



## **Empfehlungen zu Verfahren der Hydrolyse in der Praxis**

**Nr. IV – 5/2010**

---

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik) im  
„Biogas Forum Bayern“ von:



Dr. Mathias Effenberger  
Rainer Kissel  
Carmen Marín-Pérez

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung



Dr. Jürgen Beck

f10 Forschungszentrum für Erneuerbare Energien



Frank Friedrich

Land- und forstwirtschaftliche Sozialversicherungsträger Franken und Oberbayern

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung.....	2
2	Grundlagen .....	2
3	Stand der Hydrolyseverfahren in der Praxis .....	4
4	Wann kann ein Hydrolyseverfahren sinnvoll sein?.....	6
	Quellenangaben.....	8
	Glossar.....	9

## 1 Vorbemerkung

Die vorliegende Schrift soll Planern, Investitionswilligen und Betreibern von Biogasanlagen in der Landwirtschaft eine Hilfestellung für die Beurteilung von Biogasverfahren mit sogenannter Hydrolyse-Stufe geben. In knapper Form wird der derzeitige Stand der Technik beschrieben und auf dem Hintergrund der biochemischen Grundlagen und von Praxiserfahrungen bewertet. Es werden Hinweise zu den Chancen und Risiken von „Hydrolyse-Verfahren“ gegeben. Die Schrift kann und soll dabei keine erschöpfende Darstellung des Standes der Technik von Biogasverfahren mit „Hydrolyse-Stufe“ sein.

## 2 Grundlagen

Der Abbau organischen Materials, beispielsweise in Form von Gülle, Pflanzenmasse oder Biomüll, kann im Wesentlichen in vier Phasen gegliedert werden, wie in Abbildung 1 skizziert. An diesem komplexen Abbauprozess sind verschiedene Gruppen von Mikroorganismen beteiligt. Diese haben teilweise recht unterschiedliche Anforderungen an die Umgebungsbedingungen und können sich auch unterschiedlich schnell vermehren. Für eine ausführliche Beschreibung der mikrobiologischen Prozesse in Biogasanlagen siehe [http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell\\_Biogas.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell_Biogas.pdf) und [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_36964.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_36964.pdf).

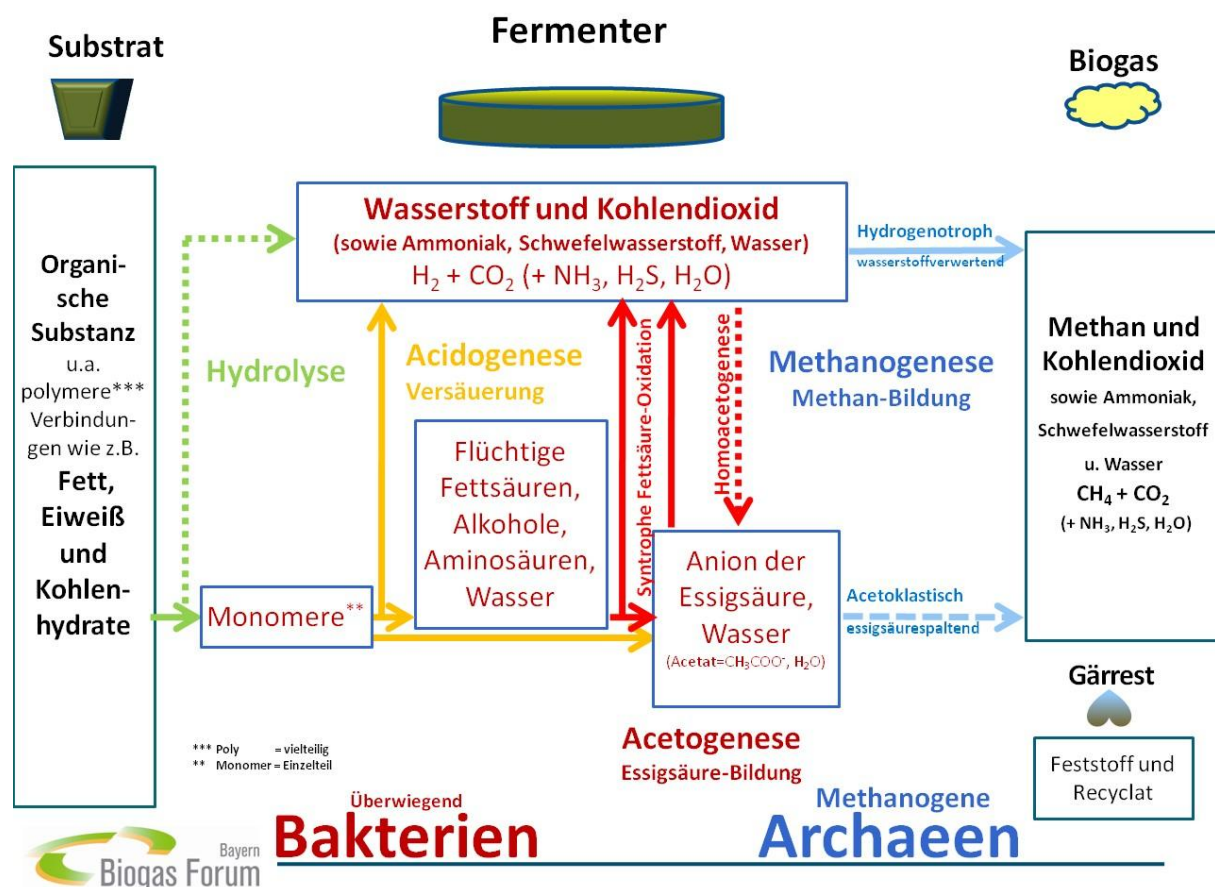


Abb. 1: Die unterschiedlichen Phasen der mikrobiologischen Methanbildung mit den wichtigsten Gruppen der beteiligten Mikroorganismen

An dieser Stelle ist es jedoch wichtig zu beachten, dass der Begriff der Hydrolysestufe, wie er in der Praxis verwendet wird (und daher aus Gründen der Vereinfachung auch in dieser Abhandlung), aus biochemischer Sicht nicht korrekt ist. In einer solchen Hydrolysestufe wird im Normalfall nicht nur der Prozess der Hydrolyse (d.h. Spaltung von Makromolekülen unter Anlagerung von Wasser und Bildung kleinerer, meist wasserlöslicher Moleküle), sondern ein großer Teil der Acidogenese oder Versäuerung stattfinden. Gelegentlich wird daher auch der Begriff der „Vorversäuerung“ verwendet. Das hierbei entstehende Gasgemisch sollte kein Methan enthalten. Tatsächlich kann es unter Praxisbedingungen durch die Rückführung von Gärrest in die Hydrolysestufe zum Anmischen der Feststoffkomponenten oder durch den Einsatz von Flüssig- oder Festmist bereits hier zur Methanbildung kommen. Darüber hinaus enthält das Hydrolysegas als brennbare Komponente Wasserstoff ( $H_2$ ) sowie die giftigen und extrem geruchsintensiven Substanzen Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) und Ammoniak ( $NH_3$ ). Kohlendioxid als Hauptbestandteil des Hydrolysegases stellt in geschlossenen Räumen eine Erstickungsgefahr dar.

In der landwirtschaftlichen Biogastechnologie kommt bisher fast ausschließlich das sogenannte **einphasige Verfahren** zum Einsatz. Einphasig (manchmal ungenauer Weise auch als „einstufig“ bezeichnet) bedeutet, dass alle Phasen der Vergärung in einem Gärbehälter ablaufen. Die Vorteile des einphasigen Verfahrens liegen vor allem in den deutlich geringeren Investitionskosten und der vereinfachten Prozesssteuerung. Nachteilig ist, dass dieses Verfahren bezogen auf die Reaktionsbedingungen immer einen Kompromiss darstellt, da die Bedingungen nicht für alle beteiligten Mikroorganismengruppen optimal sind.

Enthalten die Einsatzstoffe einen hohen Anteil an löslichen, rasch vergärbaren Stoffen (z. B. Zucker, Stärke, Proteine), kann es im einphasigen Verfahren durch die Anreicherung der Versäuerungsprodukte (in Abhängigkeit von der Pufferkapazität des Fermenterinhalt) leicht zu einer sehr zügigen Hemmung des Abbauprozesses kommen. Dies beruht auf den vergleichsweise hohen Vermehrungsraten der Mikroben in der Hydrolyse und Acidogenese (Verdoppelung der Population im Bereich von Minuten bis Stunden), während die für die Methanbildung zuständigen Archäen ihre Population erst nach 10 bis 14 Tagen verdoppeln können.

In diesem Fall bietet das **zweiphasige Verfahren** den Vorteil, dass die Belastung des Methanreaktors weitgehend unabhängig vom optimalen Betrieb der Hydrolysestufe geregelt werden kann. Hierdurch lassen sich beispielsweise bei der anaeroben Behandlung von Abwässern mit hoher gelöster organischer Fracht Raumbelastungen von  $12 \text{ kg oTM} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$  und darüber realisieren. Ähnliche Vorteile sind auch bei der Vergärung nicht siliierter frischer oder getrockneter, leicht fermentierbarer Einsatzstoffe wie z. B. Getreide, Körnermais, Zucker- und Gehaltsrüben zu erwarten. Durch die Versäuerung des Mischsubstrates in der ersten Phase weist der Zulauf in die zweite, Methan bildende Phase dann eine wesentlich konstantere Zusammensetzung auf. Nachteilig sind die erhöhten Investitionskosten und die aufwändigere Steuerung und Regelung.

### 3 Stand der Hydrolyseverfahren in der Praxis

Aktuell stellt sich die Anwendung von „Hydrolyse“-Verfahren in der landwirtschaftlichen Biogastechnik recht uneinheitlich dar. Dabei wird bei einer unsachgemäßen Verfahrensgestaltung das Potential, das eine zweiphasige Prozessführung birgt, nicht optimal genutzt. Vielmehr kann dies sogar zu einer Verringerung des Abbaugrades und beträchtlichen Energieverlusten durch CO<sub>2</sub>- und Wasserstofffreisetzung führen und darüber hinaus ein Sicherheitsrisiko bergen. Auf diese Defizite soll im Anschluss aufmerksam gemacht werden, bevor im folgenden Kapitel dargestellt wird, wann ein Verfahren mit getrennter Hydrolysestufe sinnvoll ist und wie dieses gestaltet werden sollte.

Verfahren mit einer **offenen**, evtl. zusätzlich beheizbaren Hydrolysegrube sind aus Gründen des Arbeits- und Immissionsschutzes **nicht tolerierbar**. Um die Risiken der Hydrolysegase zu verdeutlichen, sei an den schweren Unfall auf einer Biogasanlage in Zeven im November 2005 erinnert (Hamburger Abendblatt vom 10.11.2005). Hier kam es beim Befüllen einer Vorgrube mit Schlachtabfällen zur Freisetzung toxischer Mengen von Schwefelwasserstoff in die Annahmehalle. Vier Personen, die sich in der Halle befanden, erstickten, eine Person konnte sich knapp ins Freie retten.

Die Hydrolysestufe sollte deshalb in jedem Fall zur Atmosphäre hin dicht ausgeführt werden. Das Hydrolysegas ist in geeigneter Weise in das Gassystem der Biogasanlage einzuleiten. Es kann entweder in das Gärgemisch eingepresst oder in den Biogasspeicher eingeleitet werden. Hierzu muss das Hydrolysegas getrennt gesammelt, behandelt und evtl. komprimiert werden. Eine direkte Einleitung des Hydrolysegases in den Ansaugluftstrom des BHKW ist nicht sachgerecht und kann zu Motorschäden führen. Von der Vorgehensweise, das Gas über einen Biofilter ins Freie abzuleiten, ist abzuraten, da hierbei keine ausreichende Betriebssicherheit insbesondere beim Abbau von Wasserstoff zu erwarten ist. Evtl. im Hydrolysegas enthaltene nutzbare Energie ist in diesem Fall verloren. In jedem Fall sind die Vorschriften des Immissionsschutzes einzuhalten.

Aus technologischer und wirtschaftlicher Sicht sind offene Hydrolysegruben im Allgemeinen ohnehin nicht sinnvoll. Um eine Methanbildung in der Hydrolysestufe zu unterdrücken, muss der pH-Wert rasch auf einen Wert zwischen 4,5 und 5,0 abgesenkt werden. Eine weitere Absenkung des pH-Wertes verringert den Abbaugrad der Feststoffe. Mit steigendem pH-Wert bis in den Neutralbereich nimmt die Abbauaktivität rasch zu und es werden zunehmend flüchtige Fettsäuren und Wasserstoffgas gebildet. Je nach Mischungsverhältnis mit Luft kann dann ein hochexplosives Gemisch vorliegen. Sowohl die Bildung von Methan als auch von Wasserstoff in einer nicht zur Atmosphäre dichten Hydrolysestufe bedeutet für das Gesamtverfahren einen Verlust an Methan. Die unkontrollierte Methanfreisetzung aus der Hydrolysestufe trägt zudem zum Treibhauseffekt bei.



Abb. 2: So nicht! Zur Atmosphäre hin offene Hydrolysegrube (Foto: LfL)

Als Prozessindikatoren für die Hydrolysestufe sind der pH-Wert, die Konzentration an flüchtigen Fettsäuren und der TAC-Wert geeignet. Gewöhnlich setzt mit der Hydrolyse auch der Prozess der Versäuerung ein, der die gewünschte pH-Wert-Absenkung bewirkt (Abb. 2). Die dabei entstehenden flüchtigen Fettsäuren und andere Reaktionsprodukte führen beim Homogenisieren in nicht gasdicht verschlossenen Hydrolysebehältern zu erheblichen Geruchsemissionen, insbesondere wenn schwefelreiche Substrate wie tierische Exkrememente oder Speisereste eingesetzt werden.

Relativ weite Verbreitung hat das sogenannte Ligavator-Verfahren gefunden. Bei diesem Verfahren wird aus geschrotetem Feuchtmais oder gemahlenern erntefeuchten Getreidekörnern unter Wasserzugabe ein pumpfähiger Brei erzeugt, der in einem korrosionsfesten Hochsilo einsiliert wird („Langzeithydrolyse“). Von dort wird die Biomasse in eine Vorgrube gepumpt, wo eine weitere Versäuerung stattfindet. Kann nicht auf den Einsatz von rezirkuliertem Gärrest verzichtet werden, dann ist bei den sich einstellenden höheren pH-Werten bereits mit der Freisetzung von Methan zu rechnen. Dies ist insbesondere bei klassischen Mischungen aus Mais- und Grassilage mit Gülle der Fall. Oftmals verkennen Anlagenbauer und -betreiber jedoch die Gefahren die sich aus dieser Vorgehensweise ergeben. Ausgelöst durch einen Unfall, der durch eine Verpuffung an einer Biogasanlage mit vorgeschalteter Hydrolyse geschah, wurden 17 Biogasanlagen mit Vorgrube untersucht. Hierbei wurden an 8 Anlagen gefährliche Gaskonzentrationen, d.h. über der unteren Explosionsgrenze liegende Werte, gemessen.

Beim Konzept der sogenannten semi-aeroben Hydrolyse soll die Freisetzung von Wasserstoff verhindert werden, indem der Hydrolysestufe zeitweise Luft zugeführt wird. Dennoch sind auch bei diesem Verfahren unbedingt die oben beschriebenen Vorkehrungen für den Explosionsschutz zu treffen und es ist eine geschlossene Ausführung des Hydrolysebehälters anzustreben.

Beim Verfahren der biochemischen Hydrolyse erfolgt der Abbau von Polymeren („Desintegration“) durch enzymatische Prozesse. Beschleunigen kann man diesen Prozess durch erhöhte Temperaturen. Bei der „thermischen Hydrolyse“, wie sie für die Behandlung von Abwasserschläm angeboten wird, kommen Temperaturen von 70 °C und deutlich darüber sowie gegebenenfalls erhöhte Drücke zum Einsatz („Thermo-Druck-Hydrolyse“). Das Verfahren wird auch zur Behandlung biologischer Reststoffe eingesetzt, wobei zusätzlich eine mechanische Zerkleinerung der Biomasse erfolgt, um die Effektivität des Aufschlusses zu erhöhen. Auf Grund des erheblichen Investments und Prozessenergiebedarfs dürfte das Verfahren für landwirtschaftliche Biogasanlagen allerdings uninteressant sein, sofern nicht ohnehin die Notwendigkeit für eine Hygienisierung der Einsatzstoffe gegeben ist.

#### 4 Wann kann ein Hydrolyseverfahren sinnvoll sein?

Mit einer zweiphasigen Verfahrensführung verfolgt man zwei Ziele:

- (1) Vermeidung der Hemmung der Methanbildung durch Anreicherung von Versäuerungsprodukten im einphasigen Prozess und
- (2) Beschleunigung des Abbauprozesses bzw. Erhöhung der Methanproduktivität.

Ob ein Biogasverfahren mit getrennter Hydrolysestufe sinnvoll ist, wird durch die Einsatzstoffe bestimmt. Ziel (1) lässt sich bei richtiger Verfahrensführung für Einsatzstoffe mit einem hohen Gehalt an schnell hydrolysierbaren Substanzen wie Stärke, Zucker und Proteinen durch eine biochemische Hydrolyse erreichen. Beispiele: frisches, nicht siliertes Material (Getreidekörner, Maiskörner, frisches Gras, frische Zwischenfrüchte, Rüben, Kartoffeln); Speisereste; Schlempe; Schlachtabfälle; Gemüseabfälle. Eine getrennte Hydrolysestufe ist vor allem dann sinnvoll, wenn solche Substratströme in häufigem Wechsel anfallen. Kontraproduktiv können sich Gülle, Mist oder zurückgeführter Gärrest in der Hydrolysestufe auswirken, da hierdurch die Pufferkapazität erhöht wird und Methan bildende Mikroorganismen zugeführt werden.

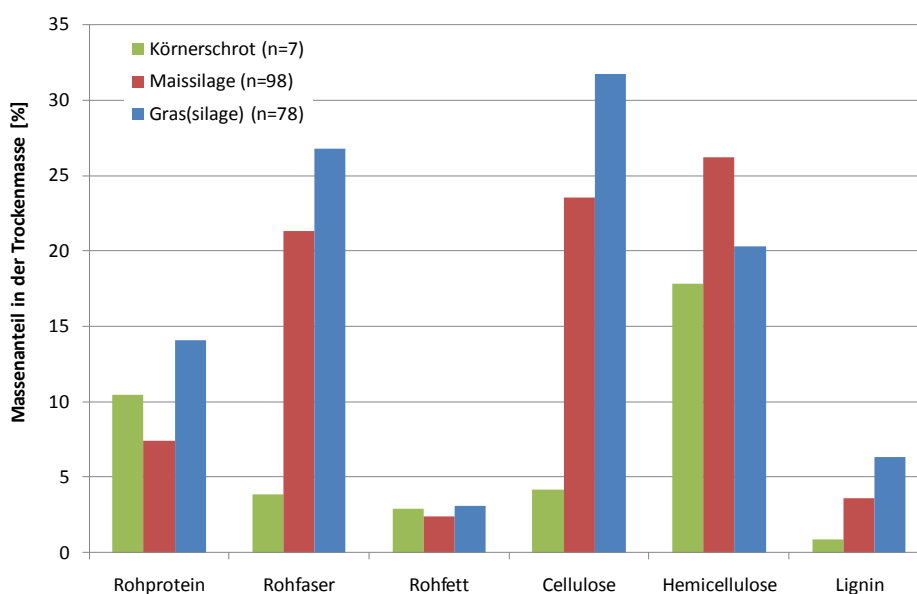


Abb. 3: Mittlere Zusammensetzung der Trockenmasse unterschiedlicher pflanzlicher Einsatzstoffe (eigene Daten)

Je höher der Anteil an Lignocellulose in der Biomasse ist, desto geringer sind beim derzeitigen Entwicklungsstand die Vorteile einer separaten Hydrolysestufe. Dieser Anteil ist beispielsweise bei Gras und Ganzpflanzensilagen gegenüber Körnern bereits deutlich erhöht und steigt über Stroh bis hin zu verholztem Landschaftspflegematerial stark an (Abb. 3). Die biochemische Hydrolyse läuft in diesen Fällen zu langsam ab. Im Sinne von Ziel (2) versucht man die Verweilzeit zu verkürzen, indem die Biomasse mechanisch oder thermisch aufgeschlossen („desintegriert“) wird.

### **Fazit**

In der Praxis ist die Anwendung von verfahrenstechnisch nicht optimierten „Hydrolyse“-Verfahren auf Biogasanlagen kritisch zu betrachten. Verfahren mit einer zur Atmosphäre hin offenen Hydrolysegrube sind nicht tolerierbar, da erhebliche Risiken hinsichtlich Immissions- und Arbeitsschutz bestehen. Eine fehlerhafte Verfahrensführung kann zudem entgegen dem eigentlichen Ziel eine verringerte Biogausausbeute und dadurch einen Energieverlust verursachen sowie die Umwelt und Gesundheit belasten. Die zweiphasige Verfahrensführung bei der Vergärung lignocellulosereicher Biomasse ist derzeit noch Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

## Quellenangaben

- Avantec Biogas GmbH, Vertriebsbroschüre [<http://www.avantec-biogas.de>], 26.07.2010 13:35
- Bauer, C., M. Lebuhn, A. Gronauer: Mikrobiologische Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. LfL Schriftenreihe 12/2009, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, September 2009, ISSN 1611-4159 [[http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_36964.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_36964.pdf)]
- FNR: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. 3. überarbeitete Auflage, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Gülzow, 2006
- Hamburger Abendblatt, 10.11.2005: Biogas-Unfall in Zeven - vier Tote, ein Fahrer kämpft um sein Leben [<http://www.abendblatt.de/>] 11.10.2010 07:35
- LfL: Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern. Abschlussbericht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, Oktober 2009
- Ottow, J. C. G und Bidlingmaier, W. (Hrsg.): Umweltbiotechnologie. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, ISBN 3-437-25230-5
- Stahl, R.: Die Thermodruckhydrolyse – ein alternatives Verfahren zur Klärschlammbehandlung? [[http://biukat.de/wb/media/UTF2/Vortrag\\_UTF2\\_Stahl.pdf](http://biukat.de/wb/media/UTF2/Vortrag_UTF2_Stahl.pdf)], 26.07.2010, 14:05

---

## Glossar

*Fermenter*; mit Substrat, Gärgemisch, Rezirkulat oder Gär-Hilfsstoffen beschickter Behälter, in dem ein biologischer Abbau stattfindet. Synonym: Reaktor oder Gärbehälter (wobei nur der Hauptgärbehälter und der Nachgärbehälter als eigentliche Gärbehälter gelten). In der Praxis werden die Begriffe Fermenter und Hauptgärbehälter synonym verwendet, der Nachgärbehälter wird hingegen nicht als Fermenter bezeichnet.

*Hydrolyse*; Spaltung von Makromolekülen unter Anlagerung von Wasser und Bildung kleinerer, meist wasserlöslicher Moleküle.

*Methanproduktivität*; Gebildete Menge an Methan pro Volumeneinheit des Gärbehälters und Zeiteinheit [ $\text{m}^3 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ ].

**Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern.**

### **Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)**

Hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Sicherheit
- Emissionen
- Funktion
- System/Standort

### **Mitglieder der Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)**

- Agrafarm Technologies AG
- Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Rosenheim
- Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Biogasanlagenbetreiber
- Fachverband Biogas e.V.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung
- Land- und forstwirtschaftliche Sozialversicherung Franken und Oberbayern
- f10 Forschungszentrum für Erneuerbare Energien
- Landratsamt Neuburg-Schrobenhausen
- Regierung von Oberbayern (Gewerbeaufsichtsamt)



**Herausgeber:**

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik  
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.  
Vöttinger Straße 36  
85354 Freising  
Telefon: 08161/71-3460  
Telefax: 08161/71-5307  
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>  
E-Mail: [info@biogas-forum-bayern.de](mailto:info@biogas-forum-bayern.de)