dem Weg durch den Reaktor erfolgt nach Lösung und Diffusion im und am Biofilm der mikrobielle Stoffumsatz zu Methan und Wasser. Dabei ist die Verfahrensführung so ausgelegt, dass am Boden des Reaktors eine Methankonzentration von >95 Vol.-% erreicht wird. Dadurch kann das Methan direkt aus dem Reaktor zur weiteren Feinaufbereitung abgeführt werden, eine weitere Rezirkulation des Gases im Rieselbettreaktor ist somit nicht erforderlich. Der Grad der Feinaufbereitung des Produktgases, welches noch geringe Mengen an CO_2 , H_2 und Wasser enthält, ist von der jeweiligen Nutzungsoption, wie Gasnetzeinspeisung, Vertankung als BioSNG, u. ä. und den damit verbundenen speziellen Qualitätsanforderungen abhängig. Dafür stehen effiziente, bewährte Technologien, wie Gastrocknung, Filtration oder Verdichtung zur Verfügung.

Bezüglich der eingesetzten Gase zeichnet sich das Verfahren durch eine hohe Toleranz und Robustheit gegenüber Verbindungen wie H_2S oder NH_3 aus. Dadurch können als CO_2 -Quelle verschiedene Gase eingesetzt werden: Möglich sind, sowohl reines CO_2 (z. B. aus der Biogasaufbereitung), unbehandeltes Biogas aus

Biogasanlagen, Deponiegas, Klärgas oder auch sauerstofffreie CO_2 -reiche industrielle Abgase. Für hohe Methanisierungsraten muss bei der Dosierung grundsätzlich ein Verhältnis zwischen H_2 und CO_2 von 4:1 eingehalten werden.

Namensgebend für das Rieselbettverfahren ist die kontrollierte Zufuhr und Verteilung eines Prozesswasserstromes, der im Sumpf des Reaktors vorgehalten und mittels Pumpe rezirkuliert wird. Er dient hauptsächlich zur Bereitstellung von Mikro- und Makronährstoffen, die dem Rezirkulat in Form von flüssigem Gärrest einer Biogasanlage und / oder eine marktverfügbare Nährlösung zugeführt werden müssen. Das gebildete Wasser wird über einen Prozesswasserüberlauf abgeführt und kann beispielsweise dem Gärrestlager zugeführt werden.

Der Rieselbettreaktor erreicht bereits unter „sanften“ Betriebsbedingungen bei 60 - 70°C Innentemperatur und einem Betriebsüberdruck von 30 - 80 mbar hohe Stoffumsätze. Aufgrund des exothermen Charakters der Reaktion kommt dem Wärmemanagement, d.h. der Wärmeabfuhr zur Nutzung, eine besondere Bedeutung zu. Höhere Betriebsdrücke (bis ca. 25 bar) steigern die Methanbildungsrate und ermöglichen geringere Reaktorvolumen.

3.2.2 Verfahrensschema

In Abb. 4 ist das Anlagenschema des Verfahrens mit den wesentlichen Schnittstellen dargestellt.

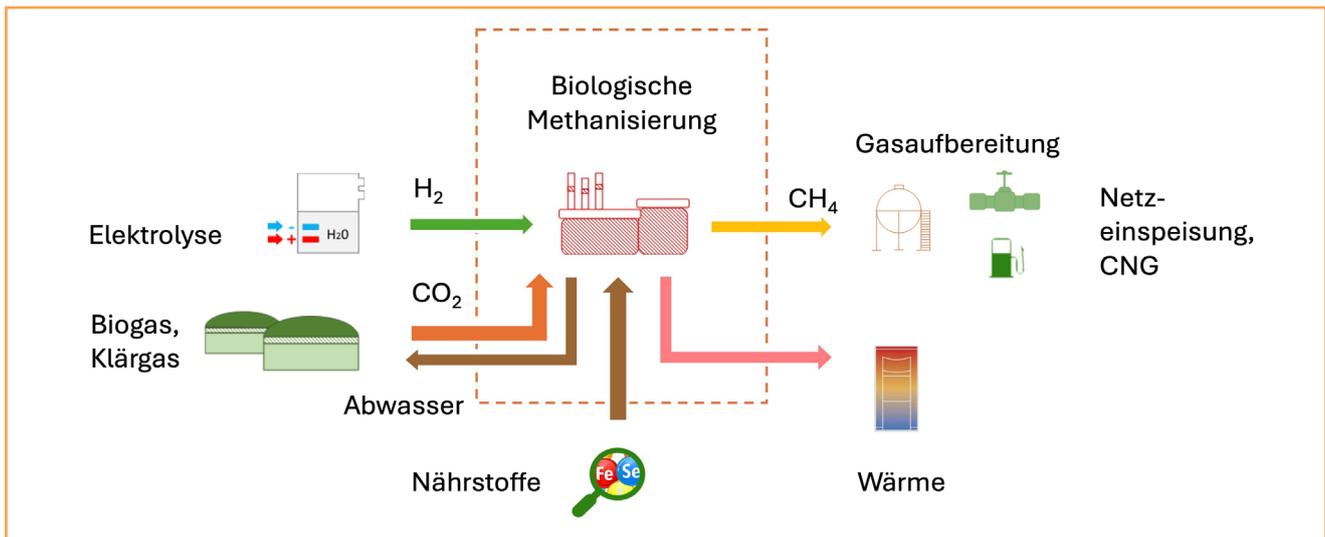


Abb. 4: Verfahrensschema biologische Methanisierung

3.2.3 Technologiereifegrad

Tab. 1: Betriebs- und Leistungskennwerte des GICON[®] Rieselbettverfahrens (angegebene CH_4 Mengen genormt)

Prozessparameter	Ausführung und Dimensionierung
Bauform	zylindrisch
Methankonzentration	> 95 % CH_4
Methanbildungsrate (bei Einsatz von Rohbiogas)	7 $m^3CH_4/(m^3R \cdot d)$ (dynamischer Betrieb)
Temperaturniveau	60 - 70°C (hyperthermophil)
Betriebsüberdruck	30 - 80 mbar
pH-Wert	7,0 - 8,5
spezifische Oberfläche Trägermaterial	300 - 800 m^2/m^3
Volumenstrom Rieselstrom	0,9 - 15 $m^3/(m^2 \cdot d)$
Wasserfreisetzung	1,4 L/m^3CH_4
Wärmefreisetzung ohne Verluste	3,1 kWh/m^3CH_4
Elektrischer Eigenenergiebedarf gesamt	0,06 - 0,27 kWh/m^3CH_4
Wirkungsgrad (inkl. Eigenenergiebedarf)	73 %
Wirkungsgrad (inkl. Eigenenergiebedarf und 50 % Wärmenutzung)	84 %

Das Rieselbettverfahren hat sich sowohl im labor- als auch im großtechnischen Betrieb als langzeitstabil (mehrere Jahre) und flexibel (bei schwankender H_2 -Verfügbarkeit) erwiesen. Die dabei erzielten Betriebs- und Leistungskennwerte sind in Tab. 1 aufgeführt.

3.2.4 Referenzanlagen



Neben verschiedenen kleintechnischen Testanlagen ($V =$ bis 80 L) wurde das Verfahren auch in drei großtechnischen Testanlagen ($V = 1$ bis 10 m^3) umgesetzt (Bild 4).

Neben der Aufbereitung von Biogas wird eine der Anlagen zur Aufbereitung von Synthesegas aus der Vergärung von Gärresten betrieben. Aktuell ist die Errichtung einer Demonstrationsanlage mit einem Volumen von 50 m^3 geplant, mit der BioSNG für den Einsatz im landwirtschaftlichen Sektor bereitgestellt werden soll.

Bild 4: 10 m^3 Rieselbettreaktor im GICON® Großtechnikum

3.3 Kanadevia Inova Schmack GmbH

Die Kanadevia Inova Schmack GmbH bietet im Rahmen seines Produktangebotes auch das BiON[®]-Verfahren zur biologischen Methanisierung als Komplettlösung an. Dieses kann als eigenständige Einheit ausgeführt sein oder als vollständig integrierte Anlage einschließlich Elektrolyseur und weiterer Anlagenkomponenten.

3.3.1 Beschreibung des Verfahrens

Beim BiON[®]-Verfahren kommen spezielle Mikroorganismen zum Einsatz. Der anaerobe ex-situ Prozess zeichnet sich durch seine Robustheit gegenüber Verunreinigungen im Rohgas aus und kann sehr dynamisch betrieben werden. Nach einer Abschaltung ist ein schnelles Wiederanfahren einfach möglich. Der Prozess arbeitet am effektivsten bei Temperaturen um 65 °C und kann Drücke im Bereich bis 10 bar ohne Probleme tolerieren. Der Einsatz anaerober Substrate (Klärschlamm, Gärrest) schafft Bedingungen, unter denen ohne hohen Additivbedarf, Nährstoffrückgewinnung oder aufwändige Dosieretechnik optimale Leistungen und hohe Methankonzentrationen erzielt werden.

Gegenüber der Verwendung von Reinkulturen und Nährmedien ergeben sich diverse Vorteile: Essenzielle Nährstoffe und Spurenelemente werden beim BiON[®]-Verfahren direkt mit dem Ausgangssubstrat zugeführt. Dadurch kann der Personalaufwand geringgehalten werden und es entstehen geringe zusätzliche Kosten für Betriebsmittel. Da von dem Material nur eine geringe Umweltgefährdung ausgeht, reduziert sich

der Aufwand für Genehmigung und Arbeitsschutz. Außerdem kann das im Prozess verbrauchte Medium ohne zusätzliche Aufbereitung der Biogas- oder Kläranlage zurückgeführt werden.

Die zylindrische Form des vielfach erprobten Rührkesselreaktors erleichtert die Wärmeabfuhr und Nutzung, aber auch die Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur im Standby Modus. Für die Temperierung muss nur geringer Aufwand betrieben werden und Inspektions- und Wartungsarbeiten sind durch den einfachen Zugang leicht durchführbar. Durch das spezielle Design des BiON[®]-Reaktors werden Verstopfungen oder Pfropfen-Strömungen vermieden. Dadurch herrschen im gesamten System homogene Reaktionsbedingungen, was die Prozessüberwachung erleichtert und die Prozessstabilität erhöht.

3.3.2 Verfahrensschema

Eine Übersicht über relevante Anlagenkomponenten gibt nachfolgende Abb. 5. Die eingesetzten Anlagenkomponenten werden auf den jeweiligen Projektstandort optimal abgestimmt und können daher individuell variieren.

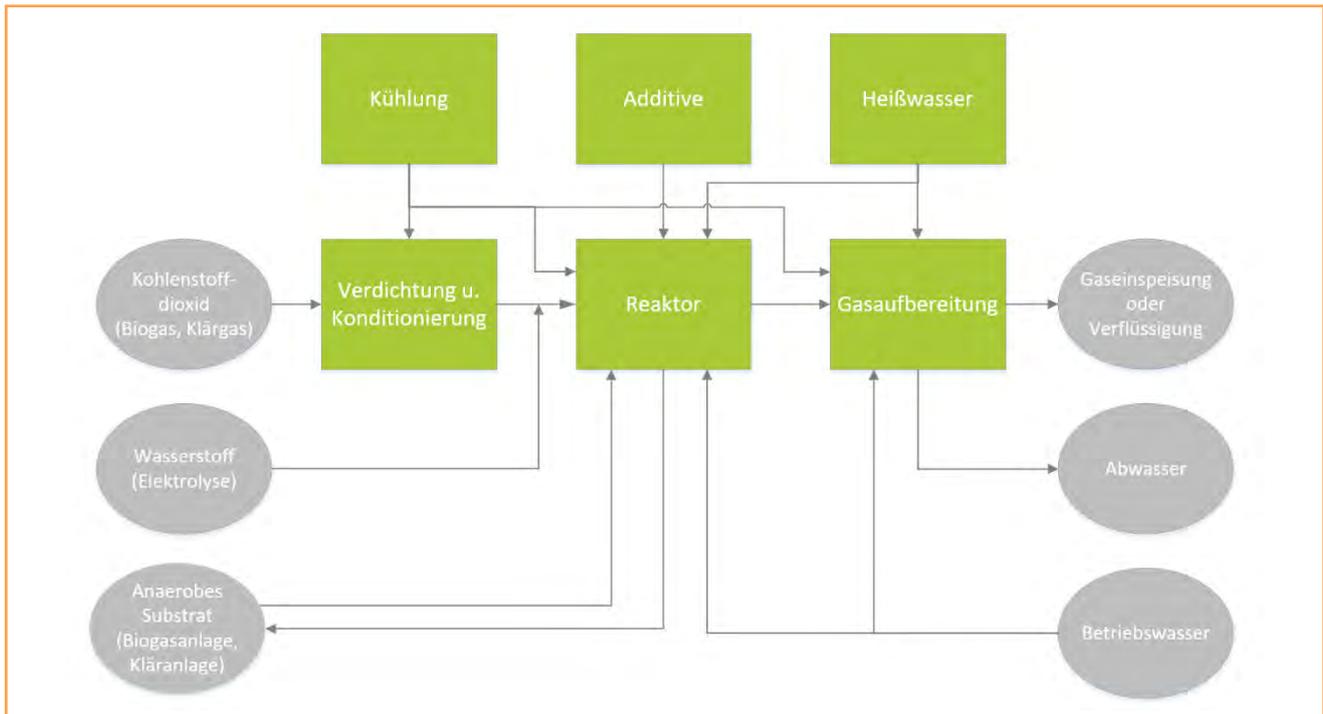


Abb.5: Fließschema und Anlagenkomponenten des BiON®-Verfahrens

3.3.3 Technologiereifegrad

Die BiON®-Methanisierung kann kontinuierlich oder flexibel betrieben werden. Es arbeitet mit Biogas als aufzubereitendem Medium genauso wie bei Verwendung von reinem CO₂. Optimiert und validiert wurde es durch die Integration in bestehende Klär- und Biomethananlagen. Seine Eignung für den industriellen Maßstab wurde an einer „Power to Gas“ Anlage in Dietikon (Schweiz) nachgewiesen.

3.3.4 Referenzanlagen

Dietikon, Schweiz

Die erste industrielle „Power-to-Gas“-Anlage der Schweiz besteht aus einem 2,5 MW Elektrolyseur, dem BiON®-Methanisierungsreaktor, einer Gasaufbereitung sowie einer Einheit für Wärme- und Kühlmanagement. In der 2022 in Betrieb genommenen Anlage wird das CO₂ im Klärgas einer nahegelegenen Kläranlage in synthetisches Methan umgewandelt. Dieses wird dann durch eine

angeschlossene mehrstufige Gasreinigung auf die erforderliche Qualität für die Einspeisung ins Erdgasnetz gebracht. Inklusive des Methananteils im eingesetzten Klärgas werden so jährlich bis zu 18.000 MWh Erdgasersatz produziert.

Mehr Informationen zum Projekt und den Partnern finden Sie unter: <https://www.powertogas.ch/>



Bild 5: Anlage zur biologischen Methanisierung in der Schweiz (Bildquelle: Limeco)

Tab. 2: Technische Kennzahlen der Anlage in Dietikon (Schweiz)

Prozessparameter	Ausführung und Dimesionierung
Reaktor	50 m ³
Temperatur	ca. 65°C
Druck	ca. 7 bar
CO ₂ im Gas	ca. 35 %
Biogasvolumenstrom	140 - 270 m ³ /h
Wasserstoffvolumenstrom	200 - 450 m ³ /h
Synthetisches Methan	90 - 100 m ³ /h
Einspeisemenge	140 - 270 m ³ /h
CH ₄ -Konzentration	> 96 vol.%
H ₂ -Konzentration	< 2 vol.%
CO ₂ -Konzentration	< 3 vol.%
H ₂ S-Konzentration	< 5 mg/m ³
Taupunkt	- 8°C

Allendorf (Eder), Deutschland

Im Rahmen des Projekts „BioPower2Gas“ wurde im hessischen Allendorf (Eder), eine Power-to-Gas Anlage mit BiON®-Methanisierung errichtet und 2015 in Betrieb genommen – die weltweit erste Anlage dieser Art in dieser Größenordnung. Die Demonstrationsanlage kom-

pliziert eine 300 kW Elektrolyse, die mit erneuerbarem Strom betrieben wird, mit der biologischen BiON®-Methanisierung. Methanisiert wird Rohbiogas sowie abgetrenntes Kohlenstoffdioxid aus einer Gasaufbereitung



Bild 6: Anlage zur biologischen Methanisierung in Allendorf (Quelle: Kanadevia Inova Schmack GmbH)

Tab. 3: Technische Kennzahlen der Anlage in Allendorf

Prozessparameter	Ausführung und Dimensionierung
Reaktor	5 m ³
Temperatur	ca. 65°C
Druck	ca. 7 bar
CO ₂ im Gas	ca. 50 %
Biogasvolumenstrom	30 m ³ /h
Wasserstoffvolumenstrom	60 m ³ /h
Synthetisches Methan	15 m ³ /h

3.4 MicroPyros BioEnerTec GmbH (Pietro Fiorentini Group)

MicroPyros bietet ein System zur Methanisierung von Klär- oder Biogas an; auch reines Kohlenstoffdioxid ist als Input möglich. Als Nährmedium im Reaktor kann Gärsubstrat oder Klärschlammgärrest verwendet werden. Im Verbund mit wei-

teren Firmen aus der Pietro Fiorentini Unternehmensgruppe, zu der auch die MicroPyros gehört, kann ergänzend auch die Elektrolyse und Gasaufbereitung als Gesamtanlagenkonzept angeboten werden.

3.4.1 Beschreibung des Verfahrens

Für das Verfahren der MicroPyros kann neben Deponie-, Klär- oder Biogas als Kohlenstoffquelle prinzipiell auch Synthese- oder anderes CO- oder CO₂-haltiges Gas verwendet werden. In der Methanisierungsanlage wird dem Rohgasstrom H₂ aus einem Elektrolyseur beigemischt. Wenn ein stöchiometrisches Verhältnis von 4:1 vorliegt, kann ein Produktgas mit einem Methangehalt von 96 % produziert werden. Damit die in einem Bioreaktor in flüssiger Phase befindlichen methanogenen Archaeen arbeiten

können, muss eine möglichst gute Durchmischung und Löslichkeit der Gase in der Flüssigphase vorliegen. Dies wird durch eine Blasensäule und ein Rührwerk erreicht. Die verwendeten Mikroorganismen sind strikt anaerob und sterben unter Sauerstoffkontakt schnell ab, wodurch das sicherheitstechnische Risiko weiter sinkt. Das erzeugte Produktgas kann, ggf. nach einer Aufreinigung, als Biomethan direkt in das Gasnetz eingespeist werden.

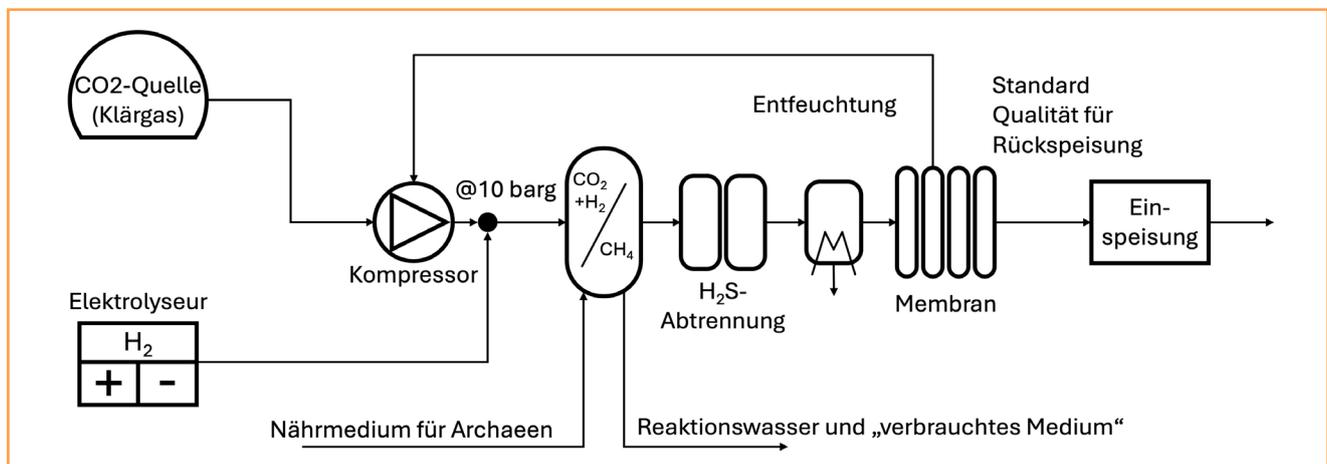


Abb. 6: Prozessschaubild MicroPyros BioEnerTec GmbH

3.4.2 Technologiereifegrad

Die Technologie wurde in mehreren Versuchs- und Pilotanlagen über einen langen Zeitraum erfolgreich erprobt. Dabei wurden mehrere Anlagen mit Reaktorvolumina zwischen 100 l und 5 m³ in Klär- oder Biogasanlagen integriert und in einem realen Umfeld betrieben. Das System hat

sich somit als geeignet für den industriellen Betrieb erwiesen. Derzeit ist ein erstes kommerzielles Projekt in der Umsetzung, bei dem eine Anlage mit Elektrolyseur (1 MW) und biologischer Methanisierung in eine Kläranlage in Bologna integriert wird.

3.4.3 Referenzanlage BioFARM

Aktuell wird eine Technikumsanlage („BioFARM“) (Bild 7) zur weiteren Erprobung und Verbesserung der Anlagentechnik auf der kommunalen Kläranlage Straubing betrieben.

Der benötigte Wasserstoff wird in einem Elektrolyseur erzeugt, der mit grünem Strom betrieben wird. Kann der dabei entstehende Sauerstoff nicht verwertet werden, wird er an sicherer Stelle in die Atmosphäre abgegeben. Der integrierte AEM-Elektrolyseur wurde von Hyter, einer Schwesterfirma der MicroPyros, konzipiert und gebaut.

Der CO₂-Strom (z.B. Klärgas) wird mit dem Gasstrom gemischt, der aus der CH₄-Anreicherungsstufe des Nachbehandlungssystems zurückgeführt wird. Die beiden Ströme, deren Druck leicht über dem atmosphärischen Druck liegt, werden vom Kompressor auf den für die Injektion in den Boden des Methanisierungsreaktors erforderlichen Druck verdichtet. Hinter dem Kompressor misst ein Analysator die Zusammensetzung des Mischgasstroms. Der komprimierte CO₂-Strom wird in einem geregelten Verhältnis mit dem aus dem Elektrolyseur kommenden Wasserstoffstrom gemischt und dann in den Methanisierungsreaktor geleitet.

Die Methanisierung erfolgt durch eine ausgewählte Mischung von Archaea-Stämmen, die je nach Prozessbedingungen angepasst werden. MicroPyros hat hierfür eine Bibliothek an methanbildenden Kulturen und kann diese auch im eigenen Labor weiter an projektspezifische Gegebenheiten adaptieren. Während des Methanisierungsprozesses werden dem Reaktor auch geringe Mengen an Nährstoffen zugeführt die der Archaeen-Stoffwechsel für sein Wachstum benötigt. Die Mikroorganismen beziehen diese aus einer künstlich hergestellten Lösung verschiedener Salze, aus Klärschlammgärrest oder Gärrest. Da bei der Methanisierung Wärme frei wird, muss die Prozesstemperatur im Reaktor kontrolliert und ggf. korrigiert werden, um optimale Wachstumsbedingungen für die Archaeen zu schaffen.

Die Verwendung von Klärschlammgärrest oder

Gärrest als Wachstumsgrundlage im Reaktor hat den Vorteil, dass das entstehende Abwasser typischerweise keiner gesonderten Entsorgung bedarf.

Um ein für die Netzeinspeisung geeignetes Biomethan zu erhalten, ist dem Methanisierungsreaktor eine Nachbehandlungseinheit nachgeschaltet. Diese besteht aus einem System zur Entfernung von Schwefelwasserstoff, einem zur Entwässerung und einem zur Methananreicherung. Die Details für die Gasaufbereitung sind für jedes Projekt gesondert zu betrachten; es können weitere Schritte hinzukommen, aber auch komplett entfallen.

Sowohl bei der Wasserstofferzeugung im Elektrolyseur als auch bei laufender Methanisierung im Reaktor entsteht eine nennenswerte Menge an Wärme. Diese steht etwa zum Beheizen von Gebäuden oder zum Trocknen von land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnissen zur Verfügung.

Künftig soll auch die Nutzung von CO₂-haltigen Gasen zur Erzeugung von einspeisefähigem Methan möglich sein. Hierzu hat MicroPyros Mikroorganismen im Portfolio, die dies im Labor, aber auch im Projekt „Ash2Gas“ bereits erfolgreich bewerkstelligen konnten. Je nach Gaszusammensetzung sind hier aber andere Maßnahmen zur Gasvor- und -aufbereitung zu treffen. Auch die Umsetzung von Synthesegas soll an der BioFARM genannten Forschungs- und Entwicklungsanlage demonstriert werden.



Bild 7: BioFARM neben den Faulbehältern der Kläranlage Straubing

4. Schlusswort

Für Strom, der mit biologisch aufbereitetem Biomethan produziert wurde, besteht nicht zwangsläufig der Anspruch auf eine EEG-Vergütung. Der Grund hierfür ist, dass der zur Methanisierung erforderliche Wasserstoff, nicht aus Biomasse produziert wird. Wenn das Gas verstromt werden soll, muss deshalb in jedem Einzelfall juristisch geprüft werden, ob eine EEG-Vergütung weiterhin gewährt wird. Wenn nicht, ist die Investition in eine Anlage zur biologischen Methanisierung in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Für das Jahr 2025 ist die Erstellung einer weiteren Fachinformation geplant, in der die Themen Zertifikatshandel und Wirtschaftlichkeit der biologischen Methanisierung abgehandelt werden.

Kontaktdaten der Ansprechpartner für Rückfragen bei den beteiligten Firmen:

Electrochaea GmbH
Felix Popp
Tel.: +49 89 3249 3670
Fax: +49 89 3249 36766
E-Mail: felix.popp@electrochaea.com
Sammelweisstrasse 3
82152 Planegg
www.electrochaea.com

Kanadevia Inova Schmack GmbH
Robert Böhm
Produkt & Marketing Manager
Tel: +49 9431 751- 0
E-Mail: info.schmack@kanadevia-inova.com
Bayernwerk 8
92421 Schwandorf

GICON® Großmann Ingenieur Consult GmbH
Michael Tietze
Fachbereichsleitung Bioenergie /
Biogastechnikum
Tel.: +49 351 47878 7737
Mobil: +49 151 5383 3252
E-Mail: m.tietze@gicon.de
Tiergartenstraße 48
01219 Dresden
www.gicon-consult.de

MicroPyros BioEnerTec GmbH
Simon Schneller
Tel: +49 9421 18 96 113
Mobil: +49 173 19375 62
E-Mail: s.schneller@micropyros.de
Europaring 4
D-94315 Straubing
www.micropyros.de



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon	08161 / 887-0078
Telefax	08161 / 887-3957
E-Mail	info@alb-bayern.de
Internet	www.alb-bayern.de