

## **BIOGAS-ANLAGENTECHNIK – SPEZIELL VERGÄRUNG VON NAWAROS**

**Andreas Krieg, Torsten Fischer**  
Krieg & Fischer Ingenieure  
Hannah-Vogt-Straße 1, D-37085 Göttingen  
Tel.: +49 551 3057430, Fax: +49 551 7707712  
krieg@kriegfischer.de  
[www.KriegFischer.de](http://www.KriegFischer.de)

### **1. EINLEITUNG**

Eine Biogasanlage kann vereinfacht in drei Hauptgruppen eingeteilt werden. Der Zusammenführung von Gülle sowie weiteren organischen Stoffen und deren Aufbereitung (1. Gruppe) schließt sich die eigentliche Vergärung oder Fermentation mit Gasentstehung an (2. Gruppe). Die dritte Gruppe besteht in der Gasnutzung.

Nach der Sammlung bzw. der Anlieferung auf die Anlage der Gärmaterialien folgt als erster Schritt deren Aufbereitung. Ein Überblick der eingesetzten Aufbereitungstechniken ist aus Tabelle 1 zu entnehmen. Das Ziel ist, die Stoffe so vorzubehandeln, daß in einer vertretbaren Gär-Zeit eine möglichst hohe Umsetzung der eingebrachten Biomasse in Biogas erreicht wird. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf die Technik landwirtschaftlicher Biogas-Anlagen.

Der Aufbereitungstechnik kommt somit eine wichtige Bedeutung zu, da der mikrobielle Abbau unter Luftabschluß der Substrate – die Faulung – und somit die Entstehung von Biogas ausschließlich enzymatisch sowie durch den Stoffwechsel – in wässriger Lösung – der Mikroorganismen geschieht. Mit anderen Worten gesagt: Die Bakterien haben keine Zähne! Man stelle sich als Behelf nur einmal vor, Rinder würden nicht wiederkäuen. Die Pansenmikroben, deren Arten und Bedeutung denen im Gärreaktor beinahe identisch sind, würden nicht annähernd das Futter so aufschließen, daß für das Tier genügend Energie sowie Nährstoffe zur Verfügung steht.

<b>ALLGEMEINE VERFAHRENSSCHRITTE DER BIOGAS-VERFAHREN</b>		
<b>VORBEHANDLUNG</b>	<b>FERMENTATION</b>	<b>NACHBEHANDLUNG</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mechanische Klassifizierung nach Partikelgröße</b></li> <li>• <b>Manuelle Auslese</b></li> <li>• <b>Magnetische Abscheidung</b></li> <li>• <b>Fluidtechnische Abscheidung (Zyklon)</b></li> <li>• <b>Mechanische-Chemische- Biologische- Aufbereitung</b></li> <li>• <b>Thermische Vorbehandlung (Hygienisierung)</b></li> </ul>	<p style="text-align: center;">Vor allem i.d. Bioabfall-behandlung eingesetzt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Einstufig – Einphasig:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Rührkesselreaktor</b></li> <li><b>Gärkanalreaktor</b></li> <li><b>Wirbelschichtreaktor</b></li> <li><b>Fließbettreaktor</b></li> <li><b>Kontaktverfahren</b></li> </ul> </li> <li>• <b>Zweistufig:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>z.B. zwei Behälter mit unterschiedlichen Gärtemperaturen</b></li> </ul> </li> <li>• <b>Zweiphasig:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>z.B. Perkolations-Verfahren: Stationäre Festphase und mobile Flüssigphase</b></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mechanische, statische Fest/Flüssigtrennung</b></li> <li>• <b>Rotte</b></li> <li>• <b>Extraktion von Nährstoffen</b></li> <li>• <b>Extraktion von Schadstoffen (Sonderanwendung)</b></li> <li>• <b>Konzentratherstellung</b></li> </ul>
<b>ZIELE</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Störstoffabscheidung</b></li> <li>• <b>Strukturzerstörung und Aufschluß</b></li> <li>• <b>Suspensierung und Homogenisierung</b></li> <li>• <b>Hygienisierung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gewinnung von Biogas</b></li> <li>• <b>Schlammstabilisierung</b></li> <li>• <b>Mineralisierung chemischer Elemente (z.B. Nährstoffe)</b></li> <li>• <b>Hygienisierung</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gewinnung von flüssigen (Faulschlamm) sowie festen (Kompost) organischen Düngern und Erden</b></li> <li>• <b>Schadstoffentfrachtung</b></li> <li>• <b>Reinigung von Prozeßwasser</b></li> </ul>

## 2. VORBEHÄLTER

In aller Regel ist der Biogas-Anlage ein Sammelbehälter, bzw. Vorgrube bei landwirtschaftlichen Hof-Biogasanlagen, vorgelagert. Bei der Wahl des Baustoffes ist darauf zu achten, daß nur korrosionsbeständige Baustoffe eingesetzt werden. Der ständige Wechsel zwischen Gülle und Luft sowie u.U. ein saures Milieu fördert die Korrosion. Der Behälter muß dicht und medienbeständig sein, gemäß den Anforderungen des § 19 g Abs. 2 WHG. Je nach örtlichen Bedingungen kann eine geruchsdichte Abdeckung gefordert sein.

Bei der Vergärung von ausschließlic sowie stetig zufließender Gülle aus Treibmistkanälen u.ä. im Gefälle in den Fermenter – bei Hanglage – kann auf eine Vorgrube sowie eine Aufbereitungstechnik verzichtet werden.

Der Sammelbehälter wird genutzt zum Mischen diverser Substrate, zur Zerkleinerung und von Festmist und anderen festen Gärmaterialien, ggf. zum Zumischen von Wasser, zum Absetzen von Störstoffen (Gabelzinken, Steine und dgl.) sowie als Vorlage der ein- oder mehrmals täglichen Fermenterbeschickung.

Da im praktischen Betrieb einer Biogas-Anlage trotz hoher Sorgfalt mit metallenen und mineralischen Fremdkörpern zu rechnen ist, muß der Vorbehälter in Ermangelung eines Vorsiebes auch als Abscheider solcher, Pumpen und Rührwerke beeinträchtigender, Stoffe dienen. Bevor die Charge in den Fermenter gepumpt wird, schließt sich an das Mischen eine Absetzpause an. Sobald sich die Turbulenzen beruhigt haben sinken spezifisch schwerere Stoffe in der Vorgrube ab.

Die wesentlichen Einflußfaktoren sind die Teilchengröße und der Dichteunterschied zwischen den Teilchen und dem Medium. Ferner verringert sich die Absetzgeschwindigkeit mit zunehmender Viskosität des Schlammes. Bei einem Feststoffgehalt zwischen 3 und 30 % wird durch den Konzentrationseinfluß die Sinkgeschwindigkeit zusätzlich verlangsamt. Ab einem Feststoffgehalt von 30 % kann von keiner Sedimentation mehr gesprochen werden. Das positive Sedimentationsverhalten verschiedener Substrate kann in folgender Rangfolge angegeben werden:

Schweinegülle > Rindergülle > verflüssigtem Festmist und NaWaRos  
(bei TS-Gehalten > 15 % in der Mischung)

Das Fassungsvermögen des Vorbehälters beträgt meist das Volumen der Gärmaterialien für 1 bis 3 Tage. Größere Dimensionen scheiden wegen einsetzender Gärvorgänge und damit Gerüchen normalerweise aus. Die Vielzahl der verfahrenstechnischen Aufgaben lassen sich nur sehr aufwendig automatisieren, weshalb in Praxis „im Handbetrieb“ gefahren wird. Verstärkt kommen Techniken zum Einsatz, wo die festen Gärstoffe separat aufbereitet und in den Fermenter eingebracht werden. Bei größeren Biogasanlagen und vor allem bei Gülle-Gemeinschaftsanlagen sind Vorbehälter nach wie vor erforderlich.

## 3. AUFBEREITUNG

Bei einzelbetrieblichen Anlagen kommt als Aufbereitungstechnik im Vorbehälter meist ein Propellerrührwerk oder eine Reißmixpumpe zum Einsatz. Beim Rührwerk sind in der Regel Eintauchtiefe und Lage des Rührwerks einstellbar, um die beste Rührwirkung bei vorgegebener Behältergröße und -form erzielen zu können. Die Misch- und Sammelbehälter von Großanlagen werden häufig mit fest installierten Rührwerken ausgestattet.

Aus Erwägungen des Energieverbrauchs sollte das Rührwerk dem oder den zu mischenden Substraten angepaßt werden. Je struktureicher, je höher der Feststoffgehalt und je größer die Entmischungsneigung der Substrate sind, desto höher wird der Kraftbedarf zur Homogenisierung sein. Folgende Rangfolge läßt sich bilden:

Rindergülle < Schweine-/Hühnergülle < Festmist < siliertes sowie frisches Mähgut  
(in Abhängigkeit des Feststoffgehaltes)

Analogien dazu lassen sich bilden bei Schlemphen, Flotatfetten sowie Schäl- und Putzreste von Gemüse. Heute verwerten viele Landwirte solche Substrate, da damit der Biogasertrag deutlich gesteigert werden kann.

Dies erfordert eine Anpassung der Aufbereitungstechnik, wobei bei Bedarf eine mechanische Vorzerkleinerung fester Materialien zum Einsatz kommt. Beim Einsatz von Futterpflanzen – oder NaWaRos – erfolgt die Zerkleinerung sinnvollerweise bereits bei der Ernte mit einem Exaktfeldhäcksler. Halmgut wird in der Regel auf 3 bis 5 cm Schnittlänge zerkleinert und siliert. Wurzelfrüchte werden üblicherweise gemust und in Breiform angesäuert gelagert.

Die mechanische Aufbereitung von NaWaRos u. dgl. und deren getrennter Eintrag – Fütterung – in den Fermenter ist mittlerweile Stand der Technik. Sie kann erweitert werden durch eine Erwärmung der Substrate vor dem Eintrag.

Bei der Vergärung von hygienisierungspflichtigen Substraten, das sind in der Regel Stoffe tierischen Ursprungs (z.B. Flotatfette), wird dem Gärreaktor eine Hygienisierungseinrichtung vorgeschaltet. Diese Geräte werden absätzig betrieben. Zur Zeit gilt als ausreichende Behandlung die Erhitzung auf 70°C über mindestens eine Stunde. Die Einhaltung der Temperatur sowie der Zeit ist mittels eines Temperaturschreibers aufzuzeichnen und nachzuweisen.

## 4. EINTRAGSTECHNIK

### 4.1. Pumpen für Gülle und andere Schlämme

Die Pumpen zur Gülleförderung müssen besondere Eigenschaften aufweisen, da die Gülle oftmals Einstreu sowie Futterreste enthält. Leidvolle Erfahrungen vieler Landwirte mit der Pumpentechnik spiegeln sich in der Feststellung: „Pumpen sind Lumpen“ (gleichbedeutend wie: unzuverlässige Gesellen) wieder. Dabei wird oftmals verschwiegen, daß Pumpen für ungeeignete Medien sowie mit überhöhten Anforderungen (u.a. Förderhöhe, Trockenlaufbedingungen) eingesetzt werden. Fremdkörper bewirken das übrige. Ausgehend von der Jauchepumpe wurden verschiedene Pumpenarten permanent weiterentwickelt. Es stehen mittlerweile für beinahe jeden Einsatzfall bewährte Bauformen zur Verfügung. In der landwirtschaftlichen Pumpentechnik für Flüssigmist u.ä. können drei Pumpenvarianten unterschieden werden: Kreiselpumpen, Verdrängerpumpen und Kolbenpumpen.

Kreiselpumpen eignen sich zum Fördern von Flüssig- und Feststoffgemischen bei Förderströmen von 0,25 bis 30 m<sup>3</sup>/min. Flüssigmist-Kreiselpumpen werden im Leistungsbereich von 2 bis 4 m<sup>3</sup>/min eingesetzt. Kreiselpumpen saugen die Gülle nicht selbsttätig an, d.h. die Ansaugöffnung muß beim Start geflutet sein. Bei geringeren Drücken können größere Volumina gefördert werden. Allgemein sinkt bei zunehmender Förderhöhe, oder Gegendruck, die Fördermenge bei gleichbleibender Leistungsaufnahme. Üblich ist bei Gülle eine maximale Betriebsförderhöhe von ca. 4 m. Die Pumpen werden sowohl zur Naßaufstellung (Tauchpumpen) als auch zur Trockenaufstellung angeboten. Um ein Verstopfen der Pumpe durch langfaserige Feststoffe in der Gülle zu verhindern, werden spezielle Laufradformen und Reißwerkzeuge eingesetzt.

Vor allem aus Preisgründen ist der Einsatz einer Kreiselpumpe als Befüllpumpe je nach Gärmaterial, Bauart des Fermenters, Rohrleitungsdimensionen sowie je nach Höhenunterschieden empfehlenswert.

Im Gegensatz zu den Kreiselpumpen sind die Verdrängerpumpen selbsttätig ansaugend. Die rotierenden Werkzeuge im Gehäuse sind mehr oder weniger verschleißanfällig beim Trockenlauf. Mit dieser Pumpenbauart können zehnfach höhere Drücke erzeugt werden, wobei bei konstanter Drehzahl sich die Fördermenge bei zunehmender Förderhöhe nicht im selben Maß wie bei Kreiselpumpen reduziert. In einer Biogas-Anlage kann die Gesamtförderhöhe mehr als 12 m betragen, wobei über 3 m angesaugt sowie über 9 m gedrückt wird. Während bei Kreiselpumpen der maximal zulässige Feststoffanteil in der Gülle bei ca. 9 % liegt, werden in der Praxis mit Verdrängerpumpen Substrate bis zu einem TS-Gehalt von 13 % betrieben. Die Leistung der Pumpe wird aber nicht nur durch den Feststoffgehalt begrenzt. Ebenso von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist der Anteil an faserigen Bestandteilen (z.B. Langstroh, Heu), die schon bei geringeren Konzentrationen die Pumpenwerkzeuge

zum Stillstand bringen können. Im allgemeinen wird den Verdrängerpumpen eine hohe Anfälligkeit gegen Fremdkörper zugesprochen. Die Vorzüglichkeit der Verdrängerpumpen ist darin gegeben, daß die Beschickung des Fermenters bei beliebig geringer Drehzahl (< 200 U/min) und somit geringem Förderstrom erfolgen kann (Drücke! siehe Kreiselpumpe). Ferner entleert sich die Druckleitung nicht, da die Rotoren bei ordnungsgemäßigem Zustand im Stillstand ausreichend abdichten.

Eine etwas seltene Pumpenbauart – die Reifenpumpe – soll hier nicht unerwähnt sein. Zur Förderung geringer Volumen homogener Schlämme, wie Gülle, bei vergleichsweise geringen Drücken wird diese Pumpenbauart bei einigen Biogasanlagen eingesetzt.

#### **4.2. Feststoff-Eintragstechnik**

In der Praxis setzt sich vermehrt durch, den Fermenter gezielt mit energiereichen Feststoffen zu beschicken. Hierbei kann die Eintragstechnik unterschieden werden in Pumpstechnik für breiförmige Schlämme – gemuste Rüben u. dgl. –, Einspülverfahren, Eintrag über Förderschnecken sowie über Preßkolben.

Für breiförmige Stoffe gilt das bereits oben genannte. Beim Einspülverfahren werden die Gärmaterialien in den Fermenter über einen Schlammstrom eingetragen. Dafür ist in der Decke des Fermenters oder an der Wand ein Spülrohr oder –schacht angebracht. In der Regel wird Gärschlamm über eine Pumpe aus dem Fermenter abgezogen und über das Rohr oder den Schacht wieder zugeführt. Der Feststoff wird dabei dem Flüssigkeitsstrom dosiert beigegeben. Das Einspülen erfordert eine erhebliche Förderleistung der Pumpe, da in Abhängigkeit der Geometrie des Spülrohres oder –schachtes ein Vielfaches der zugegebenen Menge umgepumpt wird. Üblicherweise wird nur einmal am Tag eingespült. Der Spülvorgang ist überwachungsbedürftig. Deshalb ist eine mehrmalige Dosierung pro Tag aus arbeitswirtschaftlichen Gründen ungünstig.

Der Eintrag von Feststoffen aus einer Vorlage über Förderschnecken kann weitgehend automatisiert werden. Damit ist ein gesteuertes mehrmaliges „Füttern“ des Fermenters möglich. Der Eintrag erfolgt von oben durch die Decke oder von der Seite durch die Wand. Das Mantelrohr der Schnecke endet jeweils unterhalb des Füllstands im Fermenter um die Gasdichtigkeit zu gewährleisten. Die Lage der Eintragsschnecke bedingt, daß bei Hochbehältern vor der Eintragsschnecke ein entsprechender Hochförderer installiert wird. Das Prinzip wurde der Futtermisch- und –mahltechnik sowie Fütterungstechnik entlehnt. So stammt ein praxistaugliches Gerät aus der Fütterungs- und Dosiertechnik für CCM (Corn Cob Mix). Der Energieaufwand zum Eintrag der Gärstoffe ist im Vergleich zu den derzeitigen Alternativen gering, da „nur“ das Substrat gefördert wird und „kein“ Förderdruck benötigt wird. Diese Eintragstechnik erfordert jedoch, daß die Feststoffe kurz gehäckselt sind.

Unter der Bezeichnung Druck- und Preßentmischung sind Förderkolben seit längerem Bestandteil der Festmisttechnik. Die Druckentmischung weist den Vorteil auf, daß die Mistlagerstätte relativ unabhängig von der Lage der Mistachse im Stall sein kann. In aller Regel ist eine problemlose Anpassung an die baulichen Gegebenheiten und Platzverhältnissen eines Betriebes möglich. Der hydraulisch betriebene Förderzylinder preßt den Festmist oder andere Feststoffe in das Druckrohr. Je nach Hersteller beträgt die Druckkraft bis zu 35 t. Bögen in der Leitung sowie deren Länge erhöhen entsprechend den Leistungsbedarf. Bei neueren Entwicklungen wurde diese Technik aufgegriffen und adaptiert. Bei einem Verfahren ist über dem Kolbenraum ein Bunker mit Reißwalzen, die das Gut auflockern und dosieren, angebracht. Der Preßkanal mündet direkt im Fermenter, je nach Lage unten oder höher unter dem Flüssigkeitspegel. Damit kein Gärwasser über den Preßkanal austreten kann, verschließt nach dem Preßvorgang vor dem Druckkolben ein Messerschieber den Kanal. Erste Betriebserfahrungen zeigen, daß sich der hoch verdichtete Preßstrang im Fermenter während des Rührens auflöst. Die Feststoffe im Preßstrang können bei entsprechender Leitungslänge über eine beheiztes Mantelrohr bereits auf annähernd Betriebstemperatur gebracht werden.

## 5. ROHRTECHNIK

Bei mit Druck beaufschlagten Rohrsystemen werden Siederohre (Stahl) oder VA-Rohre sowie PVC-, PE-, oder PP-Druckrohre (Nenndruckbereich: 6 bis 10 bar) eingesetzt. Stahlrohre werden untereinander mit Norm-Stahlflanschen verbunden, während bei PVC-Druckrohren die Verklebung, bei PE und PP die Verschweißung angewendet wird. Im allgemeinen werden bei Druckrohren die Nennweiten 125 bis 200 mm eingebaut. Substrate mit geringem Feststoff- und Fasergehalt werden in Rohren mit einem Durchmesser von ca. 100 mm gepumpt.

Die Leistungsauslegung der Förderpumpe richtet sich auch nach dem Druckverlust der Rohrleitung sowie der Armaturen und Formstücke. Bei feststoffhaltigen Substraten, wie z.B. Gülle wird der erhöhte Druckverlust durch einen 20 % igen Zuschlag berücksichtigt.

Bei der Verlegung von Rohren ist immer darauf zu achten, daß keine Gefahr durch Einfrieren besteht. Ebenfalls ist bei der Rohrverbindung zwischen einzelnen Gewerken eine mögliche Lageveränderung (Setzen) so zu berücksichtigen, daß davon keine Gefahr des Rohrbruches ausgeht. Anschlüsse an Behälter sollten möglichst einsehbar und somit kontrollierbar sein. Es steigert nicht gerade Die Wertschöpfung sowie das Wohlbefinden des Betriebsleiters, wenn durch Rohrleitungsmängel der Hofraum nach zwei Jahren wieder aufgerissen werden muß.

## 6. FERMENTERTECHNIK

Die Vergärung wird allgemein in zwei Verfahrenstypen eingeteilt: die Naß- und die Trockenvergärung. Die Übergänge sind fließend. Beide Grundverfahren haben eine lange Entwicklungsgeschichte, wobei sich die Naßvergärungsverfahren speziell in der Landwirtschaft durchgesetzt haben. Deshalb wird hier insbesondere darauf eingegangen.

Die Geschichte kennt ein Vielzahl Fermenterbauarten. In der Praxis weit verbreitet sind zwei Grundtypen: der Rührkessel- und der Gärkanalreaktor, mit je nach Hersteller recht bunten Namen. Die Rührkesseltypen bestehen in der Regel aus einem stehenden zylindrischen Behälter, die Gärkanaltypen aus einem liegenden Behälter mit einem runden oder eckigen Querschnitt.

Der Fermenter ist mit einem oder mehreren Röhreinrichtungen ausgestattet. Diese soll für die notwendige Durchmischung des Gärschlammes sorgen, die Ausbildung von Schichten verhindern sowie den Gasaustritt beschleunigen. Bei der Auswahl ist der Energiebedarf zu berücksichtigen, da dieser die Nettoenergieausbeute reduziert. Ferner ist darauf zu achten, daß das Rührwerk den gesamten Behälterinhalt durchmischt. In Abhängigkeit der Behältergeometrie sind Rührwerke, die das Gärmaterial vertikal durchmischen, zu bevorzugen. Nicht zuletzt ist darauf zu achten, daß Rührwerke und deren Antriebe in gewissen Abständen zu warten sind.

Das Gärmaterial muß erwärmt werden, damit die Gasbildung in einer akzeptablen Zeit auch weitgehend stattfindet. In der Praxis kleiner und mittlerer Anlagengrößen hat sich durchgesetzt, daß das frische Gärmaterial durch ein im Behälter eingebautes Heizsystem – auf Warmwasserbasis – erwärmt wird. Bei Großanlagen hat sich die externe Erwärmung mittels Wärmeübertrager bewährt. Ob interne oder externe Heizsysteme ist eine Frage der Invest- und Betriebskosten. Generell ist es von Vorteil, wenn bereits erwärmtes Substrat in der Fermenter eingebracht wird.

Für die Gärprozeßführung stehen als unmittelbare Meßgrößen lediglich die Temperatur sowie der pH-Wert zur Verfügung. Mittelbare Meßgrößen – da in Abhängigkeit vom Substrat, der Menge sowie dem Beschickungsintervall – sind die Gasmenge und die –qualität. Je einheitlicher das Substrat und je gleichmäßiger die „Fütterung“ ist, desto aussagekräftige sind die Meßwerte. Durch Probenentnahme und –analyse können weitere Meßgrößen gewonnen werden. Ein wichtiger Parameter hierbei sind die kurzkettingen Carbonsäuren, wie die Essig-, die Propionsäure und andere.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen eröffnet sich für die Landwirtschaft ein neuer Markt abseits von Nahrungsmittelproduktion und Dienstleistungssektor. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, daß dafür keine „neuen“ Fermentertypen notwendig sind. Vielmehr war und ist es erforderlich, praxistaugliche Aufbereitungs- und Dosiertechniken zu entwickeln. Erst damit kann die Bakterienkultur im Fermenter „mundgerecht“ gefüttert werden, erst damit kann der Prozeß optimiert werden.

Mit der bedarfsgerechten Tierfütterung wurden bedeutsame Fortschritte in der tierischen Produktion erzielt, wie die Agrargeschichte zeigt. In dem Maße, wie eine solche Herangehensweise in der Biogastechnik Einzug hält, werden heute und in Zukunft auch hier noch erhebliche Steigerungen zu erwarten sein.