

3

Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung

Die Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung weist ein sehr breites Spektrum auf. Dieses Spektrum wird in diesem Kapitel dargestellt. Die Möglichkeiten der Komponenten- und Aggregatkombinationen sind nahezu unbegrenzt. Aus diesem Grund werden die Einzelaggregate mit technischen Beispielen diskutiert. Für den konkreten Anwendungsfall muss jedoch eine fallspezifische Prüfung der Aggregat- und Systemeignung und eine Leistungsanpassung durch Fachpersonal durchgeführt werden.

Weit verbreitet ist bei der Biogasanlagenerrichtung die Übernahme des Auftrages für die Komplettanlage durch einen einzelnen Anbieter, was mit Vor- und Nachteilen für den Bauherrn verbunden ist. Bei einem Einzelanbieter kann als vorteilhaft angesehen werden, dass die eingesetzte Technik in der Regel aufeinander abgestimmt ist und Gewährleistung für die Einzelaggregate und die Gesamtanlage übernommen wird. Damit ist auch die Funktionalität eingeschlossen, die die Erzeugung des Biogases umfasst. Die Übergabe wird häufig erst nach der Inbetriebnahme vereinbart, womit das Risiko der relativ schwierigen Einfahrphase auf den Anlagenhersteller übergeht. Nachteilig ist der relativ geringe Einfluss des Bauherrn auf die Zusammenstellung der Technik im Detail, die eine Kostensenkung zur Folge haben kann.

3.1 Merkmale und Unterscheidung verschiedener Verfahrensvarianten

Die Erzeugung von Biogas durch anaerobe Fermentation wird in verschiedenen Verfahrensvarianten durchgeführt. Typische Varianten zeigt Tab. 3-1.

Tabella 3-1: Einteilung der Verfahren zur Biogaserzeugung nach verschiedenen Kriterien

Kriterium	Unterscheidungsmerkmale
Anzahl der Prozessstufen	- einstufig - zweistufig - mehrstufig
Prozesstemperatur	- psychrophil - mesophil - thermophil
Art der Beschickung	- diskontinuierlich - quasikontinuierlich - kontinuierlich
Trockensubstanzgehalt der Substrate	- Nassvergärung - Trockenvergärung

3.1.1 Anzahl der Prozessstufen

Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen kommen meist ein- oder zweistufige Verfahren zur Anwendung, wobei der Schwerpunkt bei den einstufigen Anlagen liegt /3-1/.

Bei einstufigen Anlagen findet keine räumliche Trennung der verschiedenen Prozessphasen der Vergärung (Hydrolyse, Versäuerungsphase, Essigsäurebildung und Methanbildung) statt. Alle Prozessphasen werden in einem Behälter durchgeführt.

Bei zwei- bzw. mehrstufigen Verfahren wird eine räumliche Trennung der Phasen auf verschiedene Behälter vorgenommen. Bei den zweistufigen Verfahren werden beispielsweise die Hydrolyse und die Versäuerungsphase in einem externen Behälter durchgeführt.

3.1.2 Prozesstemperatur

Mesophile Biogasanlagen werden mit Temperaturen zwischen 32 und 38 °C, thermophile Anlagen zwischen 42 und 55 °C betrieben. Dabei sind die Grenzen schwimmend. Die Fermentertemperatur kann darüber hinaus in Abhängigkeit des eingesetzten Substrates optimiert werden. 85 % der landwirtschaftlichen Biogasanlagen arbeiten im mesophilen Bereich. Im thermophilen Bereich arbeitende Anlagen sind teilweise mit einer mesophilen Prozessstufe kombiniert /3-2/.

3.1.3 Art der Beschickung

Die Beschickung oder auch Fütterung der Biogasanlage bestimmt in hohem Maße die Verfügbarkeit von frischem Substrat für die Mikroorganismen und wirkt sich damit auf die Biogasfreisetzung aus. Es wird grundsätzlich zwischen kontinuierlicher, quasikontinuierlicher und diskontinuierlicher Beschickung unterschieden.

3.1.3.1 Diskontinuierliche Beschickung

Bei der diskontinuierlichen Beschickung wird zwischen Batchverfahren und Wechselbehälterverfahren unterschieden. Die diskontinuierliche Beschickung hat die größte Bedeutung in der Trockenfermentation.

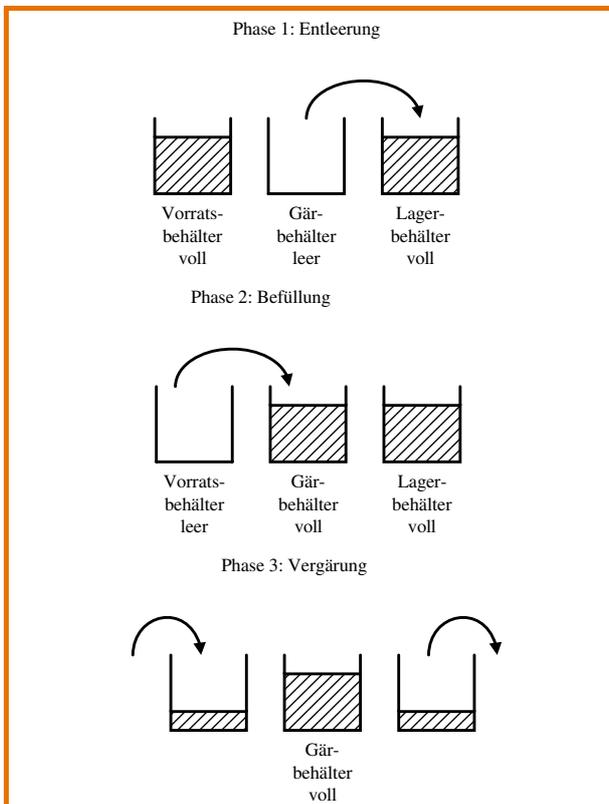


Abb. 3-1: Batchverfahren

Batchverfahren

Bei dem Batchverfahren wird der Fermenter komplett mit frischem Substrat gefüllt und luftdicht verschlossen. Das Substrat bleibt bis zum Ende der gewählten Verweilzeit in dem Behälter, ohne dass Substrat hinzugefügt oder entnommen wird. Nach Ablauf der Verweilzeit wird der Fermenter geleert und mit frischem Substrat befüllt, wobei ein geringer Teil des ausgefaulten Materials zur Animpfung im Behälter verbleiben kann. Zur zügigen Befüllung und Leerung des Batchbehälters wird zusätzlich ein Vorrats- und ein Lagerbehälter benötigt.

Bei dem Batchverfahren setzt die Gasproduktion nach der Befüllung langsam ein und nimmt nach Erreichen des Maximums wieder ab. Eine konstante Gasproduktion und -qualität ist somit nicht gegeben. Die Verweilzeit kann durch die Behältergröße eingestellt werden und wird sicher eingehalten /3-2/. Der Verfahrensablauf wird in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt.

Wechselbehälter-Verfahren

Das Wechselbehälter-Verfahren arbeitet mit zwei Gärbehältern. Der erste Behälter wird langsam und gleichmäßig mit Substrat aus einer Vorgrube befüllt, während das Substrat im zweiten vollgefüllten Behälter ausfällt. Ist die Befüllung des ersten Behälters abgeschlossen, wird der zweite Behälter in einem Zug komplett in einen Lagerbehälter entleert und anschließend wieder langsam befüllt. Das Verfahren veranschaulicht Abbildung 3-2.

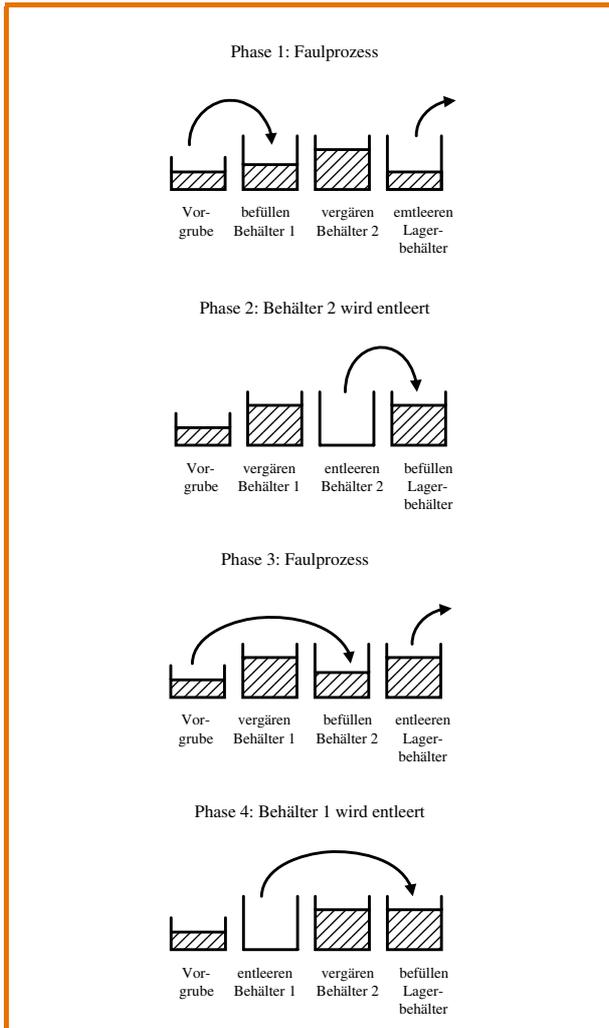


Abb. 3-2: Wechselbehälter-Verfahren

Durch die Verwendung mehrerer Behälter, ist eine gleichmäßige Gasproduktion möglich. Definierte Verweilzeiten können auch mit diesem Verfahren garantiert werden /3-2/.

3.1.3.2 Quasikontinuierliche und kontinuierliche Beschickung

Bei der quasikontinuierlichen und der kontinuierlichen Beschickung kann zwischen Durchflussverfahren, Speicherverfahren und dem kombinierten Speicher-Durchflussverfahren unterschieden werden. Im Gegensatz zur kontinuierlichen Beschickung wird bei der quasikontinuierlichen Beschickung mindestens einmal arbeitstäglich eine unvergorene Substratcharge in den Fermenter eingebracht. Vorteilhaft hat sich eine Beschickung in kleinen Chargen mehrmals täglich erwiesen.

Durchfluss-Verfahren

Die meisten Biogasanlagen arbeiten nach dem Durchflussverfahren. Aus einem Vorratsbehälter bzw. einer Vorgrube wird das Substrat mehrmals täglich in den Faulbehälter gepumpt. Die gleiche Menge, die dem Fermenter an frischem Substrat zugegeben wird, gelangt über Verdrängung oder Entnahme in das Gärrestlager (vergleiche Abb. 3-3).

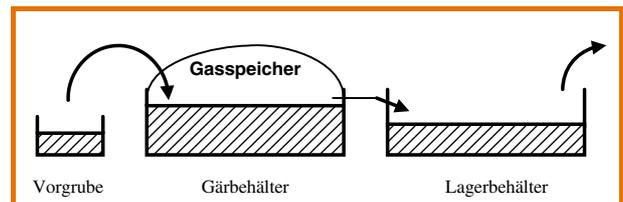


Abb. 3-3: Durchfluss-Verfahren

Der Fermenter ist bei diesem Verfahren somit immer gefüllt und wird nur für Reparaturarbeiten geleert. Dieses Verfahren weist eine gleichmäßige Gasproduktion und eine gute Faulraumauslastung auf. Es besteht jedoch die Gefahr der Kurzschlussströmung durch den Fermenter, d. h. es ist damit zu rechnen, dass ein geringer Teil des frisch eingebrachten Substrates sofort wieder ausgetragen wird /3-2/.

Speicher-Verfahren

Fermenter und Gärrestlager sind bei dem Speicherverfahren zu einem Behälter zusammengefasst. Beim Ausbringen des ausgefaulten Substrats wird der kombinierte Faul- und Lagerbehälter bis auf einen Rest, der zum Animpfen des frischen Substrates benötigt wird, geleert. Anschließend wird der Behälter aus einer Vorgrube durch ständige Substratzugabe langsam befüllt. Der Verfahrensverlauf kann Abb. 3-4 entnommen werden. Die Gasproduktion ist weniger gleichmäßig als beim Durchflussverfahren, dagegen können lange Verweilzeiten besser eingehalten werden /3-2/.

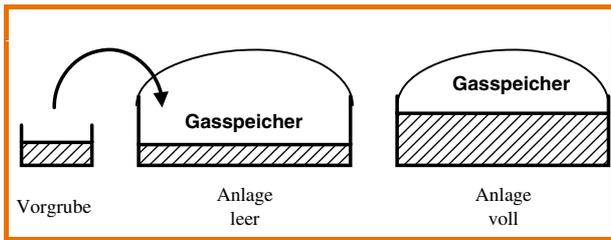


Abb. 3-4: Speicher-Verfahren

Kombiniertes Durchfluss-Speicher-Verfahren

Bei Biogasanlagen, die nach dem kombinierten Durchfluss-Speicher-Verfahren arbeiten, ist das Gärrestlager ebenfalls abgedeckt. So kann das hier anfällende Biogas aufgefangen und verwertet werden. Das Gärrestlager fungiert so als „Speicheranlage“. Diesem Speicheranlagenteil ist ein Durchflussfermenter vorgeschaltet. Auch aus dem Durchflussfermenter kann, wenn z. B. Bedarf an viel vergorenem Substrat zu Düngezwecken besteht, Substrat entnommen werden. Eine schematische Verfahrensübersicht zeigt Abb. 3-5. Das Verfahren erlaubt eine gleichmäßige Gasproduktion. Die Verweilzeit kann nicht exakt bestimmt werden, da Kurzschlussströmungen im Durchflussfermenter möglich sind /3-2/.

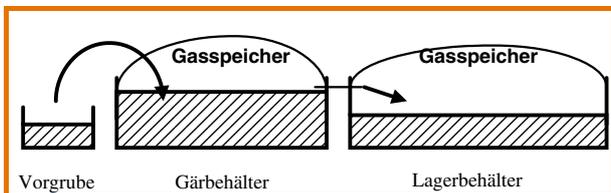


Abb. 3-5: Kombiniertes Durchfluss-Speicher-Verfahren

Tabelle 3-2: Eigenschaften von Biogasreaktoren mit Pfropfenströmung; nach /3-3/ und /3-1/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Baugröße bei liegenden Fermentern bis 800 • aus Stahl oder Beton
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für pumpfähige Substrate mit hohem Trockensubstanzgehalt geeignet; Rühr- und Fördertechnik muss an Substrate angepasst werden • für quasikontinuierliche bzw. kontinuierliche Beschickung vorgesehen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + kompakte, kostengünstige Bauweise bei Kleinanlagen + Trennung der Gärstufen im Pflöfenstrom + bauartbedingte Vermeidung von Schwimmdecken und Sinkschichten + Einhaltung von Verweilzeiten durch weitgehende Vermeidung von Kurzschlussströmungen + geringe Verweilzeiten + effektiv beheizbar, auf Grund der kompakten Bauweise geringe Wärmeverluste
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - nur in geringen Größen wirtschaftlich herstellbar - Wartungsarbeiten am Rührwerk erfordern die vollständige Entleerung des Gärbehälters
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • können horizontal liegend und vertikal stehend hergestellt werden, wobei sie meist liegend angewendet werden • in stehender Bauform wird die Pflöfenströmung meist durch vertikale, selten durch horizontale Einbauten realisiert • können mit und ohne Durchmischungseinrichtungen betrieben werden

3.1.4 Trockensubstanzgehalt der Gärsubstrate

Die Konsistenz der Substrate ist von ihrem Trockensubstanzgehalt abhängig. Nassvergärungsverfahren arbeiten mit pumpfähigen Substraten. Bei der Trockenvergärung kommen stapelbare Substrate zum Einsatz.

Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen kommt fast ausschließlich die Nassvergärung zur Anwendung. Bei den ausgeführten Trockenvergärungsanlagen handelt es sich zum größten Teil um Versuchs- bzw. Pilotanlagen.

3.1.4.1 Nassvergärungsverfahren

Für die Vergärung pumpfähiger Substrate können Pflöfenströmungsverfahren, Verfahren mit Voll- durchmischung und Sonderverfahren zum Einsatz kommen.

Pflöfenströmungsverfahren

Biogasanlagen mit Pflöfenströmung, die auch als Tank-Durchflussanlagen bekannt sind, nutzen den Verdrängungseffekt von zugeführtem frischem Substrat, um eine Pflöfenströmung durch einen in der Regel liegenden Fermenter mit rundem oder rechteckigem Querschnitt hervorzurufen. Eine Durchmischung quer zur Strömungsrichtung wird meist durch Paddelwellen oder eine speziell konstruierte Strömungsleitung realisiert. Die Eigenschaften solcher Anlagen sind in Tabelle 3-2 charakterisiert. Der schematische Aufbau wird durch das Beispiel in Abb. 3-6 veranschaulicht.



Tabelle 3-3: Eigenschaften von volldurchmischten Biogasreaktoren; nach [3-3] und [3-1]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Baugröße bis oberhalb von 6000 m³ möglich, die Durchmischung und die Prozesskontrolle werden aber mit zunehmender Größe schwieriger zu realisieren • aus Stahl oder Beton
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für pumpfähige Substrate mit geringem und mittlerem Trockensubstanzgehalt geeignet; Rühr- und Fördertechnik muss an Substrate angepasst werden • für quasikontinuierliche, kontinuierliche und diskontinuierliche Beschickung geeignet
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + kostengünstige Bauweise bei Reaktorvolumina oberhalb 300 m³ + variabler Betrieb als Durchfluss-, Durchfluss-Speicher-, oder Speicherverfahren + technische Aggregate können je nach Bauart meist ohne Fermenterleerung gewartet werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Abdeckung der Fermenter ist bei großen Anlagen aufwändig - Kurzschlussströmungen sind möglich, dadurch keine Sicherheit bei der Verweilzeitangabe - Schwimmdecken- und Sinkschichtenbildung möglich
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • stehende zylindrische Behälter oberirdisch oder ebenerdig abschließend • können mit und ohne Durchmischung betrieben werden • die Durchmischungseinrichtungen müssen sehr leistungsfähig sein; bei ausschließlicher Güllevergärung kann auch eine pneumatische Umwälzung durch Biogaseinpressung eingesetzt werden • Umwälzungsmöglichkeiten: Rührwerke im freien Reaktorraum, axiales Rührwerk in einem zentralen vertikalen Leitrohr, hydraulische Umwälzung mit externen Pumpen, hydraulische Umwälzung durch Biogaseinpressung in ein vertikales Leitrohr, hydraulische Umwälzung durch flächige Biogaseinpressung durch Düsen am Reaktorboden

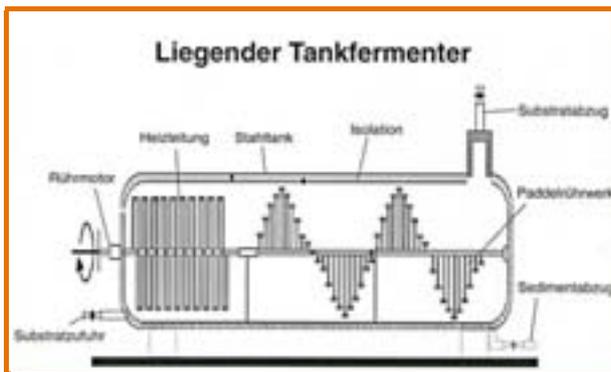


Abb. 3-6: Pfropfenstromreaktor [3-4]



Abb. 3-7: Volldurchmischter Fermenter, Schnittdarstellung: Biogas Nord GmbH

Verfahren mit Volldurchmischung

Vorwiegend im Bereich der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung werden volldurchmischte Reaktoren in zylindrischer, stehender Bauform angewendet. Sie entsprechen im Wesentlichen Standardgüllelagern, die nach entsprechenden Umbauten auch genutzt werden können. Die Fermenter bestehen aus einem Behälter mit Betonboden und Wänden aus Stahl oder Stahlbeton. Der Behälter kann ganz oder teilweise im Boden versenkt oder vollständig oberirdisch errichtet werden. Auf den Behälter wird gasdicht eine Decke aufgebaut, die je nach Anforderungen und Konstruktionsweise verschiedenartig ausgeführt wird. Die Volldurchmischung wird durch Rührwerke im bzw. am Reaktor realisiert. Die spezifischen Eigenschaften werden in Tabelle 3-3 dargestellt, ein Schnittbild zeigt Abb. 3-7.

Sonderverfahren

Abweichend von den oben genannten, sehr weit verbreiteten Verfahren für die Nassvergärung existieren weitere Verfahren, die nicht klar den oben genannten Kategorien zugeordnet werden können. Meist haben diese Verfahren lokale bzw. sehr geringe Bedeutung auf dem Markt.

Relativ weit verbreitet sind in Deutschland Vergärungsverfahren, die die Substratdurchmischung in **Doppelkammerverfahren** realisieren. Dabei wird die hydraulische Substratumwälzung durch automatischen Druckaufbau resultierend aus der Gasproduk-

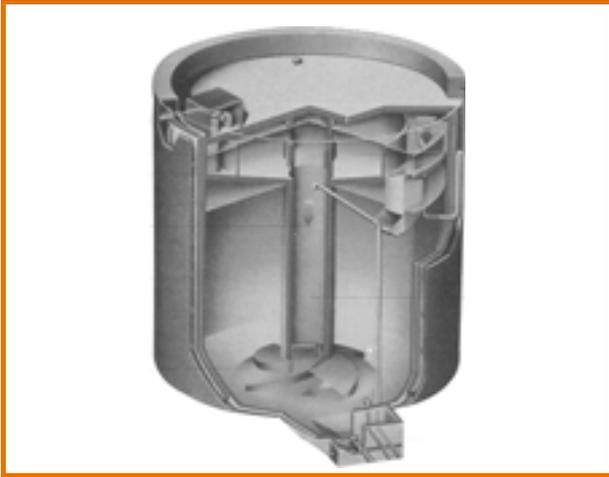


Abb. 3-8: Doppelkammer-Fermenter; Abbildung: ENTEC Environment Technology Umwelttechnik GmbH

tion und Druckablass bei Erreichen eines festgelegten Überdruckes erreicht. Dadurch kann auf den Einsatz elektrischer Energie für die Umwälzung verzichtet werden. Dafür ist der bauliche Aufwand für den Fermenter höher. Es wurden im landwirtschaftlichen Bereich über 50 auf dieser Technologie basierende Biogasanlagen mit Fermentervolumina zwischen 400 und 2500 m³ im Wesentlichen für die reine Gülle- oder Klärschlammvergärung errichtet. Der Aufbau eines Doppelkammer-Fermenters wird in Abb. 3-8 veranschaulicht.

3.1.4.2 Trockenvergärungsverfahren

Für landwirtschaftliche Betriebe, denen keine Gülle als Basissubstrat zur Verfügung steht, ist die Biogasgewinnung durch Nassvergärung mit großem technischem Aufwand zu realisieren. Um die Substrate für die Nassvergärung aufzubereiten, müssen sie mit hohem Energie- und Wasserbedarf verflüssigt bzw. angemischt werden. Eine Alternative ist hier die im Versuchs- oder Prototypenstadium befindliche Biogasgewinnung durch Trockenvergärung. Die derzeit auf dem Markt angebotenen Verfahren haben die Entwicklung jedoch weitgehend noch nicht abgeschlossen. Aus diesem Grund wird die Darstellung der Trockenfermentationsverfahren relativ kurz gehalten /3-5/, /3-6/. Die Spezifika der Trockenvergärung sind in Tabelle 3-4 zusammengefasst. Bei einer Weiterentwicklung der Verfahren und nach dem Ausräumen der vorhandenen Probleme könnte die Trockenvergärung für viehlose landwirtschaftliche Betriebe eine Alternative zur Nassvergärung bieten.

Containerverfahren

Im Containerverfahren werden Mobil- oder Einschub-Fermenter mit Biomasse befüllt und luftdicht verschlossen. Die im Impfsupstrat, das dem frischen Substrat beigemischt wird, enthaltenen Mikroorganismen erwärmen das Substrat in einer ersten Phase, in der dem Fermenter Luft zugeführt wird. Es findet ein

Tabelle 3-4: Eigenschaften der Trockenvergärung; nach /3-5/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Baugröße durch modulare Bauweise nicht begrenzt • Konstruktion aus Stahl oder Beton
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für stapelbare Substrate geeignet • für quasikontinuierliche, kontinuierliche und diskontinuierliche Beschickung geeignet
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + modularer Aufbau ermöglicht flexible Anpassung der Anlage an den Bedarf + verringerter Prozessenergiebedarf durch Einsparung von Fördertechnik + dadurch verminderter Wartungsaufwand und Verschleiß + Entstehung eines Biogases mit geringer Schwefelwasserstoffkonzentration und dadurch Einsparung der Gasreinigung + überbetrieblicher Einsatz durch mobile Fermentertechnik + Einsparung von Energie zur Erwärmung des Gärsubstrates durch Nutzung der biologischen Wärmefreisetzung bei kurzzeitigem aerobem Abbau des Materials
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - eine kontinuierliche Gasproduktion erfordert den phasenversetzten Betrieb mehrerer Module - auf Grund fehlender Durchmischung können Zonen mit verminderter Gasbildung auftreten - um einen hohen Gasertrag zu erzielen, ist der Einsatz hoher Impfmateriallengen notwendig - für die explosions sichere Befüllung und Entleerung muss Sicherheitstechnik installiert werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Container, Boxen • Schläuche, Tunnel • liegende Pfropfenstromfermenter





Abb. 3-9: Einschub-Fermenter mit Abrollcontainer, Prototypenstadium; Foto: Bioferm GmbH



Abb. 3-10: Boxen-Fermenter beim Befüllen, Prototypenstadium; Foto: Bioferm GmbH

mit Wärmefreisetzung verbundener Kompostierungsprozess statt. Nachdem die Betriebstemperatur erreicht ist, wird die Luftzufuhr abgeschaltet. Nachdem der eingetragene Sauerstoff verbraucht worden ist, werden Mikroorganismen aktiv, die wie in der Nassvergärung die Biomasse zu Biogas umsetzen. Das Biogas wird in an den Fermenter angeschlossenen Gassammelleitungen aufgefangen und der energetischen Nutzung zugeführt /3-1/. Ein Beispiel für ein Container-Trockenfermentationsverfahren ist in Abb. 3-9 dargestellt.

Boxen-Fermenter

Boxen-Fermenter ähneln geometrisch Containerfermentern, sie sind allerdings garagenartig aus Fertigbetonteilen aufgebaut /3-3/, /3-5/, /3-6/. Der Prozessablauf entspricht dem in Containerfermentern. Abb. 3-10 zeigt ein Beispiel.

Folienschlauch-Fermenter

Für Folienschlauch-Fermenter werden die aus der Siliertechnik bekannten Methoden der Folienschlauchsilierung verwendet. Auch hier wird der aerobe Kompostierungsprozess für die erste Erwärmung des

Substrates genutzt. Zur weiteren kontinuierlichen Wärmeeinbringung können die Schläuche auf einer Betonplatte, in der eine Fußbodenheizung integriert ist, verlegt werden. Zur Verminderung von Wärmeverlusten kann der Folienschlauch bei der Befüllung mit einer Wärmedämmung überzogen werden /3-5/. Über in den Schlauch integrierte Sammelleitungen wird das nach Verbrauch des Sauerstoffes gebildete Biogas gefasst und der Nutzung zugeführt. Ein Anwendungsbeispiel ist in Abb. 3-11 dargestellt.



Abb. 3-11: Folienschlauchbefüllung; Foto: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim

Wannen- bzw. Tunnelfermenter

Vergleichbar zu den Folienschlauchfermentern werden Vergärungssysteme entwickelt, die einen quasi-kontinuierlichen Prozess in Wannen bzw. Tunneln ermöglichen. Der Verfahrensablauf stimmt weitestgehend mit dem im Folienschlauch überein, lässt sich jedoch besser kontrollieren. Ein Beispiel für ein derartiges Verfahren wird in Abb. 3-12 dargestellt.

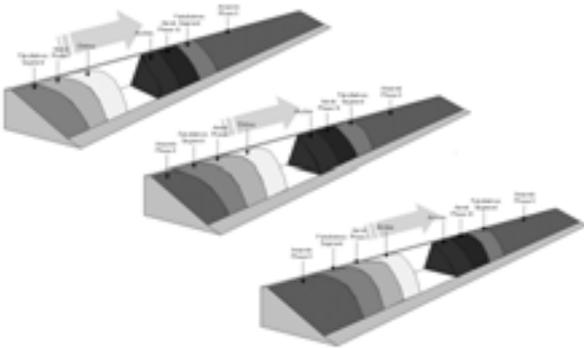


Abb. 3-12: Kombinierte Trockenfermentation mit dem 3-A-Verfahren, schematisch; Abbildung: S.I.G. - Dr.-Ing. Steffen GmbH

Pfropfenstromfermenter

Im Bereich der Abfallwirtschaft werden bereits seit einiger Zeit erfolgreich Pfropfenstromfermenter für die Trockenvergärung eingesetzt. Sie werden als liegende und als stehende Fermenter konstruiert und kontinuierlich oder quasikontinuierlich beschickt. Teilweise integrierte Rührwellen dienen der leichteren Entgasung des Materiales. In der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung spielen diese Verfahren auf Grund des hohen technischen Aufwandes der kontinuierlichen Technik jedoch derzeit keine Rolle. Abb. 3-13 veranschaulicht beispielhaft die Technologie. Der Schnittdarstellung eines Pfropfenstromfermenters entspricht Abb. 3-6.



Abb. 3-13: Pfropfenstromfermenter; Foto: Kompogas AG

3.2 Verfahrenstechnik

Grundsätzlich kann eine landwirtschaftliche Biogasanlage unabhängig von der Betriebsweise in vier verschiedene Verfahrensschritte unterteilt werden:

1. Anlieferung, Lagerung, Aufbereitung, Transport und Einbringung der Substrate
 2. Biogasgewinnung
 3. Gärrestlagerung und evtl. -aufbereitung und Ausbringung
 4. Biogasspeicherung, -aufbereitung und -verwertung
- Die einzelnen Schritte werden in Abb. 3-14 detailliert dargestellt.

Die vier Verfahrensschritte sind voneinander nicht unabhängig. Besonders zwischen Schritt 2 und Schritt 4 besteht eine enge Verbindung, da Schritt 4 normalerweise die in Schritt 2 benötigte Prozesswärme zur Verfügung stellt.

Die zu Schritt 4 gehörende Aufbereitung und Verwertung des Biogases ist in Kapitel 5 und die Aufbereitung und Behandlung des Gärrestes in Kapitel 8 gesondert dargestellt.

Welche verfahrenstechnische Ausrüstung für die Anlage gewählt wird, ist in erster Linie von den zur Verfügung stehenden Substraten abhängig. Die Menge der Substrate bestimmt die Dimensionierung aller Aggregate und der Behältervolumina. Die Qualität der Substrate (TS-Gehalt, Struktur, Herkunft usw.) bestimmt die Auslegung der Verfahrenstechnik. Je nach Zusammensetzung der Substrate kann es notwendig sein, Störstoffe abzutrennen oder die Substrate durch Zugabe von Wasser anzumaischen, um sie in einen pumpfähigen Zustand zu überführen. Werden Stoffe verwendet, die einer Hygienisierung bedürfen, ist es notwendig, eine Hygienisierungsstufe einzuplanen. Das Substrat gelangt nach der Vorbehandlung in den Fermenter, wo es vergoren wird.

Bei der Nassvergärung kommen meistens einstufige Anlagen, die nach dem Durchflussverfahren arbeiten, zum Einsatz. Bei zweistufigen Verfahren ist dem eigentlichen Fermenter ein Vorfermenter vorgeschaltet. Im Vorfermenter werden die Bedingungen für die ersten zwei Stufen des Abbauprozesses (Hydrolyse und Säurebildung) optimal eingestellt. Das Substrat gelangt nach dem Vorfermenter in den Hauptfermenter, in dem die nachfolgenden Abbaustufen stattfinden. Der Gärrest wird in geschlossenen Nachfermentern mit Biogasnutzung oder offenen Gärrestbehältern gelagert und in der Regel als Flüssigdünger auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht.

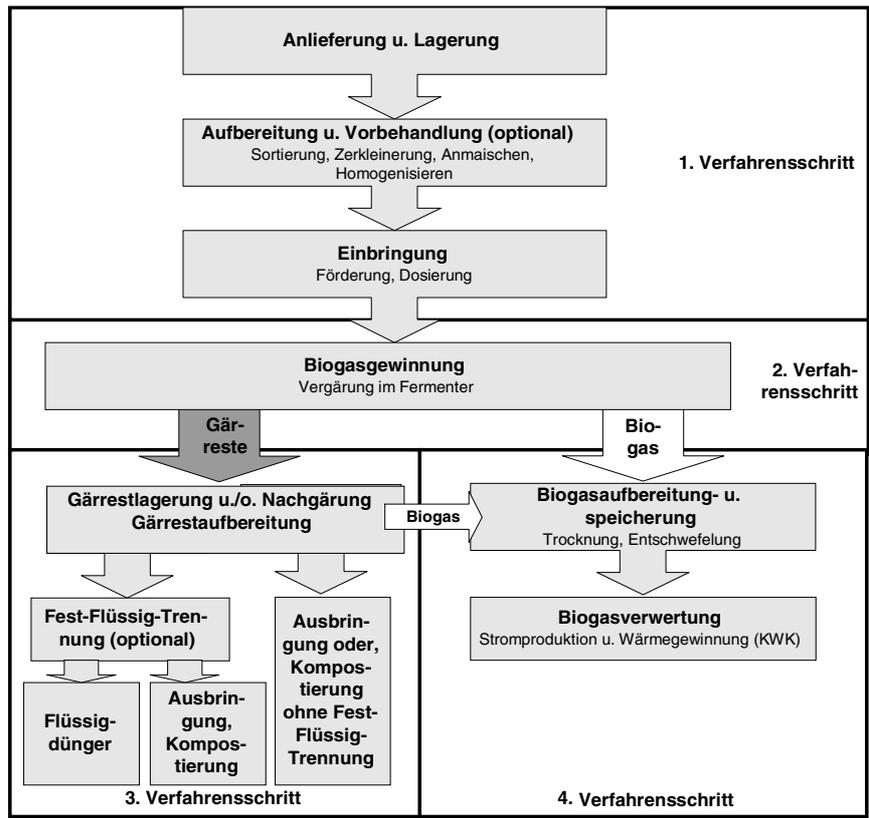


Abb. 3-14: Allgemeiner Verfahrensablauf bei der Biogasgewinnung; nach [3-3/]

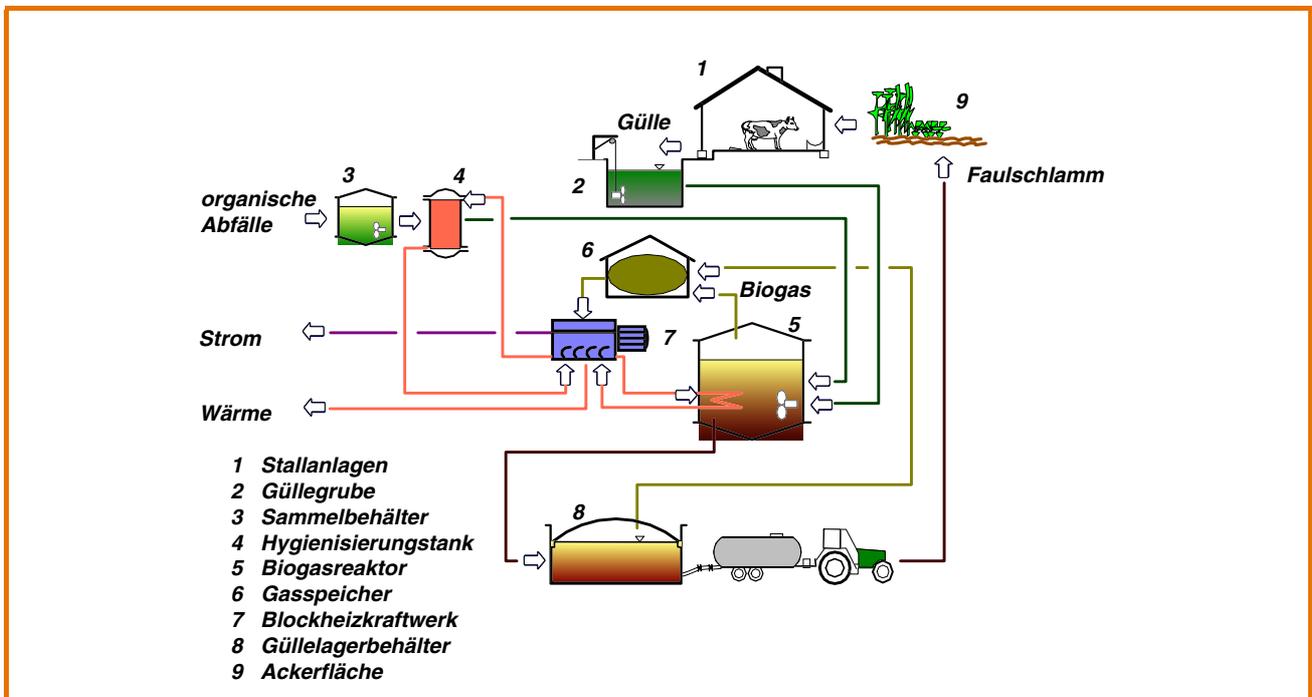


Abb. 3-15: Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Verwendung von Kosubstraten; Schema: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim

Das bei der Vergärung entstehende Biogas wird gespeichert und aufbereitet. Seine Verwertung erfolgt meistens in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme. In Abb. 3-15 sind die wesentlichen Anlagenkomponenten, Baugruppen und Aggregate einer einstufigen landwirtschaftlichen Biogasanlage bei Verwendung zu hygienisierender Kosubstrate dargestellt.

Die Verfahrensschritte stellen sich hier wie folgt dar: Zu dem ersten Verfahrensschritt (Lagerung, Aufbereitung, Transport und Einbringung der Substrate) gehören die Gülle- bzw. Vorgrube (2), der Sammelbehälter (3) und der Hygienisierungstank (4). Der zweite Verfahrensschritt (Biogasgewinnung) wird im Biogasreaktor (5), der auch als Fermenter bezeichnet wird, durchgeführt. Der dritte Verfahrensschritt wird durch den Güllelagerbehälter (8) bzw. das Gärrestlager und die Ausbringung des vergorenen Substrates auf die Ackerfläche (9) dargestellt. Der vierte Verfahrensschritt (Biogasspeicherung, -aufbereitung und -verwertung) wird in dem Gasspeicher (6) und dem Blockheizkraftwerk (7) durchgeführt. Die einzelnen Verfahrensschritte sollen im weiteren Verlauf genauer betrachtet werden.

3.2.1 Substrathandling

Die auf dem Weg der verschiedenen Substrate in den Biogasfermenter notwendigen Schritte werden unter dem Oberbegriff Substrathandling zusammengefasst. Im Einzelnen umfasst das Substrathandling die Anlieferung, die Lagerung, die Aufbereitung, den Transport und die Einbringung der Substrate.

3.2.1.1 Anlieferung

Die Anlieferung spielt nur bei der Verwertung von betriebsfremden Kosubstraten eine wichtige Rolle. Für die Abrechnung und Nachweisführung ist bei der Anlieferung eine Eingangskontrolle des Substrates, die in der Regel visuell durchgeführt wird, unerlässlich. Gleichzeitig ist das Anlieferungsgewicht zu erfassen und alle Eingangsdaten zu protokollieren. Besondere Beachtung ist Substraten zu widmen, die als Abfall klassifiziert sind. Hier kann je nach Einstufung des Abfalls eine Nachweisführungspflicht bestehen oder von der zuständigen Behörde gefordert werden. Weitere Informationen zu rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen können in Kapitel 7 nachgelesen werden.

3.2.1.2 Lagerung

Substratlager dienen in erster Linie dazu, Schwankungen bei der Bereitstellung und Anlieferung der verschiedenen Substrate und Kosubstrate auszugleichen. Die Gestaltung der Lager ist von den verwendeten Substraten abhängig. Die für die Lager benötigte Fläche richtet sich nach den zu erwartenden Stoffmengen und den auszugleichenden Zeiträumen. Werden betriebsfremde Kosubstrate verwendet, spielen vertragliche Bedingungen wie Abnahmemenge und Häufigkeit der Lieferung eine Rolle. Werden hygienisch bedenkliche Kosubstrate aus z. B. industrieller Herkunft verwendet, ist auf eine strikte Abtrennung der Annahmestation vom landwirtschaftlichen Betrieb zu achten. Es darf keine Vermischung von hygienisch bedenklichem und unbedenklichem Substrat vor dem Durchlauf durch die Hygienisierungseinrichtung möglich sein. Zur Minimierung von Gerüchen, aber auch aus praktischen Gesichtspunkten sollte die Annahme, Lagerung und Aufbereitung der Substrate in Hallen, deren Abluft über Biofilter gereinigt wird, durchgeführt werden. So ist die Technik geschützt und Bedien- sowie Kontrollarbeiten können witterungsunabhängig durchgeführt werden /3-1/. Tabelle 3-5 zeigt die Lagerung von Substraten im Überblick.

3.2.1.3 Aufbereitung

Art und Umfang der Substrataufbereitung beeinflussen den Ablauf des Gärprozesses und damit die Ausnutzung des energetischen Potenziales der verwendeten Substrate. Ziel der Aufbereitung muss es sein, auf der einen Seite gesetzlichen Ansprüchen wie der Hygienisierung und auf der anderen Seite den Mikroorganismen als Erzeuger des Methans, also des beabsichtigten Produktes, weitestgehend gerecht zu werden. In der Substrataufbereitung liegt eines der beiden großen Potenziale der Optimierung der Gesamtanlage. Dabei bewegt man sich auf dem Grat zwischen Unter- und Überlastung der Biogasanlage.

In der Klärgasproduktion bereits im Einsatz, in der Biomassevergärung noch im Forschungsstadium, kann bei der Aufbereitung das organische Material durch Desintegration aufgeschlossen werden. Damit kann eine bessere Verfügbarkeit des Substrates für die Mikroorganismen erreicht werden, die zu erhöhten Abbauraten führen soll. Da sich die Desintegration noch im Versuchsstadium befindet, wird sie hier nicht weiter ausgeführt.



Tabelle 3-5: Lagerung von Substraten vor der Vergärung

Dimensionierung	<ul style="list-style-type: none"> abhängig von: Substrataufkommen, Fermenterleistung, auszugleichenden Lieferzeiträumen, Flächenausstattung und Ertrag bei Kosubstraten, Lieferverträgen bei betriebsfremden Substraten Betriebsstörungen müssen abgefangen werden können
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> bei nachwachsenden Rohstoffen, die auf Stilllegungsflächen angebaut wurden, ist eine Denaturierung durchzuführen es sollte das Einfrieren von technischen Einrichtungen bei der Lagerung vermieden werden, beispielsweise durch Isolierung, Aufstellung von Lagertanks in Hallen oder Nutzung von Gruben unter Geländeniveau Abbauprozesse, die den Gasertrag mindern, sollten vermieden werden Vermischung von hygienisch bedenklichen und hygienisch unbedenklichen Substraten muss vermieden werden Geruchsentwicklung sollte durch bauliche Maßnahmen minimiert werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> in der Landwirtschaft übliche Lager als Fahrsilo oder Grube, für flüssige Substrate Tanks Vorgruben können als kurzfristige Lager bis zu circa drei Tagen genutzt werden
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> in der Regel sind Lager vorhanden, für Neubauten muss der Preis in Abhängigkeit der Vielzahl der oben genannten Einflussgrößen für den Einzelfall ermittelt werden

Sortierung und Störstoffabtrennung

Die Notwendigkeit einer Sortierung und Störstoffabtrennung hängt von der Herkunft und Zusammensetzung des Substrates ab. Steine, die den am häufigsten auftretenden Störstoff darstellen, werden meist in der Vorgrube abgetrennt, von deren Boden sie von Zeit zu Zeit entnommen werden müssen. Andere Störstoffe werden manuell bei der Substratanlieferung oder der Befüllung der Beschickungseinrichtungen aussortiert. Das größte Störstoffpotenzial haben Bioabfälle.

Hygienisierung

Um die gesetzlich vorgeschriebenen Kriterien für einige aus Sicht der Seuchen- und Phytohygiene kritische Stoffgruppen zu erfüllen, ist es unter Umständen notwendig, eine thermische Vorbehandlung in die Biogasanlage zu integrieren. Die Vorbehandlung erfolgt durch Erwärmung der Stoffe auf eine Temperatur von 70 °C bei mindestens einer Stunde Verweilzeit /3-7/.

Da die Größen der zur Hygienisierung verwendeten Behälter und der Energieaufwand von der Durchsatzmenge abhängen, wird die Hygienisierung in der Regel vor der Einbringung bedenklicher Kosubstrate in den Fermenter durchgeführt. So ist es möglich, nur die bedenklichen Stoffe zu hygienisieren und damit die Hygienestufe wirtschaftlicher zu dimensionieren. Die Stoffe werden außerdem thermisch aufgeschlossen und sind dadurch besser vergärbar.

Die Hygienisierung kann in beheizbaren Edelstahlbehältern durchgeführt werden. Verwendet werden häufig Behälter aus der Fütterungstechnik. Die Hygienisierung wird mittels Füllstands-, Temperatur- und Druckmesseinrichtungen überwacht und doku-

mentiert. Die Temperatur des Substrates ist nach der Hygienisierung höher als die im Fermenter vorherrschende Prozesstemperatur. Soll das hygienisierte Substrat direkt in den Fermenter gegeben werden, ist eine Abkühlung auf eine Temperatur im Bereich der Fermentertemperatur notwendig. Beispielhaft werden Hygienisierungsbehälter in Abb. 3-16 dargestellt, spezifische Eigenschaften von Hygienisierungsbehältern werden in Tabelle 3-6 zusammengefasst.

Zerkleinerung

Die Substratzerkleinerung erschließt Substratoberflächen für den biologischen Abbau und damit auch für die Methanproduktion. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass mit einem höheren Zerkleinerungsgrad die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus, aber nicht zwingend die Gasausbeute steigt. Die Methanproduktion folgt unter anderem aus dem Zusammenspiel von Aufenthaltszeit und Zerkleinerungsgrad. Daher muss großer Wert auf den richtigen Technikeinsatz gelegt werden. Die Zerkleinerung der Substrate kann vor der Einbringung bzw. Förderung installiert werden. Häufig ist jedoch eine direkte Kopplung von Zerkleinerung und Förderung oder sogar eine Vereinigung in einem einzelnen Aggregat zu verzeichnen. Der Antrieb der Aggregate erfolgt meist über einen Elektromotor, teilweise ist auch der Anschluss an die Antriebswelle eines Traktors möglich.

Für die direkte Feststoffeinbringung ist die Zerkleinerungstechnik meist im Vorlagebehälter installiert. Ein Beispiel zeigt Abb. 3-17. Eigenschaften von Zerkleinerungsaggregaten bei der direkten Feststoffdosierung werden in Tabelle 3-7 zusammengefasst.

Tabelle 3-6: Kennwerte und Einsatzparameter von Hygienisierungsbehältern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen: Hygienisierungsbehälter bis zu 50 m³ Inhalt werden in Biogasanlagen eingesetzt • Heizung: innenliegend oder Doppelwandbehälter • Dauer: Es müssen zu der einen Stunde Hygienisierungszeit Befüllvorgang, Aufheizen und Entleeren für die Dimensionierung berücksichtigt werden
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für die üblichen Hygienisierungsbehälter muss das Substrat pumpfähig sein und daher gegebenenfalls vor der Hygienisierung vorbehandelt werden
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • automatische Registriervorrichtung für den Hygienisierungsverlauf ist zwingend vorzusehen • das heiße hygienisierte Substrat sollte nicht direkt in den Fermenter gegeben werden, da die Biologie die hohen Temperaturen nicht verträgt • es darf keine Vermischung von hygienisch bedenklichem und unbedenklichem Material möglich sein • je nach Substrat ist mit der Ablagerung von Sand und Schwerstoffen zu rechnen • Druckausgleich bei der Erwärmung muss möglich sein
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • einwandige Edelstahlbehälter mit interner Heizung oder doppelwandige Edelstahlbehälter mit Wandheizung oder Gegenstromwärmetauschern bzw. außenliegenden Wärmetauschern
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • es ist mindestens ein Mannloch im Behälter vorzusehen • je nach installierter Technik (Temperaturfühler, Rührwerke, Pumpen) ist Wartung notwendig, der Behälter selbst sollte ohne Wartung auskommen



Abb. 3-16: Hygienisierung mit Rückkühlung
Foto: TEWE Elektronik GmbH & Co. KG

Einige pumpfähige Substrate müssen vor dem Durchlauf durch die Beschickungseinrichtung zerkleinert werden, um deren Funktion nicht zu gefährden. Die Zerkleinerung wird entweder vor Aufgabe der Substrate in die Vorgrube, in der Vorgrube, in der Pumpleitung vor der Förderpumpe oder direkt in der Fördereinrichtung durchgeführt. Die Möglichkeiten der Zerkleinerung werden in den Abb. 3-18 und 3-19 sowie den Tabellen 3-8 bis 3-11 dargestellt und erläutert.



Abb. 3-17: Vorlagebehälter
Fotos: Konrad Pumpe GmbH

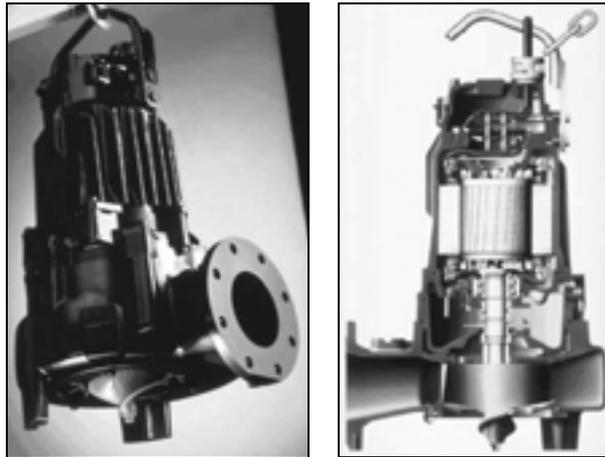


Abb. 3-18: Tauchpumpe mit Schneidkanten am Rotor als Beispiel der Einheit aus Zerkleinerungs- und Förderaggregat
Fotos: ITT FLYGT Pumpen GmbH

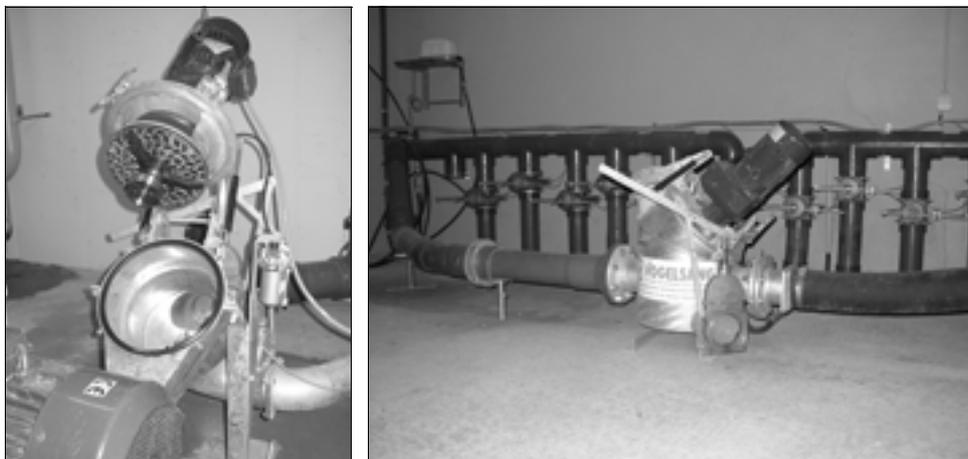


Abb. 3-19: Substratzerkleinerung in der Förderleitung; Fotos: Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH

Tabelle 3-7: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten bei der direkten Feststoffdosierung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • bis zu 50 t täglich können mit marktüblichen Einzelaggregaten zerkleinert werden
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • übliche Silagen, CCM, Mist aus der Viehhaltung (auch Geflügel), Altbrot, Gemüse • für langfaserige Stoffe sind Zahnwalzen eher geeignet
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + große Durchsatzmengen + einfache Befüllung mit Radlader oder Greifer + großes Vorratsvolumen zur automatisierten Steuerung von Zerkleinerung und Beschickung + Einsatz robuster Technik
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - mögliche Brückenbildung über dem Zerkleinerungswerkzeug, die aber stark von der Geometrie des Vorlagebehälters abhängt - vollständiger manueller Materialausbau im Havariefall
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Paddelwellen vermindern die Gefahr der Brückenbildung über dem Zerkleinerungswerkzeug
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Futtermischwagen mit installierten Schneidmessern als Feststoffdosierer • Vorlagebehälter mit schneidenden Schnecken zur Zerkleinerung und Förderung • Vorlagebehälter mit reißenden Paddelwellen zur Zerkleinerung und Förderung • Vorlagebehälter mit Dosierung des stapelfähigen Substrates durch ein Fräswerk
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • nach Herstellerangaben sind die Geräte wartungsarm, Wartungsverträge werden angeboten • die Wartung sollte innerhalb der Beschickungspausen möglich sein

Tabelle 3-8: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten vor Aufgabe des Substrates in die Vorgrube

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: z.B. 1 m³ pro Stunde und Kilowatt in der Mühle
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • Kartoffeln mit Steinen, Rüben, Grünabfälle (Mühle) • übliche Silagen, CCM, Mist aus der Viehhaltung (auch Geflügel), Altbrot, Gemüse; für langfaserige Stoffe sind Zahnwalzen eher geeignet (Futtermischwagen)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + leichte Zugänglichkeit des Aggregates bei Havarien + es kann ein Vorrat an zerkleinertem Substrat vorbereitet und vorgehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - bei Verstopfungen o.ä. muss das Aggregat mit der Hand entleert werden - manuelle Befüllung des Aggregates
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlagebehälter in verschiedenen Größen können installiert werden • die Höhe der Vorlagebehälter sollte an die verfügbare Maschinenteknik angepasst sein
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • freistehende Feststoffmühle • Einsatz von Futtermischwagen mit Schneid- oder Reißwerkzeugen möglich
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • kann vertraglich mit dem Hersteller vereinbart werden und ist in Abhängigkeit der verarbeiteten Substrate notwendig • für Überbrückung von Wartungsintervallen kann ein Vorrat an zerkleinertem Material vorgehalten werden

Tabelle 3-9: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsrührwerken in der Vorgrube

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsaufnahme: in den üblichen Größenordnungen der Rührwerkstechnik mit einem Leistungszuschlag um 6 kW bei Rührwerken mit 5-15 kW
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • Festmist, Speisereste, Grünschnitt, Stroh
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + direkte Feststoffaufnahme in die Vorgrube + keine zusätzlichen Aggregate notwendig
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - die Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter ist nur bis zur Grenze der Pumpfähigkeit des Substrates möglich - Gefahr der Schwimmdeckenbildung und Sinkschichtenbildung in Abhängigkeit des Substrates
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • bei direkter Feststoffeinbringung in den Fermenter, z. B. über Einspülschächte können Zerkleinerungsrührwerke auch im Fermenter eingesetzt werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • in der Regel als Rührwerksflügel mit Schneidmessern bzw. zusätzlicher Montage von Schneidmessern auf der Rührwerksachse
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • je nach Rührwerkstyp kann die Wartung ohne Prozessunterbrechung außerhalb der Vorgrube oder des Fermenters durchgeführt werden

Tabelle 3-10: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten in der Förderleitung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Zerkleinerer bis 150 m³/h Förderleistung bei 5 % TS (bei 1,5 - 11 kW) • Kenndaten der Aggregate hängen sehr stark vom Trockensubstanzgehalt ab, die Leistungen sinken mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt stark • Drehkolbenpumpen: bis 350 m³/h Zerkleinerungsleistung
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • Zerkleinerer: Substrate dürfen keine Steine enthalten, ansonsten für stapelbare und faserige Substrate • Drehkolbenpumpen: pumpfähige Substrate ohne größere Steine
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + leichte Zugänglichkeit des Aggregates bei Havarien + bei Verstopfungen können die Aggregate leicht geöffnet und gewartet werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - die Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter ist nur bis zur Grenze der Pumpfähigkeit des Substrates möglich
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • die Aggregate sollten durch Schieber von der Substratleitung getrennt werden können • für den Havariefall kann eine über Schieber zu bedienende Umgehung sinnvoll sein • erreichbare Partikelgrößen werden durch Auswahl der Schneid- oder Reißtechnik bestimmt • Zerkleinerer können mit Schwerstoffabscheidern ausgestattet werden • vor dem Aggregat sollte eine Schwerstoffabscheidung erfolgen
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Zerkleinerer mit rotierenden Messern vor einem Schneidsieb • Drehkolbenpumpenbauweise; Drehkolben können als Schneid- oder Reißwerkzeuge ausgeformt sein
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • freistehende Aggregate können schnell ohne lange Ausfallzeiten gewartet werden, Tauchpumpen können dafür leicht aus dem Substrat entnommen werden • Reinigungsöffnungen beschleunigen die Arbeiten erheblich

Tabelle 3-11: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten, die mit der Fördertechnik eine Geräteeinheit bilden

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Förderströme bis 350 m³/h • Förderhöhe bis 25 m • Leistungsaufnahme: 7,5 - 15 kW
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • pumpfähige Substrate mit langfaserigen Bestandteilen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + leichte Zugänglichkeit des Aggregates bei Havarien + bei Verstopfungen können die Aggregate leicht geöffnet und gewartet werden + keine zusätzlichen Förderaggregate notwendig
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - die Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter ist nur bis zur Grenze der Pumpfähigkeit des Substrates möglich - es lässt sich nur ein kleiner Teil des Stoffstroms zerkleinern; durch mehrmaliges Umpumpen kann der Anteil an geschnittenem Gut erhöht werden
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • die Aggregate sollten durch Schieber von der Substratleitung getrennt werden können • für den Havariefall kann eine über Schieber zu bedienende Umgehung sinnvoll sein • erreichbare Partikelgrößen werden durch Auswahl der Schneid- oder Reißtechnik bestimmt
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Kreiselpumpen; Laufrad mit Schneidkanten als trocken stehende Pumpe oder Tauchpumpe
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • freistehende Pumpen können schnell ohne lange Ausfallzeiten gewartet werden, Tauchpumpen können dafür leicht aus dem Substrat entnommen werden • Wartungsöffnungen verkürzen die Stillstandszeiten stark

Anmaischen, Homogenisieren

Das Anmaischen von Substraten ist notwendig, um in der Nassvergärung pumpfähige Substrate durch Erhöhung des Wassergehaltes herzustellen und diese dann in den Fermenter zu fördern. Es erfolgt in der Regel in der Vorgrube kurz vor Einbringung des Substrates in den Gärprozess. Als Flüssigkeit zum Anmaischen werden je nach Verfügbarkeit Gülle, bereits vergorene Biogasgülle, Prozesswasser oder im Ausnahmefall auch Frischwasser genutzt. Die Anwendung bereits vergorener Biogasgülle kann den Frischwasserbedarf senken und hat den Vorteil, dass das Substrat bereits vor Erreichen des Fermenters mit den Bakterien des Gärprozesses angeimpft wird. Daher bietet sich diese Vorgehensweise nach einer Hygienisierungsstufe oder in Pfropfenstromverfahren besonders an. Es ist allerdings darauf zu achten, dass durch Güllerrückführung die Anreicherung von Salz- und Nährstofffrachten möglich ist und der Prozessbiologie schaden kann. Auf die Nutzung von Frischwasser sollte aufgrund der hohen Kosten nach Möglichkeit verzichtet werden. Falls für das Anmaischen Wasser aus Reinigungsprozessen verwendet werden soll, ist zu bedenken, dass Desinfektionsmittel den Vergärungsprozess beeinträchtigen können, da die Wirkung solcher Mittel auch auf die Mikroorganismengemeinschaft im Fermenter negativ ist. Die für das Anmaischen verwendete Pumpentechnik wird im Abschnitt *Anmaischen* dargestellt.

Die Homogenität der zugeführten Substrate ist für die Stabilität des Vergärungsprozesses von hoher Bedeutung. Bei stark schwankender Belastung und

wechselnder Substratzusammensetzung müssen die Mikroorganismen sich an die veränderten Bedingungen anpassen, was meist mit einer Einbuße bei der Gasausbeute verbunden ist. Die Homogenisierung pumpfähiger Substrate wird meist in der Vorgrube mit Rührwerken durchgeführt. Die Technik der Rührwerke wird im Abschnitt *Rührwerke* vorgestellt. Die Vermischung entspricht in etwa den Systemen der volldurchmischten Fermenter (siehe Abschnitt *Verfahren mit Volldurchmischung*).

3.2.1.4 Substrattransport und -einbringung

Für einen stabilen Gärprozess ist aus prozessbiologischer Sicht ein kontinuierlicher Substratstrom durch die Biogasanlage der Idealfall. Da dieser in der Praxis kaum realisiert werden kann, ist eine quasikontinuierliche Zugabe des Substrates in den Fermenter der Regelfall. Die Zugabe des Substrates erfolgt in mehreren Chargen über den Tag verteilt. Daraus folgend werden alle Aggregate, die für den Substrattransport notwendig sind, nicht kontinuierlich betrieben. Dies spielt für die Auslegung eine sehr große Rolle.

Die Anlagentechnik für den Transport und die Einbringung hängt im Wesentlichen von der Beschaffenheit des Substrates ab. Es muss zwischen Technik für pumpfähige und stapelbare Substrate unterschieden werden.

Bei der Einbringung der Substrate ist deren Temperatur zu beachten. Bei großen Differenzen zwischen Material- und Fermentertemperatur (beispielsweise bei Einbringung nach einer Hygienisierungsstufe

oder im Winter) wird die Prozessbiologie stark gestört, was zur Verminderung des Gasertrages führen kann. Als technische Lösungen werden hier zuweilen Wärmetauscher und beheizte Vorgruben angewendet.

Transport pumpfähiger Substrate

Zum Transport pumpfähiger Substrate innerhalb der Biogasanlage werden hauptsächlich über Elektromotoren angetriebene Pumpen verwendet. Sie können über Zeitschaltuhren oder Prozessrechner angesteuert werden, wodurch der Gesamtprozess ganz oder teilweise automatisiert werden kann. In vielen Fällen wird der gesamte Substrattransport innerhalb der Biogasanlage über ein oder zwei zentral in einem Pump- oder Steuerhaus positionierte Pumpen realisiert. Die Verlegung der benötigten Rohrleitungen erfolgt dann so, dass alle eintretenden Betriebsfälle (z. B. Beschicken, vollständiges Entleeren von Behältern, Havariefälle etc.) über gut zugängliche oder automatische Schieber gesteuert werden können. Ein Beispiel für die Pumpen- und Rohrleitungsinstallation in einer Biogasanlage zeigt Abb. 3-20.

Es sollte darauf geachtet werden, dass die Pumpen gut zugänglich sind und ausreichend Arbeitsraum um sie herum freigehalten wird. Trotz getroffener Vorsichtsmaßnahmen und guter Substrataufbereitung kann es passieren, dass es zu Verstopfungen der Pumpen kommt, die schnell beseitigt werden müssen. Außerdem ist zu beachten, dass die beweglichen Teile der Pumpen Verschleißteile sind, die in Biogasanlagen hohen Beanspruchungen unterliegen und von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden müssen, ohne dass die Bio-



Abb. 3-20: Pumpen in einer Biogasanlage;
Foto: WELtec BioPower GmbH

gasanlage außer Betrieb genommen werden muss. Die Pumpen müssen daher über Absperrschieber zum Ausführen von Wartungsarbeiten vom Leitungsnetz trennbar sein. Verwendet werden fast ausschließlich Kreiselpumpen oder Verdrängerpumpen, die auch in der Gülletechnik zur Anwendung kommen.

Die Auswahl geeigneter Pumpen hinsichtlich Leistung und Fördereigenschaften ist in hohem Maß von den eingesetzten Substraten und deren Aufbereitungsgrad bzw. Trockensubstanzgehalt abhängig. Zum Schutz der Pumpen können Schneid- und Zerkleinerungsapparate sowie Fremdkörperabscheider direkt vor die Pumpe eingebaut werden oder Pumpen, deren Fördererlemente mit Zerkleinerungseinrichtungen versehen sind, zum Einsatz kommen.

Kreiselpumpen

Bei Kreiselpumpen dreht sich ein Laufrad in einem feststehenden Gehäuse mit meist konstanter Drehzahl. Das zu fördernde Medium wird mit Hilfe des Laufrades beschleunigt und die daraus resultierende Geschwindigkeitserhöhung im Druckstutzen der Kreiselpumpe in Förderhöhe bzw. Förderdruck umgesetzt. Kreiselpumpen sind in der Gülletechnik weit verbreitet. Beispiele werden in Abb. 3-19 im Abschnitt Zerkleinerungstechnik gezeigt. Kennwerte und Einsatzparameter sind in Tabelle 3-12 enthalten.

Verdrängerpumpen

Zum Transport dickflüssiger Substrate mit hohen Trockensubstanzgehalten werden Verdrängerpumpen eingesetzt. Bei Verdrängerpumpen kann die geförderte Menge über die Drehzahl bestimmt werden. Dadurch wird eine bessere Steuerung der Pumpen in Verbindung mit einer genaueren Dosierung des Substrates erreicht. Sie sind selbstansaugend und druckstabiler als Kreiselpumpen, das heißt, die Fördermenge ist sehr viel weniger von der Förderhöhe abhängig. Verdrängerpumpen sind relativ stör anfällig gegenüber Störstoffen, weswegen es sinnvoll ist, die Pumpen mit Zerkleinerungsaggregaten und Fremdkörperabscheidern vor grobstückigen und faserigen Bestandteilen zu schützen.

Zum Einsatz kommen größtenteils Drehkolben- und Exzentrerschneckenpumpen. Exzentrerschneckenpumpen haben einen korkenzieherförmigen Rotor, der in einem Stator aus elastischem Material läuft. Durch die Drehung des Rotors entsteht ein wandernder Hohlraum, in dem das Substrat transportiert wird. Ein Beispiel ist in Abb. 3-21 dargestellt. Kennwerte und Einsatzparameter können Tabelle 3-13 entnommen werden.

Tabelle 3-12: Kennwerte und Einsatzparameter von Kreiselpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Förderdruck: bis zu 20 bar • Fördermenge ab 2 m³/min aufwärts • Leistungsaufnahme: z.B. 3 kW bei 2 m³/min; 15 kW bei 6 m³/min, stark substratabhängig
Eignung	• dünnflüssige Substrate mit niedrigen Trockensubstanzgehalten; Strohanteile sind zulässig
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + einfacher, kompakter und robuster Aufbau + hohe Förderleistung + flexibler Einsatz
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - nicht selbstansaugend, Aufstellung unterhalb des anzusaugenden Substratspiegels, z. B. in einem Schacht notwendig - nicht zur Substratdosierung geeignet
Besonderheiten	• starke Abhängigkeit der Förderleistung vom Förderdruck bzw. der Förderhöhe
Bauformen	• als Tauchpumpe oder Pumpe in Trockenaufstellung; auch als Schneidpumpe lieferbar (siehe Seite 46); als Tauchpumpe mit Antrieb unter oder über Substratoberfläche verfügbar
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • bei Tauchpumpen erschwert, jedoch über Entnahmeöffnungen relativ leicht erreichbar • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden • Betriebsunterbrechungen sind geringfügig länger als bei anderen Pumpentypen

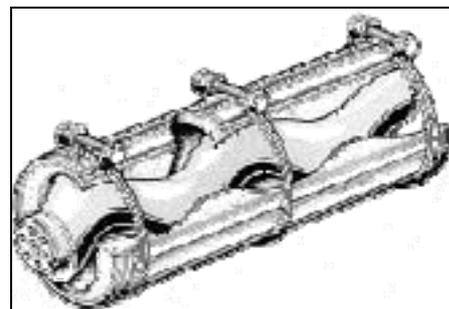
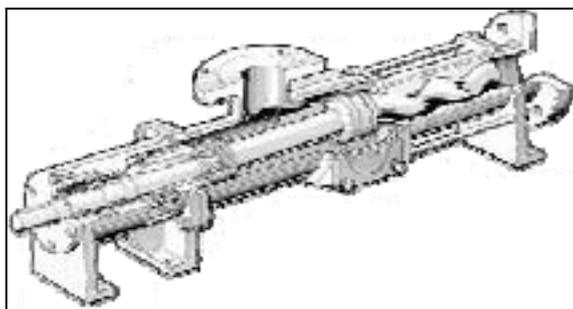


Abb. 3-21: Exzentrerschneckenpumpe (links), nachstellbarer Stator (rechts); Bilder: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Tabelle 3-13: Kennwerte und Einsatzparameter von Exzentrerschneckenpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Förderdruck: bis zu 25 bar • Fördermenge ab 0,055 m³/min aufwärts • Leistungsaufnahme: z.B. 7,5 kW bei 0,5 m³/min; 55 kW bei 4 m³/min, stark substratabhängig
Eignung	• dickflüssige pumpfähige Substrate mit geringen Störstoffanteilen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + selbst ansaugend + einfacher, robuster Aufbau + zur Substratdosierung geeignet
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - geringere Förderleistungen als Kreiselpumpen - empfindlich gegen Trockenlauf - empfindlich gegen Störstoffe (Steine, langfaserige Stoffe, Metallteile)
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • starke Abhängigkeit der Förderleistung von der Viskosität, stabile Förderung bei schwankenden Drücken • Trockenlaufschutz kann integriert sein • sehr häufige Anwendung in der Klärtechnik • der Stator kann zum Teil in Abhängigkeit der Förderleistung, des Substrates und der Abnutzung meist nachgestellt werden • Förderrichtungsänderung als Sonderbauform möglich • zum Schutz Druckabschaltung vorsehen
Bauformen	• als Pumpe in Trockenaufstellung
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • sehr langlebig • aufgrund des Aufbaues wartungsfreundlich, es werden durch Kolbenschnellwechselsysteme nur kurze Betriebsunterbrechungen notwendig

Tabelle 3-14: Kennwerte und Einsatzparameter von Drehkolbenpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Förderdruck: bis zu 16 bar • Fördermenge ab 0,1 m³/min aufwärts
Eignung	• dünnflüssige und dickflüssige pumpfähige Substrate
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + einfacher, robuster Aufbau + selbstansaugend bis 10 m Wassersäule + zur Substratdosierung geeignet + Förderung größerer Fremd- und Faserstoffe als Exzentrerschneckenpumpen + trockenlaufunempfindlich + geringer Platzbedarf + Förderrichtungsänderung serienmäßig
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Drehzahlen bis 1300 U/min sind günstig für die Leistungsoptimierung • nachstellbare Halbschalen optimieren Wirkungsgrad und Standzeit durch Verminderung des Spiels • zum Schutz Druckabschaltung vorsehen
Bauformen	• als Pumpe in Trockenaufstellung
Wartung	• aufgrund des Aufbaues wartungsfreundlich, es werden nur kurze Betriebsunterbrechungen notwendig

Drehkolbenpumpen besitzen zwei gegenläufig rotierende zwei- bis vierflügelige Drehkolben in einem ovalen Gehäuse. Die beiden Drehkolben wälzen sich gegenläufig mit geringem axialen und radialen Spiel aufeinander ab, wobei sie weder das Gehäuse noch sich untereinander berühren und so ausgebildet sind, dass in jeder Stellung der Saug- gegen den Druckraum abgesperrt wird. Zum Transport des Mediums werden die im Saugraum auftretenden Lücken mit dem Fördermedium gefüllt und zur Druckseite transportiert. Das Funktionsprinzip von Drehkolbenpumpen kann Abb. 3-22 entnommen werden. Kennwerte und Einsatzparameter werden in Tabelle 3-14 zusammengefasst.

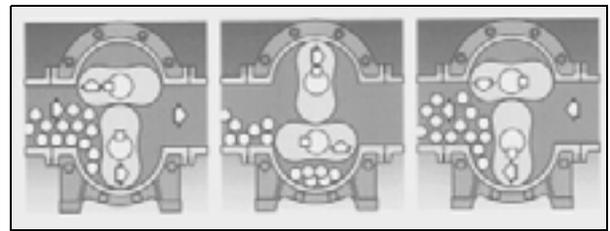


Abb. 3-22: Drehkolben-Pumpprinzip; Bild: Vogelsang GmbH

Balgpumpen

Balgpumpen können zur Förderung von Dickstoffen mit großen Fremdkörperanteilen verwendet werden. Der Antrieb erfolgt über einen Getriebemotor mittels Exzenter und Pleuel. Der Pleuel bewegt den unteren

Flansch (siehe Abb. 3-23) auf und nieder. Durch die abwechselnde Ansaugung und den Druckaufbau werden die Ventile automatisch bewegt, so dass das Substrat vom Einlass zum Auslass gefördert wird. Als Fördererelement dient ein Reifen. Kraftbedarf und Verschleiß sind aufgrund wenig beweglicher Teile gering. Der Balg arbeitet reibungsfrei. Zwei druckmittelgesteuerte Ventile dienen bei Stillstand der Pumpe als Rücklaufsicherung. Kennwerte und Einsatzparameter von Balgpumpen werden in Tabelle 3-15 zusammengefasst.

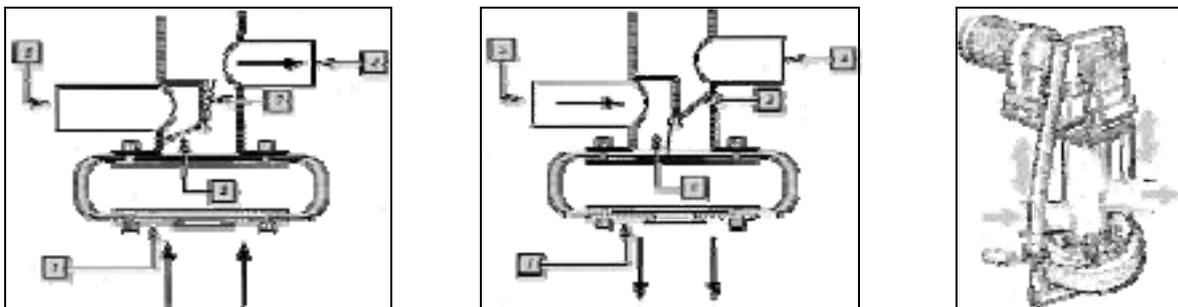


Abb. 3-23: Funktionsprinzip Balgpumpe (Flansch (1), Ventile (2 und 3), Auslass (4), Einlass (5))
 Bilder: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG



Tabelle 3-15: Kennwerte und Einsatzparameter von Balgpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Förderdruck: bis zu 5 bar • Fördermenge unterhalb 1 m³/min • Leistungsaufnahme: z.B. 3 kW bei 0,25 m³/min, stark substratabhängig
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • dickflüssige pumpfähige Substrate mit hohen Störstoffanteilen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + einfacher, robuster Aufbau + selbstansaugend bis 3 m WS + zur Substratdosierung geeignet + Förderung größerer Fremdstoffe + trockenlaufunempfindlich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Fördermenge
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • als Pumpe in Trockenaufstellung
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • aufgrund wenig beweglicher Teile verschleißarm, daher wartungsfreundlich

Transport von stapelbaren Substraten

Stapelbare Substrate müssen in der Nassvergärung bis zur Materialeinbringung bzw. bis zur Anmischung transportiert werden. Die meisten Wege werden mit einem üblichen Lader zurückgelegt. Erst für die automatisierte Beschickung werden Kratzböden, Overhead-Schubstangen und Förderschnecken eingesetzt. Kratzböden und Overhead-Schubstangen sind in der Lage, nahezu alle stapelbaren Substrate horizontal oder mit einer leichten Steigung zu fördern. Sie können jedoch nicht für die Dosierung verwendet werden. Sie ermöglichen die Anwendung von sehr großen Vorlagebehältern. Förderschnecken können stapelbare Substrate in nahezu alle Richtungen transportieren. Vorbedingung ist hier nur die Freiheit von großen Steinen und die Zerkleinerung des Substrates, dass es von der Schnecke ergriffen werden kann und

in die Schneckenwindungen passt. Automatische Fördersysteme für stapelbare Substrate stellen in der Regel eine Einheit mit den Einbringungsaggregaten an der Biogasanlage dar.

In den bekannten Versuchs- und Pilotanlagen der Trockenvergärung werden die stapelfähigen Substrate ausschließlich mit dem Radlader bewegt.

Einbringung pumpfähiger Substrate

Pumpfähige Substrate werden in der Regel über in den Boden eingelassene substratdichte Vorgruben aus Beton, in denen die anfallende Gülle zwischengespeichert und homogenisiert wird, eingebracht. Die Vorgruben sollten so ausgelegt sein, dass mindestens ein bis zwei Tagesmengen in ihnen gespeichert werden können. Häufig werden vorhandene Güllesammelgruben im landwirtschaftlichen Betrieb genutzt.

Tabelle 3-16: Kennwerte und Einsatzparameter von Vorgruben

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung aus wasserdichtem Beton, meist aus Stahlbeton • das Volumen sollte ein bis zwei Tagesmengen an Substrat aufnehmen können
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • pumpfähige, rührbare Substrate • bei Einsatz von Zerkleinerungstechnik auch stapelbare Substrate
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • gute Homogenisierung und Vermischung der Substrate möglich • Bildung von Sinkschichten aus Steinen möglich • Sinkschichtentnahme sollte über Pumpensumpf, Sammelgruben oder über Räumaggregate ermöglicht werden • die Abdeckung der Vorgrube ist wegen Geruchsemissionen empfehlenswert • Feststoffeinbringung kann zu Verstopfungen, Sink- und Schwimmschichten oder zur Entmischung führen
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • runde oder viereckige ebenerdig abschließende Behälter oder Behälter, deren Befüllungseinrichtung noch mit einem Radlader erreicht werden kann • höherliegende Gruben im Vergleich zum Fermenter sind vorteilhaft, da durch das entstehende hydraulische Gefälle auf den Einsatz von Fördertechnik verzichtet werden kann • die Umwälzung kann mit gleichen Technologien realisiert werden, wie in den Fermentern
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • bei fehlender Sinkschichtentnahme manuelle Sinkschichtentfernung notwendig • ansonsten kaum Wartungsaufwand; die Wartung der technischen Aggregate wird in den jeweiligen Kapiteln beschrieben



Abb. 3-24: Vor- bzw. Annahmegrube bei der Beschickung; Fotos: Loick Bioenergie, ENR - Energiegesellschaft nachwachsender Rohstoffe mbH; Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH

Verfügt die Biogasanlage nicht über eine getrennte Zugabemöglichkeit zur Direkteinbringung von Kosubstraten, werden auch stapelbare Substrate in der Vorgrube gemischt, zerkleinert, homogenisiert und wenn nötig zur Herstellung pumpfähiger Gemische angemaischt. Aus diesem Grund sind Vorgruben mit Rührwerken, wenn nötig in Kombination mit Reiß- und Schneidwerkzeugen zur Zerkleinerung der Substrate, ausgestattet. Werden störstoffhaltige Substrate verarbeitet, dient die Vorgrube auch zur Abtrennung von Steinen und Sinkschichten, sie können z. B. mittels Kratzböden und Förderschnecken konzentriert und ausgetragen werden /3-3/. Zur Vermeidung von Geruchsemissionen sollten Vorgruben abgedeckt werden. Die Abdeckung sollte allerdings so ausgeführt sein, dass ein Öffnen der Vorgrube und damit eine problemlose Entnahme von abgesetzten Sinkstoffen weiterhin möglich ist. Die Kenndaten von Vorgruben werden in Tabelle 3-16 zusammengefasst, ein Beispiel wird in Abb. 3-24 dargestellt.

Einbringung von stapelbaren Substraten

Durch die Einbringung von stapelbaren Substraten in die Vorgrube und die damit verbundenen Probleme kann eine kontinuierliche und automatisierte Einbringung der Substrate in den Vergärungsprozess erschwert werden und ein erhöhter Arbeitsaufwand die Folge sein. Aus diesen Gründen werden Feststoffe meist unter Umgehung der Vorgrube direkt in den Fermenter eingebracht. Kofermente können so unabhängig von der Gülle und in regelmäßigen Abständen eingespeist werden /3-8/. Außerdem ist es möglich, den Trockensubstanzgehalt im Fermenter zu erhöhen und damit die Biogausbeute zu verbessern. Schematisch werden die Verfahren der Einbringung stapelbarer Substrate in Abb. 3-25 veranschaulicht.

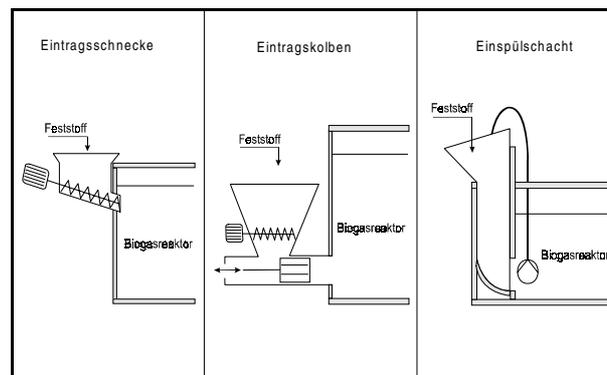


Abb. 3-25: Verfahren zur Einbringung stapelbarer Biomasse; Bild: FAL Braunschweig



Tabelle 3-17: Eigenschaften von Einspülschächten

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Öffnungsgröße und -höhe sollte dem vorhandenen Radladertyp entsprechen
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle mit dem Radlader transportierbaren Substrate
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + geringer baulicher Aufwand + geringe Investitions- und laufende Kosten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - starke Geruchsemissionen - keine Dosierung und nur wenige Beschickungsvorgänge am Tag möglich - es sind in der Praxis Verstopfungen aufgetreten - es kann kein temperiertes Substrat zugegeben werden - Sauerstoffeintrag in den Gärprozess
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • die Ladehöhe sollte an Radlader angepasst sein • ohne Vorzerkleinerung ist Zerkleinerungstechnik im Fermenter notwendig
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Stahlblech- oder Edelstahlkonstruktionen, die die Feststoffeinbringung unter die Substratoberfläche im Fermenter ermöglichen; die Nachspülung wird durch Kreislaufpumpen des Gärsubstrates aus dem Fermenter in den Schacht gewährleistet • im Einspülschacht können Rühraggregate integriert sein
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • kaum notwendig, bei Verstopfungen muss der Einspülschacht manuell geleert werden • durch frei stehenden Substratspiegel im Schacht erschwert • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Einspülschächte

Der Eintrag über Einspülschächte oder Einspülschleusen ermöglicht es, mittels Front- oder Radlader jederzeit größere Mengen Feststoffe direkt in den Fermenter einzubringen. Tabelle 3-17 zeigt einen Überblick über die Eigenschaften.

Eintragskolben

Bei der Einbringung mittels Eintragskolben werden die Kosubstrate mittels Hydraulikzylinder durch eine Öffnung in der Fermenterwand nahe der Fermentersohle direkt in den Fermenter eingebracht. Durch die bodennahe Einbringung werden sie mit Gülle durchtränkt und so die Gefahr der Schwimmschichtenbildung reduziert. Das System ist mit gegeneinander laufenden Mischwalzen ausgestattet, die die Kosubstrate in den unterhalb liegenden Zylinder befördern und gleichzeitig langfaserige Stoffe zerkleinern /3-1/. Kennwerte von Eintragskolben werden in Tabelle 3-18 zusammengefasst, ein Beispiel wird in Abb. 3-26 veranschaulicht.

Einbringung über Eintragschnecken

Bei der Einspeisung der Kosubstrate mittels Eintrags- bzw. Förderschnecken wird das Kosubstrat durch Stopfschnecken unterhalb des im Fermenter befindlichen Flüssigkeitsspiegels gedrückt. So ist gesichert, dass kein Gas austreten kann. Im einfachsten Fall steht bei dieser Methode der Dosierer auf dem Fermenter, so dass nur eine Schnecke zur Einbringung notwendig ist. Ansonsten muss die Höhe des Fermenters

mit Steigschnecken überwunden werden. Zur Beschickung der Schnecke werden Vorlagebehälter mit und ohne Zerkleinerungswerkzeuge eingesetzt /3-8/. Kennwerte von Einbringungssystemen mit Förderschnecken werden in Tabelle 3-19 zusammengefasst, ein Beispiel wird in Abb. 3-27 veranschaulicht.

Vermusung der Biomasse

Die Kofermente (z. B. Rüben) werden mit in der Rübenverarbeitung üblichen Zerkleinerungsaggregaten aufbereitet, dass sie einen pumpfähigen Zustand erreichen. Der dabei verbleibende Trockensubstanzgehalt beträgt bis zu 18 %. Die verflüssigten Substrate werden in entsprechenden Behältern gelagert und unter Umgehung der Vorgrube direkt mit den in Abschnitt Subs-



Abb. 3-27: Einbringung stapelbarer Biomasse mit Förderschnecken; Foto: Pumpe GmbH

Tabelle 3-18: Kennwerte und Einsatzparameter von Eintragschnecken /3-1/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlagebehälter bis 40 m³, Futtermischwagen bis 16 m³
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle üblichen stapelbaren Kosubstrate mit Steinen, die kleiner als die Schneckenwindungen sind • bei Vorlagebehältern mit Rührarm keine langfaserigen Substrate • bei Futtermischwagen auch sehr strohiger Mist und Großballen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + Förderrichtung spielt keine Rolle + automatisierbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Abrieb in den Schneckengehäusen und an den Schnecken - Mögliche Materialbrückenbildung am Übergang von Vorlagebehälter zur Schnecke in Behältern ohne Rührarm - Empfindlichkeit gegenüber Steinen - hoher Kraftbedarf bei Einsatz von Futtermischwagen
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Anmischen mit Gülle aus dem Fermenter ist möglich • Gasaustritt durch die Schnecken muss verhindert werden • gewichtsabhängige Dosierung bei Installation von Wiegetechnik ist möglich
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Stopfschnecke aus Vorlagebehälter senkrecht in den Fermenter • Stopfschnecke aus Vorlagebehälter waagrecht in den Fermenter • Schneckensystem zur Überwindung der Fermenterhöhe und zur Einbringung unter den Flüssigkeitsspiegel im Fermenter • Vorlagebehälter mit Schwerkraftzuführung des Materiales zur Schnecke • Vorlagebehälter mit Flachboden und Rührarm über offener Schnecke • Vorlagebehälter als Futtermischwagen mit Kratzboden und Vertikalmischer mit Gegenschneide
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund der beweglichen Technik ist mit regelmäßigem Wartungsaufwand zu rechnen • Vorlagebehälter müssen in der Regel von Hand geleert werden, wenn Havarien eintreten, daher stellen größere Behälter nicht immer einen Vorteil dar • Wartung der Schnecke, die die Förderung in den Fermenter realisiert, ist mit einer z.T. erheblichen Prozessunterbrechung verbunden

Tabelle 3-19: Kennwerte und Einsatzparameter von Eintragskolben

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlagebehälter bis zu 15 m³
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle üblichen stapelbaren Kosubstrate, je nach Schneckentechnik auch mit Steinen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + weitgehend geruchsfrei + sehr gute Dosierbarkeit + automatisierbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Gefahr der Sinkschichtenbildung - Gefahr der Verklumpung des eingepressten Substrates, damit nicht optimal zugänglich für die Mikroorganismen im Fermenter
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Zuführung muss flüssigkeitsdicht ausgeführt sein • Einfüllhöhe und -größe sind mit der vorhandenen Fülltechnik im Betrieb abzustimmen • Presszylinder muss durch Schieber vom Fermenter abtrennbar sein • Zerteilung des Presspfropfens durch ein Messerkreuz wird angeboten und erscheint aufgrund der Verklumpungsgefahr sehr sinnvoll • Platzbedarf direkt neben dem Fermenter • z.T. gewichtsdosierte Zugabe durch Installation von Wiegetechnik möglich
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulikzylinder mit hydraulisch oder elektrisch angetriebenen Zuführungsschnecken
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund der beweglichen Technik ist mit regelmäßigem Wartungsaufwand zu rechnen • Vorlagebehälter müssen in der Regel von Hand geleert werden, wenn Havarien eintreten, daher stellen größere Behälter nicht immer einen Vorteil dar • Wartung des Kolbens ist mit einer z.T. erheblichen Prozessunterbrechung, evtl. auch mit einer Leerung des Fermenters verbunden

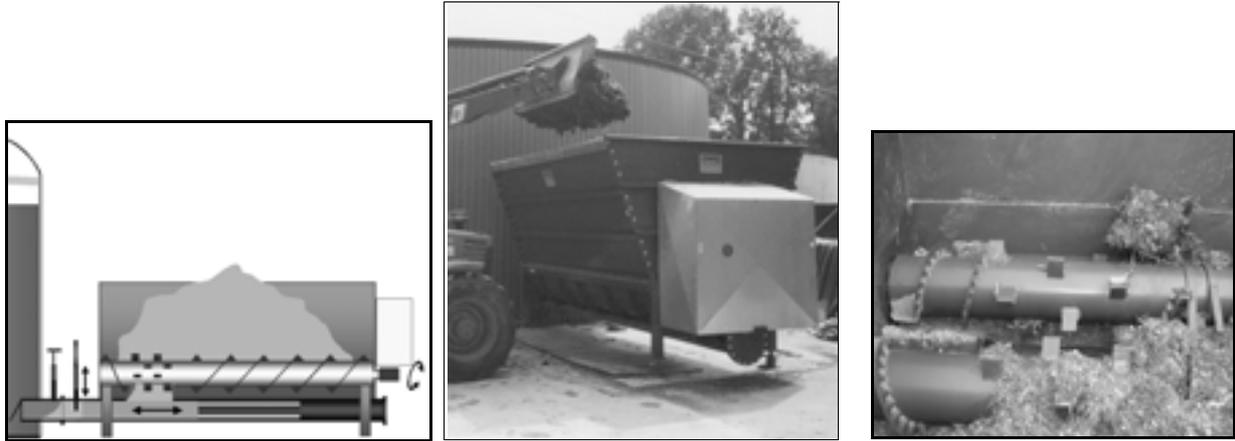


Abb. 3-26: Einbringung stapelbarer Biomasse mit Eintragskolben; Foto: PlanET Energietechnik

transport- und -einbringung erläuterten Aggregaten in den Fermenter gepumpt. Durch dieses Verfahren lässt sich beim Einsatz von Gülle als Grundsubstrat keine Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter erzielen /3-8/.

Einbringung von stapelbaren Substraten in der Trockenvergärung

Aufgrund des einfachen Aufbaues der Fermentertechnik in der Trockenfermentation ist bei den im Pilotmaßstab betriebenen Anlagen keine Automatisierung der Beschickung vorgesehen. Sowohl Beschickung als auch Entleerung werden mit der in der Landwirtschaft üblichen Transporttechnik, meist mit Radladern, durchgeführt.

Armaturen und Rohrleitungen

Die eingesetzten Armaturen und Rohrleitungen müssen medien- und korrosionsbeständig sein. Armaturen wie Kupplungen, Absperrschieber, Rückschlagklappen, Re-

nigungsöffnungen und Manometer müssen gut erreichbar und bedienbar sein sowie frostfrei verbaut werden. Die „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ enthalten die an Rohrleitungen und Armaturen gestellten Anforderungen. Die hier vorgeschriebenen Materialeigenschaften, Sicherheitsvorkehrungen und Dichtigkeitsprüfungen sind als Mindestanforderungen für einen sicheren Betrieb der Biogasanlage einzuhalten. Als **außerordentlich bedeutender Faktor** hat sich herausgestellt, dass **aus allen Gasleitungen an allen Stellen die Möglichkeit bestehen muss, Kondensat abzulassen** beziehungsweise die Leitungen mit soviel Gefälle gebaut werden müssen, dass auch leichte Setzungen noch nicht zu nicht vorgesehenen Hoch- und Tiefpunkten in den Leitungen führen. Aufgrund der geringen Drücke im System können bereits sehr geringe Kondenswassermengen zu einer vollständigen Leitungsverstopfung führen. Die wichtigsten Kenngrößen sind in Tabelle 3-20 zusammengefasst. Einen Eindruck vermitteln Abb. 3-28 und Abb. 3-29.

Tabelle 3-20: Kennwerte von Armaturen und Rohrleitungen; nach /3-1/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Rohrleitungsmaterial: PVC, HDPE, Stahl oder Edelstahl, je nach Medienbelastung und Druckstufe • keine Gusseisenleitungen wegen der Bildung von Ablagerungen installieren • Substratleitungen sollten 300 mm Durchmesser haben
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Schieber dichten als Keilflachschieber sehr gut ab, sind aber störstoffempfindlich • Messerschieber trennen faserhaltige Stoffe durch • für schnell lösbare Rohrverbindungen sollten Kugelkopfschnellverschlüsse verwendet werden • bei allen Armaturen und Rohrleitungen ist auf Frostfreiheit zu achten, bei warmem Substrat sollte eine Isolierung angebracht werden • Rohrverlegung immer mit 1-2% Gefälle, um Entleerung zu ermöglichen • Rücklauf von Substrat aus dem Fermenter in die Vorgrube durch Leitungsverlegung verhindern • bei Rohrverlegung im Boden auf gute Verdichtung vor der Installation achten • Vor Rückschlagklappen sind Schieber zu installieren, falls die Rückschlagklappe durch Störstoffe nicht mehr schließt • Kondensat muss aus allen Gasleitungen abgelassen werden können • bei langen und verwinkelten Leitungen auf Druckverluste achten

3.2.2 Biogasgewinnung



Abb. 3-28: Arbeitsbühne zwischen zwei Behältern mit Rohrleitungen und Drucksicherungen;
Foto: MT-Energie GmbH



Abb. 3-29: Schwerstoffabscheider in einer Rohrleitung;
Foto: Institut für Energetik und Umwelt
gGmbH



Abb. 3-30: Blick in einen Fermenter;
Foto: Biogas Nord GmbH

Das Biogas wird durch Vergärung der Substrate in Fermentern gewonnen. Der Fermenter ist, inklusive dazu gehöriger Peripherie, das eigentliche Kernstück der Biogasanlage. Die verschiedenen Ausführungen der Fermenter werden hinsichtlich Materialien und Bauweise häufig von landwirtschaftlichen Güllelagern abgeleitet und an die spezifischen Anforderungen der Biogastechnik angepasst. Substratmenge und die gewählte hydraulische Verweilzeit bestimmen das Volumen der Fermenter. Abhängig von den zur Verfügung stehenden Substraten, dem gewählten Gärverfahren und den örtlichen Gegebenheiten können Fermenter unterschiedlich ausgeführt werden. Unabhängig von ihrer Ausführung müssen Fermenter einige Grundvoraussetzungen erfüllen, sie müssen:

- gas- und flüssigkeitsdicht sein,
- die Möglichkeit besitzen, die erforderliche Prozesstemperatur durch Wärmeeintrag (Heizung) zur Verfügung zu stellen,
- Wärmeverluste und Temperaturschwankungen z. B. durch Wärmeisolierung verhindern,
- eine Möglichkeit zur Durchmischung des Substrates besitzen, um Temperaturgefälle, Schwimm- und Sinkschichtenbildung, ein Gefälle der Nährstoffkonzentration im Substrat und eine schlechte Ausgasung des Substrates zu vermeiden sowie die Homogenisierung des Substrates sicherzustellen,
- Einrichtungen oder Möglichkeiten zur Sedimentaustragung besitzen,
- Einrichtungen zur Ableitung des gewonnenen Biogases besitzen und
- Möglichkeiten zur Probenahme aus dem Fermenter besitzen.

Daneben gehören Schaugläser mit Reinigungsanlagen zur Sichtprüfung des Gärprozesses (ein Beispiel zeigt Abb. 3-30) und Revisionsschächte für mögliche anfallende Wartungs- und Reparaturarbeiten zur Ausstattung der Fermenter. Des weiteren sind Sicherheitsarmaturen sowie Über- und Unterdrucksicherungen zur Einhaltung vorgeschriebener Sicherheitsregeln vorzusehen.

Neben den technischen und baulichen Anforderungen werden zusätzliche Anforderungen an verwendete Baumaterialien gestellt. So sollte darauf geachtet werden, dass die verwendeten Materialien für das im Fermenter herrschende Milieu geeignet sind. Als besonders problematisch haben sich die Übergangszone vom Flüssigkeitsspiegel zum Gasraum und der Gasraum selbst herauskristallisiert.



Hier ist es notwendig, nur Materialien einzusetzen, die gegen Säuren und Korrosion resistent sind.

Um Fehler beim Bau und damit verbundene Schädigungen bzw. Zerstörungen der Fermenter zu vermeiden, muss die Planung und Erstellung von qualifizierten Fachfirmen durchgeführt werden. Neben der Statik der Behälter müssen auch Schutzmaßnahmen für Baumaterialien (Korrosionsschutz usw.) mit berücksichtigt werden. Im Fall der Missachtung grundlegender Regeln und Mindestanforderungen sind schwerwiegende und vor allem kostenintensive Schädigungen der Fermenter bzw. der gesamten Biogasanlage möglich. Im Weiteren werden die Bauteile, die für die Fermentation eingesetzt werden, näher betrachtet.

3.2.2.1 Fermenterbauformen

Aufgrund der Verfahrensweise weisen Fermenter für die Nass- und Trockenfermentation grundsätzliche Unterschiede auf.

Nassvergärung

Die Nassvergärung wird in mit Tanks vergleichbaren Behältern durchgeführt. Prinzipiell wird zwischen liegenden und stehenden Fermentern unterschieden.

Liegende Fermenter

Liegende Fermenter haben eine zylindrische Form und sind hinsichtlich ihres Volumens begrenzt, da sie häufig nicht vor Ort gefertigt werden. Der dadurch notwendige Transport der Fermenter zu ihrem Einsatzort ist jedoch nur bis zu einer gewissen Behälter-

größe möglich. Häufig werden sie als Stahltanks ausgeführt und kommen als Hauptfermenter für kleinere Anlagen oder als Vorfermenter für größere Anlagen mit stehenden Hauptfermentern in Frage. Liegende Fermenter werden auch parallel betrieben, um größere Durchsatzmengen zu realisieren.

Weil liegende Behälter in der Regel um ein mehrfaches länger als hoch sind, stellt sich automatisch die sogenannte Pfropfendurchströmung ein. Das Substrat wandert hierbei langsam von der Eintrags- zur Austragsseite, wobei sich ein Pfropfen bildet, der durch den Fermenter strömt. Die Möglichkeit, nicht ausgegorenes Substrat ungewollt aus dem Fermenter auszutragen, wird dadurch verringert und die Aufenthaltszeit kann für das gesamte Material mit höherer Sicherheit gewährleistet werden [3-3]. Kennwerte und Besonderheiten liegender Fermenter werden in Tabelle 3-21 zusammengefasst, Abb. 3-31 zeigt ein Beispiel für einen liegenden Fermenter.

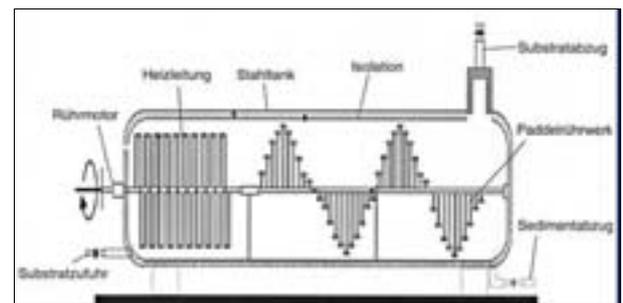


Abb. 3-31: Liegender Tankfermenter mit Paddelrührwerk [3-4]

Tabelle 3-21: Kennwerte und Einsatzparameter von liegenden Fermentern für Biogasanlagen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Material: vorwiegend Stahl und Edelstahl, auch aus Stahlbeton möglich • Volumen: bis ca. 800 m³ möglich
Eignung	• alle Substrattypen, die Anpassung der technischen Aggregate bestimmt die Eignung
Vorteile	+ es können leistungsfähige, funktionssichere und energiesparende Rührwerke eingesetzt werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Platzbedarf der Behälter - hohe Wärmeverluste aufgrund einer großen Oberfläche im Vergleich zum Volumen - Animpfung des Frischmaterials fehlt oder muss durch Rückführung von Gärsubstrat realisiert werden
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Öffnungen für alle anzuschließenden Aggregate und Rohrleitungen sind vorzusehen • zur Sicherheit muss ein Überdruckventil für den Gasraum installiert werden
Bauformen	• als Pfropfenstromreaktor mit rundem oder eckigem Querschnitt
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • es ist mindestens ein Mannloch vorzusehen, um den Reaktor im Havariefall begehen zu können • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Stehende Fermenter

Stehende Fermenter sind überwiegend als Rundbehälter ausgeführt und werden vor Ort erstellt. Sie können vollständig durchmischt (Rührkesselprinzip) oder als Pfropfenstromreaktor betrieben werden.

Stehende Fermenter sind die in der Praxis vornehmlich ausgeführten Fermenter. Kennwerte stehender Fermenter zeigt Tabelle 3-22, ein Beispiel veranschaulicht Abb. 3-32.

Tabelle 3-22: Kennwerte und Einsatzparameter von stehenden Fermentern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Stahlbeton, Stahl und Edelstahl • Volumen: theoretisch unbegrenzt, bis 30.000 m³ möglich, aber meist nicht größer als 6.000 m³ da sich größere Fermenter schwierig durchmischen lassen
Eignung	• alle Substrattypen, die Anpassung der technischen Aggregate bestimmt die Eignung
Vorteile	+ Günstiges Oberflächen-Volumen-Verhältnis, damit geringe Wärmeverluste
Nachteile	- bei volldurchmischten Reaktoren besteht die Gefahr der Kurzschlussströmung - es können Schwimm- und Sinkschichten entstehen
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • der Reaktor muss gasdicht ausgeführt werden • eine Dachneigung aufgrund der möglichen Schneelast ist empfehlenswert • Baugrund muss sehr tragfähig sein, da keine Setzungen auftreten sollten • Öffnungen für alle anzuschließenden Aggregate und Rohrleitungen sind vorzusehen • der Boden kann mit Gefälle zum Zentrum oder zum Rand hergestellt werden, um einen effektiven Sedimentaustrag zu ermöglichen • zur Sicherheit muss ein Überdruckventil für den Gasraum installiert werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • unterirdisch mit ebenerdigem befahrbarem Dach, teilweise in der Erde versenkt oder auf dem Boden stehend • mit fester Betondecke oder Decke als Gasmembran mit oder ohne Wetterschutzdach • volldurchmischt oder Sonderbauform als Pfropfenstromreaktor
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • es ist mindestens ein Mannloch vorzusehen, um den Reaktor im Havariefall begehen zu können • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

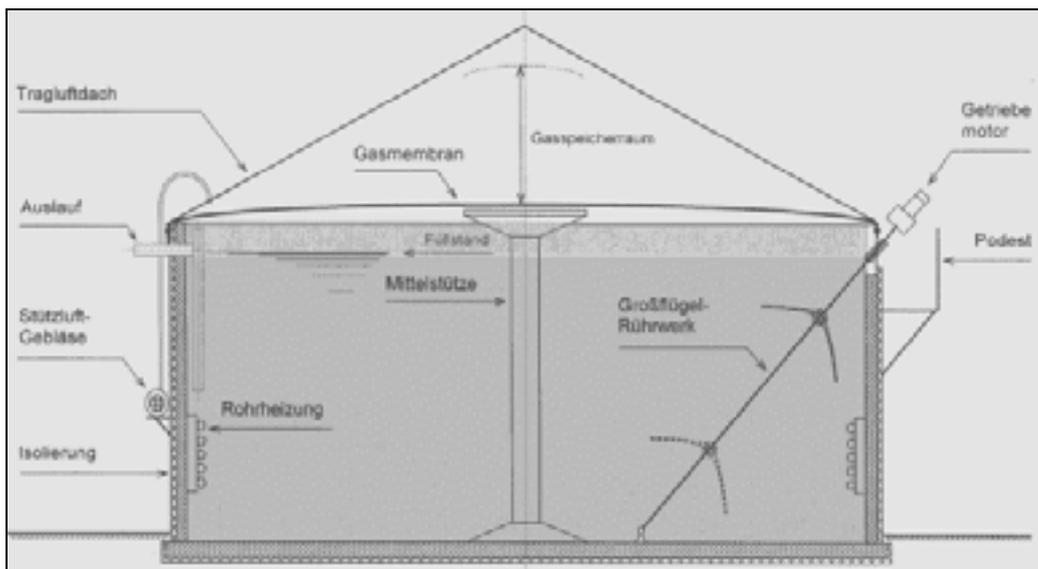


Abb. 3-32: Stehender Fermenter mit Einbauten; Bild: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH



Tabelle 3-23: Kennwerte und Einsatzparameter von Trockenfermentationsbehältern

Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • stapelbare Substrate
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + effektive Raumauslastung durch hohen Trockensubstanzgehalt + dadurch geringe Investitionskosten und geringer Platzbedarf
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - bei nicht durchmischten Reaktoren Behinderung der Ausgasung durch Setzung - Gefahr der Zonenbildung mit zu hohen oder zu niedrigen Wassergehalten - Gefahr der Bildung von Versäuerungszonen ohne Methanproduktion - bei Batchverfahren ungleichmäßige Gasproduktion
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • der Reaktor muss gasdicht ausgeführt werden, dies gilt besonders für Beschickungs- und Entnahmeöffnungen • Beschickung und Entnahme müssen ohne die Gefahr der Beschädigung von Dichtungen oder anderen Fermentereinrichtungen möglich sein • zur Sicherheit muss ein Überdruckventil für den Gasraum installiert werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • siehe Kapitel 3.1.4.2
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Trockenvergärung

Die konstruktive Ausführung der Trockenfermentationsverfahren ist sehr verschiedenartig (siehe Kapitel 3.1.4.2). Aus diesem Grund werden in Tabelle 3-23 die allgemein notwendigen Randbedingungen und die zu beachtenden Kennwerte für Fermenter zur Trockenfermentation erwähnt.

3.2.2.2 Konstruktion der Fermenter

Die Fermenter bestehen im Wesentlichen aus einem Behälter, der wärmegeklämt errichtet wird, einem Heizsystem, Mischaggregaten und Austragssystemen für Sedimente und das vergorene Substrat.

Behälterkonstruktion

Fermenter werden entweder aus Stahl, Edelstahl oder Stahlbeton konstruiert.

Stahlbeton wird durch Wassersättigung ausreichend gasdicht, wobei die dafür benötigte Feuchte in Substrat und Biogas enthalten ist. Die Fermenter werden vor Ort aus Beton gegossen oder, wenn auch seltener, aus Fertigteilen zusammengesetzt. Bei Betonbehältern besteht die Möglichkeit, wenn dies die Untergrundbeschaffenheit zulässt, sie ganz oder teilweise in den Boden abzusenken. Die Behälterdecke kann aus Beton, bei abgesenkten Behältern auch befahrbar, ausgeführt sein, wobei das Biogas in einem externen Gasspeicher gespeichert wird. Soll der Fermenter gleichzeitig als Gasspeicher dienen, kommen gasdichte Foliendächer zum Einsatz. Ab einer gewissen Behältergröße ist es notwendig, bei Betondecken Mittelstützen zu verwenden. Hier besteht bei unsachgemäßer Ausführung die Gefahr der Rissbildung in der Decke. In der Vergangenheit kam es nicht selten



Abb. 3-33: Bau eines Betonfermenters

Foto: Johann Wolf GmbH & Co Systembau KG

zu Rissbildungen, Undichtigkeiten und Betonkorrosion, was im Extremfall zum Abriss des Fermenters geführt hat. Diese Probleme müssen durch eine ausreichende Betonqualität und professionelle Planung der Fermenter vermieden werden. Vom Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V. ist das Zement-Merkblatt „Beton für Behälter in Biogasanlagen“ herausgegeben worden. Hier sind Empfehlungen an die Anforderungen der Betongüte für Stahlbetonfermenter definiert. Die wichtigsten Eckdaten für Beton im spezifischen Anwendungsfall Biogasanlagenbau sind in Tabelle 3-24 zusammengefasst. Zusätzliche Informationen können den Zementmerkblättern Landwirtschaft LB 3 /3-10/ und LB 13 /3-11/ entnommen werden. Ein Beispiel für einen im Bau befindlichen Stahlbetonfermenter zeigt Abb. 3-33.

Tabelle 3-24: Kennwerte und Einsatzparameter von Beton für Behälter in Biogasanlagen /3-10/, /3-11/, /3-14/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • für Fermenter \geq B 35; für Vorgruben und Güllelager \geq B 25 • Wasserzementwert \leq 0,5; für Vorgruben und Güllelager \leq 0,6 • Rissbreitenbeschränkung rechnerisch auf \leq 0,15 mm • Betondeckung der Bewehrung, Mindestmaß innen 4 cm • Mindestnachbehandlungszeit nach der Fertigstellung sollte verdoppelt werden
Eignung	• für alle Fermentertypen (liegend und stehend) sowie Gruben
Vorteile	+ Fundament und Fermenter können ein Bauteil sein + Fertigteilmontage z.T. möglich
Nachteile	- nur in frostfreien Perioden herstellbar - Bauzeit länger als bei Stahlfermentern
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • bei Fussbodenheizungen müssen die aus der Beheizung resultierenden Spannungen berücksichtigt werden • Gasdichtigkeit muss gewährleistet sein • notwendige Fensteröffnungen müssen exakt geplant sein • Spannungen, die aus z.T. großen Temperaturunterschieden innerhalb des Bauwerks herrühren können, müssen bei der Bewehrung beachtet werden, um Schäden zu vermeiden • Insbesondere die nicht ständig von Substrat bedeckten Betonflächen (Gasraum) müssen vor Korrosion durch Säuren durch Beschichtungen geschützt werden (z.B. mit Epoxid) • behördlicherseits wird oft ein Leckerkennungssystem gefordert • Sulfatbeständigkeit sollte gewährleistet sein (Einsatz von HS-Zement) • die Behälterstatik sollte sehr gründlich standortspezifisch geplant werden, um Risse und Schäden zu vermeiden

Tabelle 3-25: Kennwerte und Einsatzparameter von Stahl für Behälter in Biogasanlagen

Kennwerte	• verzinkter / emaillierter Baustahl St 37 oder Edelstahl V2A, im korrosiven Gasraum V4A
Eignung	• für alle liegenden und stehenden Fermenter und Gruben
Vorteile	+ Vorfertigung und kurze Bauzeit möglich + flexibel in der Herstellung von Öffnungen
Nachteile	- Fundament, Dichtungen und andere Bauteile sind nur in frostfreien Perioden herstellbar - für Rühraggregate ist meist eine zusätzliche Abstützung notwendig
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Insbesondere die nicht ständig von Substrat bedeckten Materialflächen (Gasraum) sollten aus höherwertigem Material oder mit Schutzbeschichtung aufgrund der Korrosion hergestellt werden • Gasdichtigkeit, insbesondere der Anschlüsse an Fundament und Dach muss gewährleistet sein • behördlicherseits wird oft ein Leckerkennungssystem gefordert • Beschädigungen der Beschichtungen bei Baustahl-Behältern müssen unbedingt vermieden werden

Behälter aus **Stahl und Edelstahl** werden auf ein Betonfundament gesetzt, mit dem sie verbunden werden. Zum Einsatz kommen gewickelte Blechbahnen und verschweißte oder verschraubte Stahlplatten. Die Verschraubungen müssen anschließend abgedichtet werden. Stahlfermenter werden immer überirdisch hergestellt. In der Regel wird die Dachkonstruktion als Gasspeicher verwendet und mit einer gasdichten Folie gearbeitet. Kennwerte und Eigenschaften von Stahlbehältern werden in Tabelle 3-25 dargestellt. Beispiele zeigt Abb. 3-34.

Wärmedämmung des Fermenters

Um Wärmeverluste zu verringern, müssen die Fermenter zusätzlich mit Wärmedämmmaterial versehen werden. Zur Wärmedämmung können handelsübliche Materialien verwendet werden, die je nach Einsatzbereich (Bodennähe usw.) unterschiedliche Eigenschaften haben sollten (vergleiche Tabelle 3-26). Eine Übersicht der Parameter kann Tabelle 3-27 entnommen werden, die Beispiele für Dämmstoffe enthält. Zum Schutz vor Witterungseinflüssen wird das Dämmmaterial mit Trapezblechen oder Holz verkleidet.



Abb. 3-34: Im Bau befindliche Edelstahlfermenter; Foto: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH

Tabelle 3-26: Kennwerte von Dämmstoffen [3-12], [3-13]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Material im Fermenter oder unter der Erdoberfläche: geschlossenporige Stoffe wie PU-Hartschaum und Schaumglas, die ein Eindringen von Feuchtigkeit verhindern • Material über der Erdoberfläche: Mineralwolle, Mineralfasermatten, Hartschaummatten, Extruderschäum, Styrodur, Kunstschaumstoffe, Polystyrol • Materialstärke: 5-10 cm werden verwendet, unter 6 cm ist die Dämmwirkung aber gering; die Praxiswerte basieren eher auf Erfahrungen als auf Berechnungen; in der Literatur wird von Dämmstärken bis 20 cm berichtet • k-Werte liegen im Bereich von 0,03 - 0,05 W/mK • Belastbarkeit des Dämmstoffes im Bodenbereich muss die gesamte voll gefüllte Fermenterlast tragen können
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • die Wärmedämmung kann innen- oder außenliegend eingebaut werden, wobei generell keiner dieser Varianten der Vorzug gegeben werden kann
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • alle Dämmmaterialien sollen nagerfest sein

Tabelle 3-27: Kennwerte von Dämmstoffen - Beispiele

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit	Anwendungstyp
Mineralfaser- Dämmstoffe ca. 40- 120 kg/m ³	0,030-0,040	WV, WL, W, WD
Perlite-Dämmplatten 150-210 kg/m ³	0,045-0,055	W,WD,WS
Polystyrol- Partikelschaum EPS 15 kg/m ³ < Rohdichte	0,030-0,040	W
Polystyrol- Partikelschaum EPS 20 kg/m ³ < Rohdichte	0,020-0,040	W, WD
Polystyrol- Extruderschäum XPS 25 kg/m ³ < Rohdichte	0,030-0,04	WD, W
Polyurethan- Hartschaum PUR 30 kg/m ³ < Rohdichte	0,020-0,035	WD, W, WS
Schaumglas	0,04-0,06	W, WD, WDS, WDH

Anwendungstypen: WV mit Beanspruchung auf Abreiß- und Scherfestigkeit; WL, W ohne Beanspruchung auf Druck; WD mit Beanspruchung auf Druck; WS Dämmstoffe für Sondereinsatzgebiete

Fermenterheizung

Um einen optimalen Vergärungsprozess sicherzustellen, muss eine gleichmäßige Temperatur im Fermenter vorherrschen. Hierbei ist nicht die Einhaltung der vorgegebenen Temperatur auf ein zehntel Grad genau ausschlaggebend, sondern dass Temperaturschwankungen gering gehalten werden.

Das betrifft sowohl zeitliche Temperaturschwankungen als auch die Temperaturverteilung in verschiedenen Fermenterbereichen [3-3]. Starke Schwankungen und die Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Temperaturwerte können zur Hemmung des Gärprozesses oder im schlimmsten Fall zum Erliegen des

Prozesses führen. Die Ursachen für Temperaturschwankungen können vielschichtig sein:

- Zufuhr von Frischsubstrat
- Temperaturschichten- oder Temperaturzonenbildung aufgrund unzureichender Wärmedämmung, ineffektiver oder falsch dimensionierter Heizung, unzureichender Durchmischung
- Lage der Heizungen
- Extremaußentemperaturen in Sommer und Winter
- Ausfall von Aggregaten.

Zur Bereitstellung der benötigten Prozesstemperaturen und zum Ausgleich von Wärmeverlusten muss das Substrat erwärmt werden, was durch externe oder durch in den Fermenter integrierte Wärmetauscher bzw. Heizungen geschehen kann.

Im Fermenter **integrierte Heizungen** erwärmen das Gärsubstrat im Fermenter. Tabelle 3-28 vermittelt eine Übersicht der eingesetzten Technologien, Abb. 3-35 zeigt Beispiele.

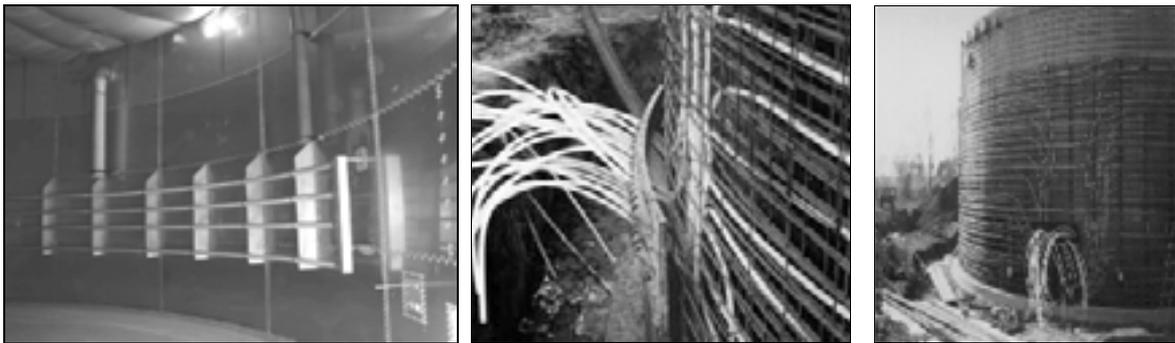


Abb. 3-35: Edelstahlheizrohre im Fermenter verlegt (links); Einbau von Heizschläuchen in die Fermenterwand (Mitte und rechts); Fotos links und Mitte: Biogas Nord GmbH; Foto rechts: PlanET Energietechnik

Tabelle 3-28: Kennwerte und Einsatzparameter von integrierten Heizungen [3-1], [3-12]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Material: bei Verlegung im Gärraum oder als Rühraggregat Edelstahlrohre, VPC oder PE (Kunststoffe müssen aufgrund der geringeren Wärmeleitung eng verlegt werden), bei Verlegung im Beton übliche Fußbodenheizungsleitungen
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • Wandheizungen: alle Betonfermentertypen • Fußbodenheizung: alle stehenden Fermenter • innenliegende Heizung: alle Fermentertypen, aber eher bei stehenden zu finden • mit Rühraggregaten verbundene Heizungen: alle Fermentertypen, aber eher bei liegenden zu finden
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + im Fermenter liegende und mit Rührwerken verbundene Heizungen haben eine gute Wärmeübertragung + Fußboden- und Wandheizungen führen nicht zu Ablagerungen + in Rühraggregaten integrierte Heizungen erreichen sehr viel Material zur Erwärmung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Wirkung von Fußbodenheizungen kann durch Sinkschichtenbildung stark vermindert sein - Heizungen im Fermenterraum können zu Ablagerungen führen, daher sollten sie mit einem Abstand zur Wand verlegt werden - Fußboden- und Wandheizungen haben eine geringe Wärmeübertragung
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Heizrohre müssen entlüftet werden können, dazu werden sie von unten nach oben durchströmt • im Beton verlegte Heizleitungen verursachen Wärmespannungen • je nach Fermentergröße in zwei oder mehr Heizkreisen verlegt • Heizeinrichtungen dürfen andere Aggregate nicht behindern (z. B. Räumler) • für thermophilen Betrieb sind in der Wand oder im Boden liegende Heizungen ungeeignet
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Fussbodenheizungen • in der Wand liegende Heizungen (bei Stahlfermentern auch an der Außenwand möglich) • vor der Wand angebrachte Heizungen • in die Rühraggregat integriert oder mit ihnen kombinierte Heizung
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Heizungen sollten zur Gewährleistung der Wärmeübertragung regelmäßig gereinigt werden • im Fermenter oder im Bauwerk integrierte Heizungen sind sehr schlecht oder gar nicht zugänglich • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden



Tabelle 3-29: Kennwerte und Einsatzparameter von externen Wärmetauschern /3-3/, /3-12/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Material: in der Regel Edelstahl • Durchsatzleistungen orientieren sich an der Anlagenkapazität und der Prozesstemperatur • Rohrdurchmesser entsprechen den üblichen Substrateleitungen in Biogasanlagen
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle Fermentertypen, häufiger Einsatz in Pfropfenstromfermentern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + es kann eine sehr gute Wärmeübertragung gewährleistet werden + Frischmaterial führt nicht zum Temperaturschock im Fermenter + es wird das gesamte Materialvolumen durch die Heizung erreicht + externe Wärmetauscher können leicht gereinigt und gewartet werden + gute Regelbarkeit der Temperatur
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - unter Umständen ist eine zusätzliche Fermenterheizung vorzusehen - der externe Wärmetauscher stellt ein zusätzliches Aggregat dar, das mit Zusatzkosten verbunden ist
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmetauscher müssen entlüftet werden können, dazu werden sie von unten nach oben durchströmt • für thermophilen Prozessbetrieb gut geeignet
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Spiral- oder Doppelrohrwärmeübertrager
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • sehr gute Zugänglichkeit für Wartung und Reinigung

Externe Wärmetauscher erwärmen das Gärsubstrat vor dem Eintrag in den Fermenter, wodurch es bereits vorgewärmt in den Fermenter gelangt. So können Temperaturschwankungen bei der Substrateinbringung vermieden werden. Bei Einsatz von externen Wärmetauschern muss entweder eine kontinuierliche Substratumwälzung durch den Wärmetauscher realisiert werden oder es kann auf eine zusätzliche interne Heizung im Fermenter nicht verzichtet werden, um eine konstante Fermentertemperatur aufrechtzuerhalten. Eigenschaften externer Wärmetauscher können Tabelle 3-29 entnommen werden.

Mischaggregate

Eine gute Durchmischung des Fermenterinhalt muss aus mehreren Gründen gewährleistet sein:

- Vermischen von frischem und ausgefaultem Substrat, wodurch das frische Substrat angeimpft wird,
 - eine gleichmäßige Verteilung von Wärme und Nährstoffen innerhalb des Fermenters,
 - die Vermeidung und Zerstörung von Sink- und Schwimmschichten,
 - ein gutes Ausgasen des Biogases aus dem Gärsubstrat.
- Eine minimale Durchmischung des Gärsubstrates findet durch das Einbringen von Frischsubstrat, thermische Konvektionsströmungen und das Aufsteigen von Gasblasen statt. Diese passive Durchmischung ist allerdings nicht ausreichend, weshalb der Durchmischungsprozess aktiv unterstützt werden muss.

Das Durchmischen kann durch mechanische Einrichtungen im Faulbehälter wie z.B. Rührwerke, hydraulisch durch außerhalb des Fermenters angeordnete Pumpen oder pneumatisch durch Einblasung von Biogas in den Fermenter durchgeführt werden.

Die beiden letztgenannten Möglichkeiten spielen eine eher untergeordnete Rolle. In Deutschland werden in etwa 85 bis 90 % der Anlagen mechanische Einrichtungen bzw. Rührwerke eingesetzt /3-1/.

Mechanische Durchmischung

Die mechanische Durchmischung des Gärsubstrates wird durch Verwendung von Rührwerken realisiert.

Unterschieden werden kann zwischen

- schnell laufenden und intensiv wirkenden Rührwerken,
- mittelschnell laufenden Rührwerken,
- langsam laufenden Rührwerken.

Die Rührwerke werden in Dauer- oder Intervallbetrieb betrieben. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Rührintervalle an die spezifischen Eigenschaften jeder Biogasanlage, wie Substrateigenschaften, Behältergrößen, Neigung zur Schwimmdeckenbildung usw. empirisch optimiert werden müssen. Nachdem die Anlage in Betrieb genommen wurde, wird sicherheitshalber länger und häufiger gerührt. Die gemachten Erfahrungen werden dann zur Optimierung der Dauer und Häufigkeit der Intervalle sowie der Einstellungen der Rührwerke verwendet. Zum Einsatz können hierbei unterschiedliche Rührwerkstypen kommen.

In stehenden, nach dem Rührkesselprinzip arbeitenden Fermentern kommen häufig **Tauchmotor-Propellerrührwerke** (TMR) zum Einsatz. Angetrieben werden TMR durch getriebelose Elektromotoren, deren Gehäuse druckwasserdicht und korrosionsfest ummantelt sind und durch das Umgebungsmedium gekühlt werden /3-1/. Sie werden komplett in das Substrat eingetaucht und besitzen meistens

Tabelle 3-30: Kennwerte und Einsatzparameter von Tauchmotor-Propellerrührwerken [3-2]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • schnell laufende Rührwerke im Intervallbetrieb (300-1500 U/min) • Leistungsbedarf: um die 10 kW pro 1000 m³ Fermentervolumen bei recht flüssigen Substraten; abhängig von Substratzähigkeit und Fermentergeometrie • verfügbare Leistungsbereiche: 0,25-35 kW • Einsatzdauer abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden • in großen Fermentern werden häufig zwei Rührwerke installiert • Material: korrosionsfest, meist Edelstahl
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle Substrate in der Nassvergärung, meist in stehenden Fermentern • mesophile Vergärung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + sehr gute Durchmischung im Fermenter erreichbar + aufgrund der sehr guten Beweglichkeit gezielte Erreichung aller Fermenterbereiche bei der Durchmischung möglich + Zerstörung von Schwimmdecken und Sinkschichten sehr gut möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Energieaufwand bei jedem Anlauf, um Fermenterinhalt in Bewegung zu bringen - daher auch hohe Aggregatleistung erforderlich - durch Führungsschienen viele bewegliche Teile im Fermenter - aufgrund der Intervalldurchmischung Absetz- und Aufschwimmvorgänge möglich - Wartung erfordert die Öffnung des Fermenters
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Führungsrohre durch Fermenterdecke muss gasdicht sein • Intervallsteuerung z.B. über Zeitschaltuhren • Motorgehäuse müssen vollkommen flüssigkeitsdicht sein • Motorkühlung muss auch bei hohen Fermentertemperaturen gewährleistet sein • automatische Leckerkennung im Motorgehäuse wird z.T. angeboten
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • tauchfähige getriebelose Elektromotoren mit Propeller, z.T. auch mit einstufigem Getriebe
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • z.T. schwierig, da der Motor aus dem Fermenter genommen werden muss • Wartungs- und Motorentnahmeöffnungen müssen im Fermenter integriert sein • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

geometrisch optimierte zwei- oder dreiflügelige Propeller. Durch ihr Führungsrohrsystem, bestehend aus Galgen, Seilwinde und Leitprofil, lassen sich die Rührwerke meist von außen in ihrer Höhe, seitlich und in ihrer Neigung verstellen. Einsatzdaten und ein Beispiel sind in Tabelle 3-30 und Abb. 3-36 dargestellt.

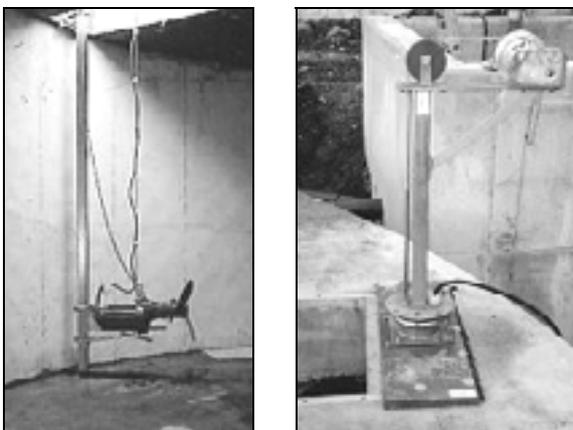


Abb. 3-36: Tauchmotor-Propellerrührwerk (links) und Führungsrohrsystem (rechts);
Fotos: Agrartechnik Lothar Becker

Alternativ sitzt bei **Langachsührwerken** der Motor am Ende einer Rührwelle, die schräg in den Fermenter eingebaut wird. Der Motor ist außerhalb des Fermenters angeordnet, wobei die Wellendurchführung durch die Fermenterdecke oder bei Foliendächern im oberen Wandbereich vorgenommen wird und gasdicht ausgeführt ist. Die Wellen können zusätzlich am Fermenterboden gelagert sein und sind mit einem oder mehreren großflächigen, paddelförmigen Rührwerkzeugen ausgestattet.

Tabelle 3-31 vermittelt die Kennwerte von Langachsührwerken, Abb. 3-37 zeigt Beispiele.

Eine weitere Möglichkeit der mechanischen Durchmischung des Fermenters bieten **axiale Rührwerke**. Sie werden oft kontinuierlich betrieben. Axiale Rührwerke sind an meist zentrisch an der Fermenterdecke montierten Wellen angebracht. Die Geschwindigkeit des Antriebsmotors, der sich außerhalb des Fermenters befindet, wird durch ein Getriebe auf wenige Umdrehungen pro Minute herabgesetzt. Sie sollen im Inneren des Fermenters eine ständige Strömung erzeugen, die innen nach unten und an den Wänden nach oben gerichtet ist. Kennwerte und Einsatzparameter von axialen Rührwerken sind in



Tabelle 3-31: Kennwerte und Einsatzparameter von Langachsührwerken

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • mittelschnell (100-300 U/min) oder langsam (10-50 U/min) laufende Rührwerke im Intervallbetrieb oder kontinuierlich • Leistungsbedarf: um die 10 kW pro 1000 m³ Fermentervolumen bei recht flüssigen Substraten und Intervallbetrieb; abhängig von Substratzähigkeit und Fermentergeometrie; im kontinuierlichen Betrieb geringer Energieverbrauch • verfügbare Leistungsbereiche: 2-30 kW • Einsatzdauer und Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden • Material: korrosionsfest, meist Edelstahl
Eignung	• alle Substrate in der Nassvergärung, nur in stehenden Fermentern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + sehr gute Durchmischung im Fermenter erreichbar + kaum bewegliche Teile im Fermenter + Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters + bei kontinuierlichem Betrieb können Absetz- und Aufschwimmvorgänge vermieden werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - unvollständige Durchmischung ist aufgrund der stationären Installation möglich - dadurch sind Bereiche mit Sink- und Schwimmschichtenbildung möglich - im Intervallbetrieb hoher Energieaufwand bei jedem Anlauf, um Fermenterinhalt in Bewegung zu bringen; daher auch hohe Aggregatleistung erforderlich - bei Intervalldurchmischung Absetz- und Aufschwimmvorgänge möglich - bei außenliegenden Motoren kann es zu Problemen wegen Motor- und Getriebegeräuschen kommen
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein • Intervallsteuerung z.B. über Zeitschaltuhren • Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit ein oder mehreren Propellern und ggfs. Zerkleinerungswerkzeugen (siehe Kapitel Zerkleinerung) • z.T. Achsende am Boden fixiert, schwimmend oder schwenkbar ausgeführt • Zapfwellenanschluss möglich
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich • Reparatur von Flügeln und Achse schwierig, da sie aus dem Fermenter genommen werden müssen oder der Fermenter abgelassen werden muss • Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden



Abb. 3-37: Langachsührwerke mit zwei Rührwerkzeugen mit und ohne Lagerung am Fermenterboden;
Foto: WELtec BioPower GmbH; Grafik: Armatec FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Tabelle 3-32 zusammengefasst, ein Beispiel stellt Abb. 3-38 dar.

Paddel- oder Haspelrührwerke sind langsam laufende Rührwerke, die bauartbedingt meist in *liegenden*

Fermentern, die nach dem Pfropfenstromprinzip arbeiten, eingesetzt werden. Auf der horizontalen Rührachse sind Paddel angebaut, die die Durchmischung realisieren. Die Rührwirkung soll nur eine

Tabelle 3-32: Kennwerte und Einsatzparameter von axialen Rührwerken für Biogasanlagen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • langsam laufende Rührwerke im kontinuierlichen Betrieb • verfügbare Leistungsbereiche: bis 25 kW und 22m Durchmesser im Angebot • Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden • Material: korrosionsfest, meist Edelstahl • Leistungsbedarf: z.B. 5,5 kW bei 3000 m³, meist darüber
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle Substrate in der Nassvergärung, nur in stehenden größeren Fermentern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + gute Durchmischung im Fermenter erreichbar + kaum bewegliche Teile im Fermenter + Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters + geringe Schwimmdecken können nach unten abgesaugt werden + kontinuierliche Absetz- und Aufschwimmvorgänge werden weitgehend verhindert
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - unvollständige Durchmischung ist aufgrund der stationären Installation möglich - dadurch sind Bereiche mit Sink- und Schwimmschichtenbildung möglich, insbesondere die Fermenterrandbereiche neigen dazu
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein • Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit einem oder mehreren Propellern bzw. Paddeln, als stehende oder hängende Rührwerke • Propellermontage kann in einem Leitrohr für die Strömungsausbildung erfolgen • exzentrische Anordnung ist möglich
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich • Reparatur von Flügeln und Achse schwierig, da sie aus dem Fermenter genommen werden müssen oder der Fermenter abgelassen werden muss • Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

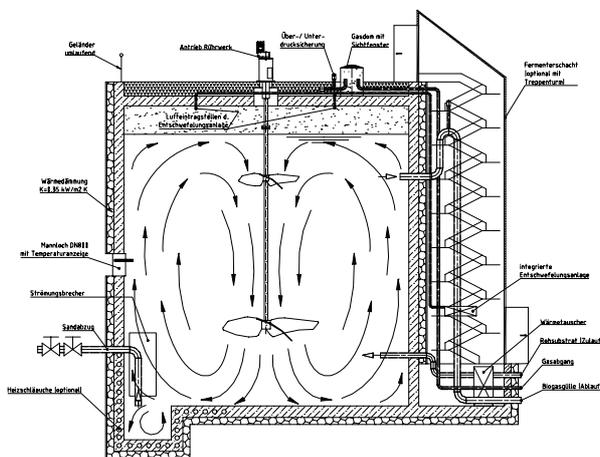


Abb. 3-38: Axialrührwerk; Zeichnung: ENTEC Environmental Technology Umwelttechnik GmbH

vertikale Durchmischung des Substrates erreichen. Der horizontale Pfropfenstrom wird durch die Nachlieferung von Material in den Fermenter gewährleistet. In den Laufwellen und auch in den Rührarmen der Rührwerke sind oftmals Heizschlangen integriert (vgl. Abb. 3-31), mit denen das Gärsubstrat erwärmt wird. Sie werden mehrmals am Tag für einen kurzen

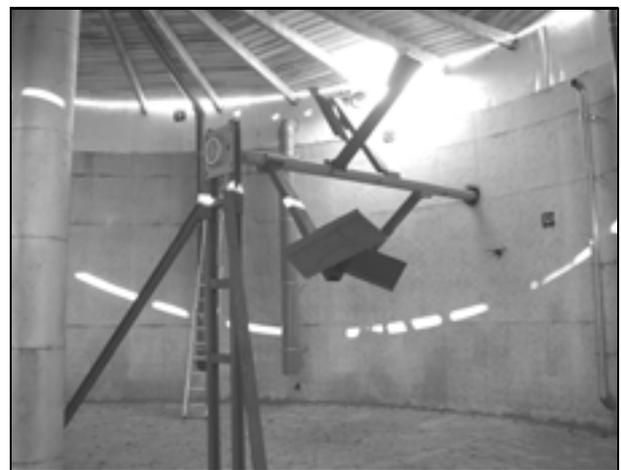


Abb. 3-39: Paddelrührwerk; Foto: PlanET Energietechnik

Zeitraum mit geringer Drehzahl in Betrieb genommen. Kennwerte enthält Tabelle 3-33.

Paddel- oder Haspelrührwerke können auch in *stehenden* Fermentern installiert werden. Ein Beispiel wird in Abb. 3-39 dargestellt. Die Eigenschaften können Tabelle 3-34 entnommen werden.

Tabelle 3-33: Kennwerte und Einsatzparameter von Paddel-/Haspelrührwerken in liegenden Fermentern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • langsam laufende Rührwerke im Intervallbetrieb • Leistungsbedarf: stark vom individuellen Einsatzort und Substrat abhängig, in der Trockenfermentation aufgrund des hohen Substratwiderstandes erheblich höher • Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden • Material: korrosionsfest, meist Edelstahl
Eignung	• alle Substrate in der Nass- und Trockenvergärung, nur in liegenden Fermentern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + gute Durchmischung im Fermenter erreichbar + trotzdem Gewährleistung des Pfropfenstromes + Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters, auch Zapfwellenanschluss möglich + kontinuierliche Absetz- und Aufschwimmvorgänge werden verhindert
Nachteile	- für Paddelwartungen muss der Fermenter entleert werden, bei Havarien in der Trockenfermentation ist eine manuelle Entleerung des gesamten Fermenters notwendig
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein • Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich
Bauformen	• Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit mehreren Paddeln, z.T. Montage von Wärmetauscherrohren als zusätzliche Mischaggregate auf der Achse bzw. als Einheit mit den Paddeln
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich • Reparatur von Paddeln und Achse schwierig, da der Fermenter abgelassen werden muss • Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Tabelle 3-34: Kennwerte und Einsatzparameter von Paddel-/Haspelrührwerken in stehenden Fermentern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • langsam laufende Rührwerke im Intervallbetrieb • Leistungsbedarf: stark vom individuellen Einsatzort und Substrat abhängig • Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden • Material: korrosionsfest, meist Edelstahl
Eignung	• alle Substrate in der Nassvergärung
Vorteile	+ Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - für Paddelwartungen muss der Fermenter entleert werden - unvollständige Durchmischung aufgrund der stationären Installation möglich
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein • Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich
Bauformen	• Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit mehreren Paddeln
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich • Reparatur von Paddeln und Achse schwierig, da der Fermenter abgelassen werden muss • Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Pneumatische Durchmischung

Die pneumatische Durchmischung des Gärsubstrates wird zwar von einigen Herstellern angeboten, spielt allerdings bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen eine untergeordnete Rolle.

Bei der pneumatischen Durchmischung wird Biogas über den Fermenterboden in den Fermenter eingeblasen. Dadurch kommt es durch die aufsteigenden Gasblasen zu einer vertikalen Bewegung und Durchmischung des Substrates.

Die Systeme haben den Vorteil, dass die für die Durchmischung benötigten mechanischen Teile (Pumpen und Verdichter) außerhalb des Fermenters angeordnet sind und so einem geringeren Verschleiß unterliegen. Zur Zerstörung von Schwimmschichten eignen sich diese Techniken nicht, weswegen sie nur für dünnflüssige Substrate mit geringer Neigung zur Schwimmschichtenbildung eingesetzt werden können. Kennwerte von Systemen zur pneumatischen Durchmischung enthält Tabelle 3-35.

Tabelle 3-35: Kennwerte und Einsatzparameter der pneumatischen Fermenterdurchmischung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsbedarf: z.B. 15 kW Verdichter für einen 1400 m³ Fermenter, quasikontinuierlicher Betrieb • verfügbare Leistungsbereiche: ab 0,5 kW alle Bereiche für Biogasanlagen möglich
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • sehr dünnflüssige Substrate mit geringer Schwimmdeckenbildung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + gute Durchmischung im Fermenter erreichbar + wartungsfreundlicher Standort von Gasverdichtern außerhalb des Fermenters + Sinkschichten werden verhindert
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - für Wartungen der Biogaseintragseinrichtungen muss der Fermenter entleert werden
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Verdichtertechnik muss für die Zusammensetzung des Biogases geeignet sein
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • gleichmäßige Düsenverteilung über den gesamten Fermenterboden oder Mammutpumpenprinzip der Einpressung des Biogases in ein vertikales Leitrohr • Kombination mit hydraulischer oder mechanischer Durchmischung wird angewendet
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Gasverdichterwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich • Reparatur Biogaseinpressungsbauteilen schwierig, da der Fermenter abgelassen werden muss • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Hydraulische Durchmischung

Bei der hydraulischen Durchmischung wird Substrat über Pumpen und waagrecht oder zusätzlich senkrecht schwenkbare Rührdüsen in den Fermenter eingedrückt. Das Absaugen und Einleiten des Gärsubstrates muss so erfolgen, dass der Fermenterinhalt möglichst vollständig durchmischt wird.

Auch hydraulisch durchmischte Systeme haben den Vorteil, dass die für die Durchmischung benötigten mechanischen Teile außerhalb des Fermenters angeordnet sind und so einem geringeren Verschleiß unterliegen und leicht gewartet werden können.

Zur Zerstörung von Schwimmschichten eignet sich auch die hydraulische Durchmischung nur bedingt, weswegen sie nur für dünnflüssige Substrate mit geringer Neigung zur Schwimmschichtenbildung eingesetzt werden kann. Zur Beurteilung der Pumpentechnik sind zusätzlich die Angaben in Kapitel Substrattransport und -einbringung zu beachten. Tabelle 3-36 zeigt eine Übersicht der Kennwerte und Einsatzparameter der hydraulischen Durchmischung.

Tabelle 3-36: Kennwerte und Einsatzparameter der hydraulischen Fermenterdurchmischung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Pumpen hoher Förderleistung • Leistungsdaten: entsprechen den üblichen Pumpenleistungen wie in Kapitel 3.2.1.4 • Material: wie bei Pumpen
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle leicht pumpfähigen Substrate in der Nassvergärung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + gute Durchmischung im Fermenter mit verstellbaren Tauchkreislumpen oder Leitrohren erreichbar, damit auch Zerstörung von Sink- und Schwimmschichten möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - mit externen Pumpen ohne gezielte Strömungsleitung ist die Bildung von Sink- und Schwimmschichten möglich - mit externen Pumpen ohne gezielte Strömungsleitung können Sink- und Schwimmschichten nicht entfernt werden
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Aggregatbesonderheiten siehe Kapitel 3.2.1.4
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Tauchkreislumpenpumpe oder trocken aufgestellte Kreisel-, Exzentrerschneckenpumpe oder Drehkolbenpumpe, siehe Kapitel 3.2.1.4 • bei externen Pumpen können die Eintrittsstellen mit beweglichen Leitrohren oder Düsen versehen sein; Umschaltung verschiedener Einlassstellen möglich
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • es gelten die gleichen aggregatspezifischen Wartungsangaben wie in Kapitel 3.2.1.4

Sedimentausttrag aus dem Fermenter

Sedimente bzw. Sinkschichten bilden sich durch das Absetzen von Schwerstoffen wie beispielsweise Sand in der Nassvergärung. Zur Abscheidung von Schwerstoffen werden Vorgruben mit Schwerstoffabscheidern versehen, jedoch kann Sand, beispielsweise bei Hühnerkot, sehr stark an die organische Substanz gebunden sein, so dass in Vorgruben meist nur Steine und andere grobe Schwerstoffe abgeschieden werden können. Ein Großteil des Sandes wird erst während des biologischen Abbauprozesses im Fermenter freigesetzt.

Bestimmte Substrate wie z. B. Schweinegülle oder Hühnerkot können die Bildung solcher Schichten fördern. Die Sinkschichten können im Laufe der Zeit sehr mächtig werden, wodurch das nutzbare Volumen

des Fermenters verkleinert wird. Es sind bereits bis zur Hälfte mit Sand gefüllte Fermenter aufgetreten. Außerdem können die Sinkschichten sehr stark verhärten, so dass sie nur noch mit Spaten oder Baggern zu entfernen sind. Der Austrag der Sinkschichten aus dem Fermenter wird über Bodenräumer oder einen Bodenablass möglich. Bei starker Sinkschichtenbildung ist die Funktionalität der Sedimentausttragssysteme allerdings nicht in jeden Fall gegeben, weswegen es nötig sein kann, den Fermenter zu öffnen, um die Sinkschichten per Hand oder maschinell zu entfernen. Mögliche Techniken des Sedimentaustrages werden in Tabelle 3-37 dargestellt. Bei sehr hohen Fermentern über 10 m Höhe kann der statische Druck ausreichen, um Sand, Kalk und Schlamm auszutragen.

Tabelle 3-37: Technik von Sedimentausttragssystemen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Kennwerte der für Sedimentausttragssysteme verwendeten Aggregate entsprechen denen der Einzelaggregate, die weiter oben beschrieben wurden
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • Bodenräumer nur in stehenden Fermentern mit runder und ebener Grundfläche • Austragsschnecken in liegenden und stehenden Fermentern • konische Fermenterböden in stehenden Fermentern
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Besonderheiten der für Sedimentausttragssysteme verwendeten Aggregate entsprechen denen der Einzelaggregate, die weiter oben beschrieben wurden • Austragsschnecken müssen entweder flüssigkeitsdicht durch die Fermenterwand oder gasdicht über die Fermenterwand geführt werden • der Austrag kann starke Gerüche verursachen • für Austragsschnecken muss ein Pumpensumpf o.ä. im Fermenter integriert sein
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Bodenräumer mit außenliegendem Antrieb zur Förderung der Sinkschicht nach außen • Austragsschnecken am Fermenterboden • konischer Fermenterboden mit Entnahmepumpe und Sinkschichtaufrührung oder Spüleinrichtung
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • die Wartung ist bei fest installierten Systemen mit dem Ablass des Fermenters verbunden, daher sind außenliegende Antriebe oder entnehmbare Aggregate von Vorteil • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Schaumfalle

Je nach verwendetem Substrat bzw. verwendeter Substratzusammensetzung kann es zur Schaumbildung bei der Nassfermentation im Fermenter kommen. Dieser Schaum kann die Gasleitungen zur Biogasentnahme verstopfen, weswegen die Gasableitung möglichst hoch im Fermenter verlegt werden sollte. Zusätzliche Schaumfallen sollen das Eindringen von Schaum in die Substratleitungen zu den nachgeschalteten Fermentern oder Lagerbecken verhindern. Außerdem kann im Gasraum des Fermenters ein Schaumsensor angebracht werden, der bei zuviel Schaumentstehung einen Alarm auslöst. Weiterhin besteht die Möglichkeit, bei zu starker Schaumbildung schaumhemmende Stoffe in den Fermenter einzu-

sprühen, wofür allerdings die entsprechende Vorrichtung im Fermenter vorhanden sein muss. Schaumhemmer sind allerdings Silikatverbindungen, die das BHKW bei der Gasnutzung schädigen können.

Austrag des vergorenen Materials

Bei liegenden Fermentern wird das vergorene Material durch die Pfropfenströmung aufgrund des in den Fermenter geförderten Substrateintrages über einen Überlauf oder ein unterhalb des Substratspiegels gelegenes Austragsrohr ausgetragen. Stehende Fermenter haben normalerweise einen Überlauf, der nach dem Siphonprinzip arbeitet, um einen Gasaustritt zu verhindern. Das vergorene Substrat kann auch mittels Pumpen abgezogen werden.

3.2.2.3 Fest-Flüssig-Trennung

Mit der Erhöhung der Anteile an stapelfähigen Substraten in der Biogasgewinnung muss mehr Augenmerk auf die Herkunft der Anmaischflüssigkeit und die Kapazität des Gärrestlagers geworfen werden. Das Lager ist häufig für die anfallende Gülle geplant, kann aber zusätzliche Substrate nach der Vergärung nicht mehr aufnehmen. Für diesen Fall kann der Einsatz einer Fest-Flüssig-Trennung wirtschaftlich und technologisch sinnvoll sein. Das Presswasser kann als Anmaischwasser oder auch als Flüssigdünger wiederverwendet werden und die feste Fraktion ist in wenig Volumen lagerfähig oder kann kompostiert werden.

Zur Fest-Flüssig-Trennung können Siebbandpressen, Zentrifugen oder Schrauben- bzw. Schnecken-separatoren verwendet werden. Aufgrund des vorwiegenden Einsatzes von Separatoren werden deren Kennwerte in Tabelle 3-38 vorgestellt. Einen Schnitt und ein Anwendungsbeispiel eines Separators zeigt Abb. 3-40.

Bei der Prozesswasser-Kreislaufführung ist allerdings zu beachten, dass sich Salze und Nährstoffe bis zu für die Prozessbiologie schädlichen Konzentrationen anreichern können.

3.2.2.4 Überwachung und Steuerung der Biogasgewinnung

Aufgrund der engen Zusammenhänge der Teile des komplexen Gesamtsystems Biogasanlage wird die Überwachung und Steuerung der Gesamtanlage zentral durchgeführt.

Aus diesem Grund werden Überwachung und Steuerung der Biogasgewinnung gemeinsam mit den anderen Aggregaten im Kapitel 3.2.5 diskutiert.

Tabelle 3-38: Technik von Schnecken-separatoren

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Substrate von < 1% Trockensubstanz bis ca. 20 % Trockensubstanz • Produkt: bis über 40 % Trockensubstanz • Leistung: beispielsweise bei 5,5 kW und ca. 35 m³/h Input von 5 auf 25 % Trockensubstanz
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für pumpfähige Substrate, die von Förderschnecken bewegt werden können
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Zusatzoptionen wie beispielsweise Oszillatoren können die Entwässerung effektiver machen • vollautomatischer Betrieb möglich
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • freistehendes Aggregat • Installation nach der Fermentation um Anmaischwasser zurückzuführen und Rührwerke im Gärrest-lager einzusparen
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • gut zugängliches Aggregat, Wartung ohne Gesamtprozessunterbrechung möglich

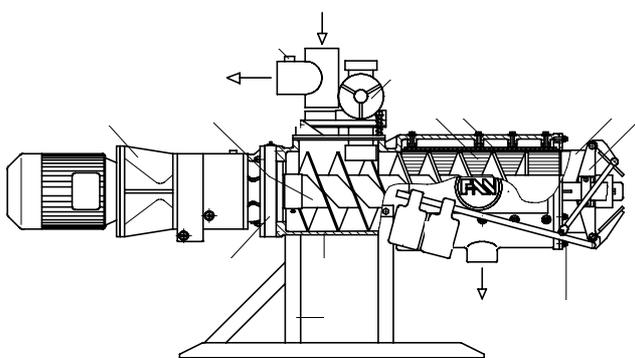


Abb. 3-40: Schneckenseparator; Zeichnung: FAN Separator GmbH; Foto: PlanET Energietechnik



3.2.3 Lagerung des vergorenen Substrates

Das vergorene Substrat (Gärrest, Biogasgülle) gelangt aus dem Fermenter in ein Gärrestlager. Hier wird es bis zu seiner Ausbringung zwischengelagert und abgekühlt was je nach Jahreszeit bis zu einem halben Jahr realisiert werden muss und dementsprechend ausgelegt wird. Als Gärrestlager können alte Güllebehälter bzw. -becken verwendet oder neue angelegt werden. Die Speicherkapazität der Lager sollte so bemessen sein, dass Zeiträume, in denen ein witterungsabhängiges Ausbringen der Gärreste nicht möglich ist, ausreichend abgedeckt sind. Die Dimensionierung ist hier von der Verfahrensführung und den eingesetzten Substraten abhängig. Meist werden stehende Rundbehälter verwendet. Aufbau und installierte Technik entsprechen weitgehend dem Grundaufbau der Fermenter (siehe Kapitel 3.2.2.2). Es wird allerdings oft auf Rührwerkstechnik, Sandräumung, Beheizung und Wärmedämmung verzichtet.

Da die im Gärsubstrat enthaltene organische Substanz im Fermenter nicht zu 100 % abgebaut wird, finden auch bei der Lagerung der Gärreste weiterhin Gärprozesse statt. Wird das Gärrestlager gasdicht abgedeckt, kann das hierbei entstehende Biogas aufgefangen werden. Dies ist bei Lagerneubauten vorgeschrieben. In diesem Fall fungiert das Gärrestlager als Nachgärbehälter. Das so zusätzlich gewonnene Biogas kann bis zu 20 % der Gesamtausbeute betragen. Neben der zusätzlichen Gasausbeute können so auch Geruchsemissionen verringert werden. Aus diesen Gründen ist ein abgedecktes Gärrestlager einem nicht abgedeckten vorzuziehen /3-3/.

3.2.4 Speicherung des gewonnenen Biogases

Das Biogas fällt in schwankender Menge und z. T. mit Leistungsspitzen an. Aus diesem Grund und wegen der weitestgehend konstanten Nutzungsmenge muss es in dafür geeigneten Speichern zwischengespeichert werden. Die Gasspeicher müssen gasdicht, druckfest, medien-, UV-, temperatur- und witterungsbeständig sein. Vor Inbetriebnahme sind die Gasspeicher auf ihre Dichtigkeit zu prüfen. Aus Sicherheitsgründen müssen Gasspeicher mit Über- und Unterdrucksicherungen ausgestattet sein, um eine unzulässig hohe Änderung des Innendrucks im Speicher zu verhindern. Weitere Sicherheitsanforderungen und -vorschriften für Gasspeicher sind in den „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ enthalten. Die Speicher sollten so ausgelegt sein, dass ca. eine viertel Tagesproduktion Biogas gespeichert

werden kann, empfohlen wird häufig ein Volumen von ein bis zwei Tagesproduktionen. Unterschieden werden kann zwischen Nieder-, Mittel- und Hochdruckspeichern.

Niederdruckspeicher

Am gebräuchlichsten sind Niederdruckspeicher mit einem Überdruckbereich von 0,05 bis 0,5 mbar. Niederdruckspeicher bestehen aus Folien, die den Sicherheitsanforderungen gerecht werden müssen. Folienpeicher werden als externe Gasspeicher oder als Gashauben auf dem Fermenter installiert.

Externe Niederdruckspeicher können in Form von Folienkissen ausgeführt werden. Die Folienkissen werden zum Schutz vor Witterungseinflüssen in geeigneten Gebäuden untergebracht oder mit einer zweiten Folie versehen (Abb. 3-41). Die Spezifikationen von externen Gasspeichern werden in Tabelle 3-39 dargestellt.

Wird der Fermenter selbst bzw. der Nachgärbehälter als Gasspeicher verwendet, kommen sogenannte Folienhauben zum Einsatz. Die Folie wird gasdicht an der Oberkante des Behälters angebracht. Im Behälter wird ein Traggestell eingebaut, auf dem die Folie bei leerem Gasspeicher aufliegen kann. Je nach Füllstand des Gasspeichers dehnt sich die Folie aus. Kennwerte können Tabelle 3-40 entnommen werden, Beispiele werden in Abb. 3-42 gezeigt.

Mittel- und Hochdruckspeicher

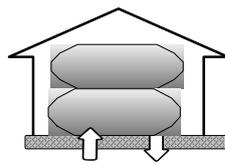
Mittel- und Hochdruckspeicher speichern das Biogas bei Betriebsdrücken zwischen 5 und 250 bar in Stahl-druckbehältern und -flaschen /3-1/. Sie sind sehr betriebs- und kostenaufwändig. Bei Druckspeichern bis 10 bar muss mit einem Energiebedarf bis zu 0,22 kWh/m³ und bei Hochdruckspeichern mit 200-300 bar mit ca. 0,31 kWh/m³ gerechnet werden /3-3/. Deshalb kommen sie bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen praktisch nicht zum Einsatz.

Notfackel

Für den Fall, dass die Gasspeicher kein zusätzliches Biogas mehr aufnehmen können und/oder das Gas z. B. aufgrund von Wartungsarbeiten am BHKW oder extrem schlechter Qualität nicht verwertet werden kann, muss der nicht nutzbare Teil schadlos entsorgt werden. Die Vorgaben zur Betriebsgenehmigung werden hier bundeslandspezifisch unterschiedlich gehandhabt, wobei ab Gasströmen von 20 m³/h die Installation einer Verwertungsalternative zum BHKW vorgeschrieben ist. Dies kann in der Form eines zweiten BHKW erfolgen (beispielsweise zwei kleinere

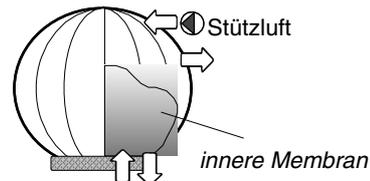
Tabelle 3-39: Kennwerte und Einsatzparameter von externen Biogasspeichern, Daten z.T. aus [3-3]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Gasspeichervolumen bis 2000 m³ lieferbar • Überdruck: 0-100 mbar • Foliendurchlässigkeit: es muss mit 1-5 ‰ Biogasverlust am Tag gerechnet werden • Materialien: PVC (nicht sehr langlebig), Butylkautschuk, Polyäthylen-Polypropylen-Gemisch
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Biogasanlagen
Vorteile	+ Methankonzentration des aktuell gebildeten Biogases kann im Gasraum des Fermenters gemessen werden (aufgrund der geringen Gasmenge ist dort die Vermischung klein) und spiegelt die Aktivität der Mikroorganismen wider
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - ggfs. zusätzlicher Platzbedarf - ggfs. zusätzliches Gebäude
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • durch Auflegen von Gewichten kann der Druck zur Beschickung des BHKW erhöht werden • Bei Unterbringung in Gebäuden muss auf eine sehr gute Luftzufuhr zum Gebäude geachtet werden um explosionsfähige Gemische zu vermeiden • in Abhängigkeit vom Füllstand kann die Motorleistung des BHKW angepasst werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • freiliegendes und fixiertes Folienkissen • eingehaustes Folienkissen in Extragebäude oder Tank • Folienkissen auf einer Zwischendecke über dem Fermenter • Foliensack, hängend in einem Gebäude (z. B. ungenutzte Scheune) • Folienspeicher unter Tragluftdach
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • weitestgehend wartungsfrei



Biogas

Folienkissenspeicher



Biogas

Doppelmembranspeicher

Abb. 3-41: Folienspeicher; Zeichnungen: Linke, B.: Institut für Agrartechnik Bornim

BHKW statt eines großen). Mit der Installation einer Notfackel ist man hier auf jeden Fall auf der sicheren Seite, um die Möglichkeit der Gasentsorgung nachweisen zu können. Meist wird dies auch von den Behörden gefordert. Kennwerte von Notfackeln, die im Biogasbereich eingesetzt werden, zeigt Tabelle 3-41. Ein Beispiel zeigt Abb. 3-43.

3.2.5 Prozessüberwachung und -steuerung

Neben einer fachmännischen Planung der Biogasanlage sollte ein betriebsbegleitender Service der Anlagenhersteller die Regel sein. Durch Laboruntersuchungen wird eine Optimierung des Gärprozesses angestrebt. So kann eine ausreichende Biogasproduktion gewährleistet und dem größtmöglichen Störfall einer Biogasanlage, dem Zusammenbrechen des Biogasprozesses, vorgebeugt werden.

Um eine effektive Prozessführung und -kontrolle durchführen zu können, ist es notwendig, bestimmte

Parameter des Vergärungsprozesses zu überwachen. Zur Beurteilung und Steuerung des Gärprozesses ist eine Überwachung folgender Werte empfehlenswert, wobei zumindest die Bestimmung der ersten vier genannten Werte täglich erfolgen sollte:

- Art und Menge der zugeführten Substrate,
- Prozesstemperatur,
- pH-Wert,
- Gasmenge und -zusammensetzung,
- kurzkettige Fettsäuren,
- Füllstand.

Eine Standardisierung und Weiterentwicklung des Gärprozesses und damit der Produktivität der Biogasanlage ist nur durch eine regelmäßige Überwachung und Dokumentation (z. B. in Betriebstagebüchern) der Messdaten möglich. Überwachung und Dokumentation sind auch bei stabil laufenden Prozessen notwendig, um Abweichungen von Normalwerten rechtzeitig erkennen zu können. Nur so besteht die Möglichkeit eines frühzeitigen Eingriffs und einer da-

Tabelle 3-40: Kennwerte und Einsatzparameter von Folienhauben, Daten z.T. aus [3-3]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Gasspeichervolumen bis 4000 m³ lieferbar • Überdruck: 5-100 mbar • Foliendurchlässigkeit: es muss mit 1-5 ‰ Biogasverlust am Tag gerechnet werden • Materialien: Butylkautschuk, Polyäthylen-Polypropylen-Gemisch, EPDM-Kautschuk
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Biogasanlagen mit stehendem Fermenter und Nachgärer mit möglichst hohen Durchmessern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + kein zusätzliches Gebäude notwendig + kein zusätzlicher Platz notwendig
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - die aktuelle Methankonzentration im Gasraum des Fermenters kann aufgrund der starken Gasvermischung im großen Gasraum nicht gemessen werden und kann daher die Aktivität der Mikroorganismen nicht widerspiegeln - Wärmedämmung zum Gasraum ist ohne zusätzliches Dach nur gering - ohne zusätzliches Dach wind- und schneeempfindlich
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmedämmung durch Doppelfolie mit Lufteinblasung (Tragluftdach) möglich • Rührwerke können nicht auf der Fermenterdecke montiert werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Folie als Dach über dem Fermenter • Folie unter einem Tragluftdach • Folie unter einer festen Dach auf einem höher gezogenen Fermenter
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • weitestgehend wartungsfrei

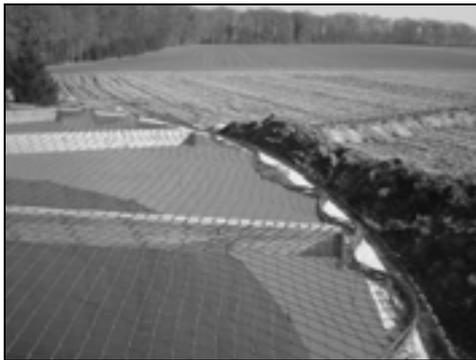


Abb. 3-42: Unterkonstruktion eines Tragluftdaches (links); Biogasanlage mit Tragluftdächern (rechts)
Fotos: MT-Energie GmbH

Tabelle 3-41: Kennwerte und Einsatzparameter von Notfackeln

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Volumenströme bis 1000 m³/h möglich • Verbrennungstemperatur 800-1000 °C • Material: Stahl oder Edelstahl
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Biogasanlagen
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • mit offener oder verdeckter Verbrennung möglich • mit isolierter Brennkammer auch Einhaltung der Vorgaben nach TA Luft möglich, wobei dies bei Notfackeln nicht zwingend vorgeschrieben ist • mit Naturzug oder Gebläse verfügbar • Sicherheitshinweise, insbesondere in Bezug auf den Abstand zum nächsten Gebäude sind zu beachten • Druckerhöhung des Biogases vor der Brennerdüse notwendig
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelaggregat auf eigenem kleinen Betonfundament im Handbetrieb oder automatisierbar
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • weitestgehend wartungsfrei



Abb. 3-43: Notfackel einer Biogasanlage;
Foto: Haase Umwelttechnik AG

mit verbundenen Korrektur des Gärprozesses. Automatische Messsysteme zur Überwachung der Prozessbiologie befinden sich in der Entwicklung, sind aber derzeit noch nicht marktreif. Wird eine computergestützte Steuerung der Biogasanlage verwendet, können die Messwerte über entsprechende Systeme per Computer aufgenommen und visualisiert werden. Kern der automatischen Überwachung ist nach wie vor die Funktionskontrolle aller Aggregate. Neben einer automatischen Steuerung der Anlage sind auch Datenfernübertragungen realisierbar. Abb. 3-44 zeigt ein Beispiel für die Computerüberwachung einer Biogasanlage.



Abb. 3-44: Computer-gestützte Anlagenführung;
Foto: Agrartechnik Lothar Becker

Die Automatisierung von Biogasanlagen nimmt in immer stärkerem Maß zu. Durch Prozessleitsysteme können die meisten Aggregate einer Biogasanlage automatisch gesteuert werden. Bekannt sind Steuerung für folgende Komponenten:

- Substratbeschickung,
- Hygienisierung,
- Fermenterheizung,
- Mischaggregate,
- Sedimentaustag,
- Substrattransport durch die Anlage,
- Fest-Flüssig-Trennung,
- Entschwefelung,
- Blockheizkraftwerk.

Die Art der Steuerung variiert von Zeitschaltuhren bis hin zu visualisierten computergestützten Regelungen mit Fernüberwachung durch einen Anlagenservice. Die Anlagensteuerung wird individuell für jede Anlage geplant und geliefert. Die Abb. 3-45 zeigt Beispiele für die Prozessvisualisierung und eine zentrale Messdatenerfassung.

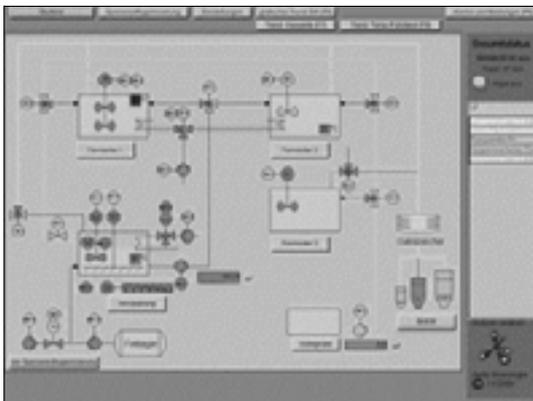


Abb. 3-45: Prozessvisualisierung und zentrale Messdatenerfassung; Bilder: Awite Bioenergie GbR



In der Praxis ist die mess- und regeltechnische Ausstattung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich meist sehr einfach. Dies kann im Wesentlichen darauf zurückgeführt werden, dass kaum kostengünstige, wartungsarme und preisgünstige Messfühler, die für die Biogastechnik geeignet sind, auf dem Markt verfügbar sind. Die einzigen nahezu uneingeschränkt einsetzbaren Sensoren sind Temperatur- und Druckfühler, die nahezu in jeder Anlage genutzt werden.

Nachfolgend wird die Messung der einzelnen Messgrößen, die an Biogasanlagen erfasst werden, im Detail dargestellt.

Zugegebene Menge pumpfähiger Substrate

Die Menge pumpfähiger Substrate, die dem Fermenter zugegeben wurde, kann über eine Durchflussmessung bestimmt werden. Die Durchflussmesser müssen unempfindlich gegen Verschmutzungen sein. Durchflussmesser, die mit mechanischen Teilen arbeiten, haben sich aus diesem Grund nicht bewährt. Verwendet werden vorwiegend induktiv und kapazitiv arbeitende Durchflussmessgeräte. Inzwischen kom-

men vereinzelt Ultraschall- und Wärmeleitfähigkeitsverfahren zum Einsatz, deren Kennwerte mit denen der induktiven und kapazitiven Sensoren weitestgehend übereinstimmen. Einsatzparameter werden in Tabelle 3-42 dargestellt.

Zugegebene Feststoffmenge

Zur Bestimmung der eingetragenen Feststoffmenge bzw. Kosubstratmenge (Silomais, Ernterückstände usw.) sollten entsprechende Wiegevorrichtungen vorhanden sein. So ist eine definierte Dosierung der Feststoffe möglich. Kennwerte können aus Tabelle 3-43 entnommen werden.

Fermenterfüllstand

Für die Überwachung des Füllstandes im Fermenter und in den Lagerbehältern werden Systeme, die den hydrostatischen Druck am Boden des Fermenters oder den Abstand zur Oberfläche der Flüssigkeit mit Ultraschall oder Radar messen, verwendet. Kennwerte für Füllstandsmessanordnungen sind in Tabelle 3-44 zusammengefasst.

Tabelle 3-42: Kennwerte und Einsatzparameter von induktiven und kapazitiven Durchflussmessgeräten

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • alle in Biogasanlagen üblichen Durchflussströme können gemessen werden • Die Sensoren sollten aus Edelstahl hergestellt sein um Korrosion zu vermeiden
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle pumpfähigen Substrate
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • aufgrund des Aufbaues ohne mechanische Teile im Stoffstrom keine Behinderungen im Stoffstrom trotz exakter Messung
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • in Rohrleitungen integrierbare Sensoren
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • sehr leicht von außen ohne Eingriff in den Materialstrom möglich

Tabelle 3-43: Kennwerte und Einsatzparameter von Feststoffmasseerfassungssystemen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Drucksensoren sind für alle Gewichtsklassen verfügbar, alle für die Biogastechnik bekannten Vorlagebehälter können aus Sicht der Drucksensoren gewogen werden • die Sensoren müssen wetterfest und wasserdicht sein
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • alle stapelbaren Substrate, die von Aggregaten gefördert werden, die nicht fest mit dem Fermenter verbunden sein müssen
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • die Wägung muss immer frei schwebend möglich sein, Verschmutzungen im Bereich der Drucksensoren und unter dem Vorlagebehälter sind zu vermeiden, • die Nachfüllung der Vorlagebehälter während der Beschickung muss vermieden werden • Wiegeeinrichtungen am Radlader können üblicherweise nicht automatisch für die Prozesssteuerung erfasst werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • mit Drucksensoren ausgestattete Vorlagebehälter für die Feststoffeinbringung • mit Wiegeeinrichtungen ausgestattete Radlader
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • mit geringen Beschickungsunterbrechungen von außen möglich

Tabelle 3-44: Kennwerte und Einsatzparameter von Messeinrichtungen für den Fermenterfüllstand

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • hydrostatische Drücke können bis auf 10 cm Wassersäule genau für alle bekannten Fermenterhöhen gemessen werden • die Messung des Abstandes des Flüssigkeitsspiegels von der Fermenterdecke ist für alle Fermenterhöhen genauer als 1 cm möglich
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • Für alle Fermentertypen in der Nassfermentation
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Sensoren im Gasraum können stark korrodieren und verschmutzen, was zu Fehlmessungen und zur Sensorzerstörung führen kann • Sensoren im Fermenter können nicht oder schlecht gewartet werden • Explosionsschutz beachten
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Messung des hydrostatischen Druckes am Fermenterboden mit Druckmessdosen (Regelfall) • Messung des Abstandes von der Fermenterdecke zur Flüssigkeitsoberfläche mit Radar oder Ultraschall • U-Rohr-Manometer als manuell ablesbares Einfachstinstrument
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • mit der Wartung oder dem Sensoraustausch ist eine Öffnung des Fermenters, möglicherweise der Ablass des Gesamtfermenters notwendig • Sensoren an von außen entnehmbaren Bauteilen erleichtern das Vorgehen erheblich • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden • im Einzelfall wird auch das Gewicht des Fermenters mit Druckaufnehmern gemessen

Tabelle 3-45: Kennwerte und Einsatzparameter von Messeinrichtungen für die Füllstandserfassung im Gasspeicher

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • die Druckmessung im Gas ist auf wenige Millibar genau möglich
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Niederdruckgasspeicher geeignet
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • die Sensoren müssen korrosionsfest sein und hohe Luftfeuchten ertragen können • Explosionsschutz beachten
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Messung des Gasdruckes mit Druckdosen • U-Rohr-Manometer zur manuellen Ablesung • Längengeber am Folienspeicher zur manuellen Ablesung
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • bei Installation von Drucksensoren, die nach außen aus dem Gasraum entnommen werden können, einfach möglich • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Füllstand des Gasspeichers

Über Füllstandserfassungen im Gasspeicher können die nachgeschalteten Blockheizkraftwerke gesteuert werden. So ist es möglich, bei zu geringer Biogasproduktion die BHKW abzuschalten und bei ausreichend gespeicherter Biogasmenge wieder in Betrieb zu nehmen. Die Füllstandsmessung erfolgt mit Drucksensoren oder Längengebern. Der Druck im Gasspeicher kann zur Steuerung des Verdichters vor dem Blockheizkraftwerk genutzt werden. Kennwerte für Messeinrichtungen für die Füllstandserfassung des Gasspeichers sind in Tabelle 3-45 zusammengestellt.

Prozesstemperatur

Die Temperatur im Fermenter muss zur Gewährleistung einer konstanten Prozesstemperatur gemessen werden. Für die Temperaturüberwachung des Prozesses sollten mehrere Messstellen im Fermenter vorgesehen werden. Es können PT100- oder NTC-Messele-

mente verwendet werden. Die gemessenen Werte müssen anschließend dokumentiert werden. Durch Aufgabe der Messwerte auf Leitsysteme können sie per Computer gespeichert und visualisiert werden. Bei Verwendung entsprechender Ventile ist so auch eine automatische Steuerung des Heizkreislaufes möglich. Temperatursensoren für die Biogastechnik sind in Tabelle 3-46 charakterisiert.

pH-Wert

Der pH-Wert gibt wichtige Hinweise auf den Zustand des Gärprozesses. Er kann in regelmäßigen Abständen durch Entnahme einer repräsentativen Probe aus dem Fermenter mit handelsüblichen pH-Metern gemessen werden. Zur Erstellung eines Trends müssen die Messergebnisse dokumentiert werden. Eine Zusammenstellung der Kennwerte von pH-Metern erfolgt in Tabelle 3-47.

Tabelle 3-46: Kennwerte und Einsatzparameter von Temperatursensoren

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturen können mit Thermoelementen auf $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ genau gemessen werden, NTC-Elemente erlauben die Messung auf $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ genau
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Fermentertypen geeignet
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Thermoelemente müssen über sog. Ausgleichsleitungen mit der Messwerterfassung verbunden werden • die Sensoren dürfen nicht zu nah an der Wand oder an der Fermenterheizung installiert werden, um Fehlmessungen zu vermeiden • die Temperaturverteilung im Fermenter ist nicht immer homogen, daher ist die Nutzung mehrerer Messstellen empfehlenswert • weitere Messstellen in Heizaggregaten und an Verbrauchern
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • meist als Mantelthermoelemente, bzw. ummantelte NTC-Sensoren • Fühler zur manuellen Ablesung an Fermentern und Rohrleitungen
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatursensoren müssen je nach Typ regelmäßig kalibriert werden • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Tabelle 3-47: Kennwerte und Einsatzparameter von pH-Metern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • pH-Werte zwischen 0 und 12 können erfasst werden, Werte zwischen 5 und 8 sind aber nur zu erwarten • Sonden sind in der Regel aus Glas gefertigt
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle pumpfähigen Substrate
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • die Drift der Sensoren erfordert eine häufige Kalibrierung • die Sonden müssen immer in Salzlösung aufbewahrt werden • die Messung muss an einer frischen Probe sofort durchgeführt werden • es muss eine Probenahmeöffnung im Fermenter vorgesehen sein • wenn sehr geringe pH-Werte gemessen werden, droht der Fermenter „umzukippen“, zum Zeitpunkt der Messung des geringen Wertes muss ein Prozesseingriff sehr schnell erfolgen
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • üblich ist eine Handsonde, die in das Substrat getaucht wird • es sind auch kontinuierlich im Fermenter installierte Sonden möglich
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • eine Kalibrierung ist vor jeder Messung notwendig • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

Fettsäurebestimmung/ Substratzusammensetzung

Die Überwachung der Fettsäuren ermöglicht eine sichere Beurteilung des Gärprozesses. Bei der Messung wird das Spektrum und die Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren, die bei dem Gärprozess entstehen, bestimmt. Die kontinuierliche Messung ist aufgrund des hohen Messaufwands und der aufwändigen Analysetechnik schwer vor Ort durchzuführen. Werden die Proben im Labor untersucht, kann der Zeitabstand zwischen Probenahme und Analyseergebnis relativ groß sein. Eine Aussage über den momentan vorherrschenden Prozesszustand ist daher schwierig. Viele Hersteller und Beratungsunternehmen von Biogasanlagen bieten die Fettsäurebestimmung innerhalb der weiterführenden Betreuung der Biogasanlage an.

Alternativ oder zusätzlich zu den Fettsäurekonzentrationen wird die Konzentration des CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) kontinuierlich oder diskontinuierlich überwacht. Vorteilhaft ist die Möglichkeit

der Vor-Ort- und der automatischen Analyse, die sogar die Prozessregelung erlaubt. Eigenschaften von Methoden zur Bestimmung der Substratzusammensetzung sind in Tabelle 3-48 zusammengefasst.

Gasmenge

Die Messung der anfallenden Biogasmenge ist aus Gründen der Prozessüberwachung notwendig. Unregelmäßigkeiten in der Gasproduktion können auf Störungen im Prozess hinweisen, auf die reagiert werden muss. Installiert sind die Gaszähler in der Gasleitung direkt im Anschluss an den Fermenter. Die gemessenen Biogasmengen sollten zur Erstellung von Trends aufgezeichnet werden. Kennwerte enthält Tabelle 3-49.

Gaszusammensetzung

Durch Gasanalysen kann bei Verwendung entsprechender Messgeräte die Gaszusammensetzung kontinuierlich kontrolliert werden. Die Ergebnisse können

Tabelle 3-48: Kennwerte und Einsatzparameter von Methoden zur Bestimmung der Substratzusammensetzung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • Fettsäurekonzentrationen bis zu einem CSB von 10.000 mg/l können durchgeführt werden • CSB-Konzentrationsmessungen zwischen 10 und 50.000 mg/l sind möglich
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • gut für alle pumpfähigen Substrate geeignet
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • der Probentransport sollte möglichst kurz gehalten werden, um die frische Probe zu analysieren, da der Abbauprozess im Probengefäß fortgesetzt wird • es muss eine Probenahmeöffnung im Fermenter vorgesehen sein • für die Verfahren entsteht ein Chemikalienbedarf • Messtechnik recht teuer
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Fettsäuren werden in Gaschromatographen im Labor ermittelt • der CSB kann durch Oxidation ermittelt werden, ein Online-Messverfahren wird angeboten
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Regelmäßige Kalibrierungen sind notwendig • Wartungsarbeiten entfallen für den Biogasanlagenbetreiber

Tabelle 3-49: Kennwerte und Einsatzparameter von Gaszählern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • es stehen für alle möglichen Volumenströme Durchflussmessgeräte zur Verfügung
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Biogasanlagen geeignet
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Gaszähler müssen unempfindlich gegenüber dem korrosiven Biogas sein • Gaszähler sind meist sehr feuchteempfindlich
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Drehkolbenzähler, Wirbel- und Dralldurchflussmesser in Abhängigkeit des Gasdurchflusses
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • aufgrund der Installation in der Gasleitung ist die Wartung leicht möglich • während der Wartungszeit muss das BHKW abgeschaltet werden

zur Steuerung des Gärprozesses oder nachfolgender Prozesse wie z. B. der Gasreinigung verwendet werden. Zur Bestimmung der Gaszusammensetzung können Sensoren auf der Basis von Wärmetönung, Wärmeleitung, Infrarotstrahlungsabsorption, Chemosorption oder elektrochemischer Bestimmung zum Einsatz kommen. Bei der Auswahl der Methoden sollte die Messgenauigkeit, Selektivität, Linearität, Messbereich und die Empfindlichkeit der Sensoren bzw. Analysemethoden berücksichtigt werden. Zur Bestimmung von Methan und Kohlenstoffdioxid haben sich Infrarotsensoren, von Wasserstoff, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff elektrochemische Sensoren als geeignet herausgestellt.

Die Messung auf Biogasanlagen erfolgt mit Handmessgeräten oder stationären Messgeräten. Über Handmessgeräte können zwar Aussagen über die Gaszusammensetzung getroffen werden, eine Integration der Messwerte in eine computergestützte Anlagensteuerung ist gegenüber stationär arbeitenden Geräten nur schwer möglich. Sensoren für die Messung der Gaszusammensetzung sind in Tabelle 3-50 charakterisiert. Ein Beispiel für ein Gasmessgerät zeigt Abb. 3-46.



Abb. 3-46: Gasanalysegerät; Foto: Schmack Biogas AG

Tabelle 3-50: Kennwerte und Einsatzparameter von Sensoren für die Erfassung der Gaszusammensetzung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> • alle Konzentrationsbereiche lassen sich erfassen • die Genauigkeit der Messgeräte hängt von der Art der Sensoren und den gewählten Messbereichen ab
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Biogasanlagen nach Entfeuchtung des Biogases
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Sensoren können durch kondensierende Feuchtigkeit im Gas zerstört werden, daher ist eine Entfeuchtung des Gases vor die Sensorik zu schalten • Sensoren können, um ihre Standzeit zu verlängern, intermittierend mit Biogas beschickt werden, um beispielsweise stündliche Messwerte zu erfassen • elektrochemische Sensoren sind kostengünstig, müssen aber ein- bis zweijährig ausgetauscht und häufig kalibriert werden • bei der Messung ist zu berücksichtigen, dass sich das aktuell gebildete Biogas mit dem im Gasraum über dem Fermenter befindlichen Gas vermischt und damit nur ein Mittelwert der Gaskonzentrationen erfasst werden kann • alle mit Biogas in Berührung kommenden Bauteile müssen widerstandsfähig gegen Biogas sein • Messungen mit Handgeräten können nur schwer Trends in der Gaszusammensetzung widerspiegeln • bei Messungen mit Handgeräten ist die Anlaufphase zu beachten, in der nach Einschalten der Geräte bis zu 30 Minuten keine zuverlässigen Messwerte ermittelt werden
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • elektrochemische Sensoren für Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff und Methan • Infrarotsensoren für Kohlendioxid und Methan • Messgeräte können als Handgeräte oder fest installiert erworben werden
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • regelmäßige Prüfungen und Kalibrierungen sind notwendig • Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden

3.3 Sicherheitsregeln

Biogas ist ein Gasgemisch und besteht im wesentlichen aus Methan (50-80 Vol.-%), Kohlendioxid (20-50 Vol.-%), Schwefelwasserstoff (0,01-0,4 Vol.-%) sowie weiteren Spurengasen /3-15/, /3-16/. Die Eigenschaften von Biogas werden anderen Gasen in Tabelle 3-51 gegenübergestellt. Tabelle 3-52 fasst die Eigenschaften der einzelnen Biogaskomponenten zusammen. In Verbindung mit Luftsauerstoff ist das Gasgemisch Biogas in bestimmten Grenzen explosionsfähig, weswegen bei der Errichtung und beim Betrieb einer Biogasanlage besondere Sicherheitsvorschriften beachtet werden müssen.

Darüber hinaus bestehen weitere Gefahren z.B. der Erstickung oder Vergiftung sowie mechanischer Art.

Diese vielfältigen Sicherheitsvorschriften sind in verschiedenen Regelwerken beschrieben. Hervorzuheben sind hier die „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ (Arbeitsunterlage 69) des Bundesverbandes der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften /3-16/, in denen die Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Biogasanlagen im Sinne der Durchführungsanweisung zu §1 der Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsstätten, bauliche Anlagen und Einrichtungen“ (VSG 2.1) /3-19/ der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften beschrieben werden.

Dieses Kapitel soll dem Leser einen Überblick über die potenziellen Gefahren während des Betriebes einer Biogasanlage vermitteln und ihn dahingehend sensibilisieren. Es kann daher keinesfalls die gültigen Fassungen der zitierten Regeln /3-16/, /3-18/, /3-19/, /3-20/ ersetzen.

3.3.1 Vergiftungs- und Erstickungsgefahr

Die Freisetzung von Biogasen ist bekanntlich ein natürlicher Prozess und deswegen nicht ausschließlich auf Biogasanlagen beschränkt. Insbesondere in der tierhaltenden Landwirtschaft ist es in der Vergangenheit immer wieder zu teilweise tödlichen Unfällen im Zusammenhang mit Biogasen gekommen (z.B. Güllekeller, Futtersilos etc.).

Liegt Biogas in genügend hohen Konzentrationen vor, kann es beim Einatmen zu Vergiftungs- oder Erstickungserscheinungen bis hin zum Tod führen. Insbesondere der enthaltene Anteil an Schwefelwasserstoff (H₂S) in nicht entschwefeltem Biogas wirkt schon in geringen Konzentrationen stark toxisch (siehe Tabelle 3-53).

Darüber hinaus kann es insbesondere in geschlossenen oder tiefer gelegenen Räumen zu Erstickungen durch Verdrängen des Sauerstoff durch Biogas kommen. Zwar ist Biogas mit einer relativen Dichte von ca. 1,2 kg pro Nm³ leichter als Luft, jedoch neigt es zur Entmischung. Dabei sammelt sich das schwerere Koh-

Tabelle 3-51: Eigenschaften von Gasen /3-16/, /3-17/

		Biogas ^a	Erdgas	Propan	Methan	Wasserstoff
Heizwert	kWh/m ³	6	10	26	10	3
Dichte	kg/m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Dichteverhältnis zu Luft		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Zündtemperatur	°C	700	650	470	600	585
Explosionsbereich	Vol.-%	6 - 12	4,4 - 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16,5	4 - 77

a. Beispiel: Methan 60 Vol.-%, Kohlendioxid 38 Vol.-% und Restgase 2 Vol.-%

Tabelle 3-52: Eigenschaften der Biogaskomponenten /3-16/, /3-17/, /3-18/

		CH ₄	CO ₂	H ₂ S	CO	H
Dichte	kg/m ³	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
Dichteverhältnis zu Luft		0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
Zündtemperatur	°C	600	-	270	605	585
Explosionsbereich	Vol.-%	4,4 - 16,5	-	4,3 - 45,5	10,9 - 75,6	4 - 77
MAK-Wert ^a	ppm	n.a.	5000	10	30	n.a.

a. MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration

lendioxid (D = 1,85 kg/m³) im Bodenbereich an, während das leichtere Methan (D = 0,72 kg/m³) nach oben steigt.

Aus diesen Gründen muss in geschlossenen Räumen, z. B. umbaute Gasspeicher, jederzeit für eine ausreichende Belüftung gesorgt werden. Darüber hinaus muss bei Arbeiten in potenziellen Gefahrenbereichen (Fermenter, Wartungsschächte, Gaslager etc.) die persönliche Schutzausrüstung (z. B. Gaswarngeräte, Atemschutz usw.) getragen werden.

Tabelle 3-53: Toxische Wirkung von Schwefelwasserstoff /3-17/

Konzentration (in der Luft)	Wirkung
0,03 - 0,15 ppm ^a	Wahrnehmungsschwelle (Geruch von faulen Eiern)
15 - 75 ppm	Reizung der Augen und der Atemwege, Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen, Bewusstlosigkeit
150 - 300 ppm (0,015 - 0,03 %)	Lähmung der Geruchsnerve
> 375 ppm (0,038 %)	Tod durch Vergiftung (nach mehreren Stunden)
> 750 ppm (0,075 %)	Bewusstlosigkeit und Tod durch Atemstillstand innerhalb 30-60 Minuten
ab 1000 ppm (0,1 %)	schneller Tod durch Atemlähmung innerhalb weniger Minuten

a. ppm = Parts Per Million (1ppm = 0,0001%)

3.3.2 Explosions- und Brandgefahr

Wie schon erwähnt wurde, kann es unter bestimmten Bedingungen vorkommen, dass Biogas in Verbindung mit Luft ein explosionsfähiges Gasgemisch bildet (siehe Tabelle 3-52). Oberhalb der Explosionsgrenzen besteht zwar keine Explosionsgefahr, dennoch können durch offenes Feuer, Schaltfunken elektrischer Geräte oder auch Blitzschlag Brände ausgelöst werden.

Beim Betrieb von Biogasanlagen muss daher insbesondere in der näheren Umgebung von Gärbehältern und Gasspeichern mit der Entstehung von explosionsfähigen Gas/Luft-Gemischen sowie mit erhöhter Brandgefahr gerechnet werden. Abhängig von der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre werden die verschiedenen Anlagenbereiche durch die „BGR 104 – Explosionschutz-Regeln“ in sogenannte „Explosionsgefährdete Bereiche“ (Ex-Zonen) eingeteilt /3-19/, in denen entsprechende Vorsorge- und Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden müssen.

Zone 0

In Bereichen der Zone 0 tritt eine explosionsfähige Atmosphäre **ständig, langfristig** oder **zeitlich überwiegend** auf /3-16/, /3-19/. Solche Bereiche sind jedoch im Normalfall bei Biogasanlagen nicht zu finden. Auch der/die Gärbehälter stellen keinen solchen Bereich dar.



Zone 1

Die Zone 1 beschreibt Bereiche, in denen **gelegentlich** eine explosionsfähige Atmosphäre auftritt. Dies können Bereiche in der näheren Umgebung von Einstiegsöffnungen des Gasspeichers oder auf der gasführenden Seite des Gärbehälters sowie in der Nähe von Abblaseeinrichtungen, Überdrucksicherungen oder Gasfackeln sein /3-16/. Um diese Bereiche sind im Umkreis von 1 m (bei freier Lüftung) die Sicherheitsmaßnahmen der Zone 1 zu realisieren. Der Umkreis erweitert sich in geschlossenen Räumen auf 4,5 m /3-19/.

Zone 2

In diesen Bereichen ist im Normalfall nicht damit zu rechnen, dass explosionsfähige Gas/Luftgemische auftreten. Kommt dies aber dennoch vor, so kann man davon ausgehen, dass dies nur selten der Fall und nicht von zeitlich langer Dauer ist (z. B. bei Servicearbeiten oder im Störfall) /3-16/, /3-19/.

Dies betrifft z.B. Einstiegsöffnungen sowie das Innere des Fermenters und bei Gasspeichern die nähere Umgebung der Be- und Entlüftungsöffnungen. In den betreffenden Bereichen müssen im Umkreis von 1 bis 3 m die Maßnahmen der Zone 2 umgesetzt werden /3-19/.

In den explosionsgefährdeten Bereichen müssen Maßnahmen gemäß BRG 104, Abschnitt E2 zur Vermeidung von Zündquellen getroffen werden. Zusätzlich sind solche Bereiche mit den entsprechenden Warn- und Hinweisschildern zu versehen.

3.3.3 Weitere Unfallgefahren

Neben den bisher beschriebenen Gefahrenquellen bestehen weitere Unfallquellen, z. B. Absturzgefahr an Leitern oder nicht abgedeckten Gruben (Einspültrichter, Wartungsschächte etc.). Zudem stellen bewegte Anlagenteile (Rührwellen etc.) weitere Gefahrenquellen dar.

Im Bereich der Blockheizkraftwerke kann es durch unsachgemäße Bedienung oder durch Defekte zu tödlichen Stromschlägen kommen, da hier elektrische Energie mit Spannungen von mehreren hundert Volt und Stromstärken im dreistelligen Amperebereich erzeugt werden. Dieselbe Gefahr geht auch von Rührwerken, Pumpen, Zuführeinrichtungen etc. aus, da hier ebenfalls mit hohen elektrischen Leistungen gearbeitet wird.

Weiterhin besteht durch die Heiz- bzw. Kühlsysteme (Motorkühler, Fermenterheizung, Wärmetauscher etc.) einer Biogasanlage Verbrühungsgefahr im Fall von Störungen. Dies trifft auch auf Teile der BHKW bzw. evtl. vorhandener Notsysteme (z. B. Gasfackel) zu.

Um Unfälle dieser Art zu vermeiden, müssen an den entsprechenden Anlagenteilen gut sichtbare Warnhinweise angebracht und das Betriebspersonal dementsprechend eingewiesen sein.

3.4 Literaturverzeichnis

- /3-1/ Schulz, H.; Eder, B.: Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, 2. überarbeitete Auflage, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1996, 2001
- /3-2/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im Landwirtschaftlichen Bereich; (FNR-FKZ: 00NR179); 3. Zwischenbericht; Institut für Technologie und Systemtechnik/Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig; 2001
- /3-3/ Jäkel, K.: Managementunterlage "Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung", Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- /3-4/ Neubarth, J.; Kaltschmitt, M.: Regenerative Energien in Österreich - Systemtechnik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; Wien, 2000
- /3-5/ Hoffmann, M.: Trockenfermentation in der Landwirtschaft – Entwicklung und Stand, Biogas – Energieträger der Zukunft, VDI-Berichte 1751, Tagung Leipzig 11 und 12. März 2003
- /3-6/ Aschmann, V.; Mitterleitner, H.: Trockenvergären: Es geht auch ohne Gülle, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /3-7/ Beratungsempfehlungen Biogas, Verband der Landwirtschaftskammern e.V., VLK-Beratungsempfehlungen 2002
- /3-8/ Block, K.: Feststoffe direkt in den Fermenter, Landwirtschaftliches Wochenblatt, S. 33-35, 27/2002
- /3-9/ Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und -nutzung – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse; DBU Projekt 15071; Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Leipzig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig, Dezember 2002
- /3-10/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 3: Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben, Bauberatung Zement
- /3-11/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 13: Dichte Behälter für die Landwirtschaft, Bauberatung Zement
- /3-12/ Gers-Grapperhaus, C.: Die richtige Technik für ihre Biogasanlage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /3-13/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 14: Beton für Behälter in Biogasanlagen, Bauberatung Zement
- /3-14/ Kretzschmar, F.; Markert, H. (2002): Qualitätssicherung bei Stahlbeton-Fermentern; in: Biogasjournal Nr. 1/2002
- /3-15/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- /3-16/ Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen (Arbeitsunterlage 69); Bundesverband der landw. Berufsgenossenschaften e.V.; Kassel 2002
- /3-17/ Falbe, J. et al. (Hrsg); Römpf Chemie Lexikon; Georg Thieme Verlag; 9. Auflage; Stuttgart, 1992
- /3-18/ Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 900); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Download vom 17.09.03; <http://www.baua.de/prax/ags/trgs.htm>
- /3-19/ „Arbeitsstätten, bauliche Anlagen und Einrichtungen“ (VSG 2.1); Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften; Download vom 28.08.03; http://www.lsv-d.de/verbaende/01blb/02serv_bera/vsg/index.html
- /3-20/ BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln; Carl Heymanns Verlag KG; Köln, 2002

