

Universität Rostock



Lehrstuhl für Verfahrenstechnik / Biotechnologie

in Kooperation mit

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH



und der

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft



Schlussbericht zum Forschungsvorhaben

**Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von
organischen Rückständen, Nebenprodukten und
Abfällen aus der Landwirtschaft**

Abschnitt 1

Grundlagen der Trockenfermentation und Darstellung des
Standes der Technik

Erstellt von der

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

gefördert durch



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz



Förderkennzeichen: 22011701

Stand: Januar 2007

Auftraggeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
Hofplatz 1
18276 Gülzow

Auftragnehmer: Universität Rostock
Lehrstuhl für Verfahrenstechnik / Biotechnologie
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE)
Torgauer Str. 116
04347 Leipzig

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Einleitung

Vor dem Hintergrund der globalen Anstrengungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen wird seitens der EU und der Bundesregierung eine Verdoppelung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung bis zum Jahr 2010 angestrebt. Der energetischen Nutzung von Biomasse kommt dabei unter den erneuerbaren Energien eine Sonderstellung zu, da die Biomasse einen natürlichen Speicher darstellt und die Energieerzeugung dem zeitlich schwankenden Energiebedarf angepasst werden kann.

Neben der direkten thermischen Nutzung in Feuerungsanlagen existieren eine Vielzahl von Verfahren, welche die Biomasse durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse in andere Primärenergieträger umwandeln um die anschließende energetische Konversion effizienter gestalten zu können. Die Möglichkeit der Energiegewinnung aus der anaeroben Methangärung geeigneter Biomassen stellt ein schon seit langem bekanntes derartiges Verfahren dar.

Derzeit sind über 2.700 Biogasanlagen in Deutschland in Betrieb, die im landwirtschaftlichen Sektor fast ausschließlich als Nassvergärungsanlagen betrieben werden. Mit der jüngsten Novellierung des EEG im August 2004 erhält die Stromerzeugung aus Biomasse u.a. für den Einsatz innovativer Technologien zusätzliche Anreize. Per Gesetz ist darunter die so genannte Trockenfermentation als innovativ und damit als besonders förderungswürdig eingestuft. Aufgrund dieser Veränderung der Rahmenbedingungen besteht ein steigendes Interesse am Einsatz von Trocken- bzw. Feststoffvergärungsanlagen.

Im Gegensatz zur Nassvergärung existieren auf dem Gebiet der Feststoffvergärung nur wenige anwendungsreife Verfahren für die Landwirtschaft. Erfahrungen mit der Vergärung von schütffähigen bzw. stapelbaren Materialien basierten bislang hauptsächlich auf Verfahren aus der Abfallwirtschaft, die im allgemeinen unter Einsatz einer sehr komplexen und kostenintensiven Verfahrenstechnik arbeiteten.

Vor diesem Hintergrund wurde von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) das mit dem vorliegenden Schlussbericht abgeschlossene Vorhaben initiiert. Im Rahmen des Vorhabens sollten die grundsätzlichen Möglichkeiten einer Biogaserzeugung mittels Feststoffvergärung für landwirtschaftliche Betriebe aufgezeigt werden.

Das gesamte Forschungsvorhaben wurde aufgrund der breit angelegten Thematik in drei Teilprojekte gegliedert.

Im Abschnitt 1, bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig, werden die verfahrenstechnischen Grundlagen der Trockenfermentation erläutert und der derzeitige Stand der Technik anhand umfassender Darstellung von Daten ausgeführter Anlagen dokumentiert.

Im Abschnitt 2, bearbeitet durch das Institut für Energetik und Umwelt (IE) gGmbH in Leipzig, erfolgt eine Erhebung des mit Feststoffvergärungsverfahren in Deutschland erschließbaren energetischen Potenzials. Die sich anschließende ökonomische Analyse hat die Darstellung der jeweiligen Kosten der gängigsten Verfahren unterschiedlicher Anlagengrößen zum Ziel. Zusätzlich erfolgt unter analogen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ein Vergleich mit der Nassfermentation. Bei der abschließenden ökologischen Beurteilung der Feststoffvergärung wird die gesamte Prozesskette der Endenergiebereitstellung unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die natürliche Umwelt und den Menschen untersucht.

Der Abschnitt 3, bearbeitet vom Lehrstuhl für Verfahrenstechnik / Biotechnologie der Universität Rostock, befasst sich mit experimentellen Untersuchungen zum Biogaspotenzial ausgewählter landwirtschaftlicher Substrate unter den speziellen Bedingungen der Feststoffvergärung.

Die Gliederung in drei Abschnitte wurde auch im vorliegenden Schlussbericht beibehalten. Die Arbeiten der einzelnen Projektpartner finden sich als jeweils eigenständiger und in sich geschlossener Block. Das ermöglicht zum einen dem speziell interessierten Leser, sich auf einen Teilbericht zu konzentrieren, zum anderen wird diese Aufteilung der Breite der Thematik am ehesten gerecht.

Der Begriff Trockenfermentation ist fachlich nicht unumstritten, in den einzelnen Abschnitten wird darauf noch näher eingegangen. Daher wird wenn möglich der Begriff Feststoffvergärung verwendet, soweit nicht (wie beispielsweise im Abschnitt 1) patentierte oder geschützte Verfahren explizit auf den Begriff Trockenfermentation aufbauen.

Inhaltsverzeichnis zum Abschnitt 1

1.1	TEILZIEL A1	1
1.1.1	Grundlagen der Trockenfermentation.....	1
1.1.1.1	Entstehung von Biogas	1
1.1.1.2	Milieubedingungen	3
1.1.1.2.1	Animpfverhältnis.....	3
1.1.1.2.2	Stofffluss	4
1.1.1.2.3	Perkolation	5
1.1.1.2.4	Gasproduktion und Gaszusammensetzung	6
1.1.1.2.5	Sauerstoff	6
1.1.1.2.6	Temperatur.....	7
1.1.1.2.7	pH-Wert	9
1.1.1.2.8	Nährstoffversorgung.....	10
1.2	TEILZIEL A3	11
1.2.1	Stand der Technik.....	11
1.2.1.1	Datenerhebung	11
1.2.1.2	Diskontinuierliche Verfahren	12
1.2.1.2.1	Perkolations-Verfahren.....	12
1.2.1.2.2	Aufstau-Verfahren.....	30
1.2.1.3	Kontinuierliche Verfahren	35
1.2.1.3.1	Propfenstrom-Verfahren	35
1.2.1.3.2	Silo-Verfahren.....	43
1.2.1.4	Referenzlisten	50
1.2.1.4.1	BEKON.....	50
1.2.1.4.2	BIOFERM	50
1.2.1.4.3	Ingenieurbüro Ratzka	56
1.2.1.4.4	KOMPOGAS /MPE	56
1.2.1.4.5	Linde-KCA GmbH	56
1.2.1.4.6	LOOCK CONSULTANS	57
1.2.1.4.7	O.W.S.	58
1.2.1.4.8	PROFACTOR GMBH	58
1.2.1.4.9	SCHMACK BIOGAS AG	58
	LITERATURVERZEICHNIS ZUM ABSCHNITT 1.....	59

Tabellenverzeichnis zum Abschnitt 1

Tabelle 1: Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt [11].....	10
---	----

Abbildungsverzeichnis zum Abschnitt 1

Abbildung 1: Schematische Darstellung des anaeroben Abbaus [6]	2
Abbildung 2: Temperatureinfluss auf die Methanbildung.....	8
Abbildung 3: Garagenfermenter [BioFerm]	13
Abbildung 4: Schematischer Fermenteraufbau (4-Fermenter Anlage)	14
Abbildung 5: Foliengasspeicher.....	16
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Garagen-Verfahrens (Bekon)	18
Abbildung 7: Bekon-Trockenfermentationsanlage® [Bekon].....	19
Abbildung 8: Schematisierte Verfahrensweise der Trocken-Nass-Vergärung [Loock].....	22
Abbildung 9: Segmentweise befüllter Wannerreaktor	26
Abbildung 10: Verfahrensfließbild [12]	27
Abbildung 11: 3A-Versuchsanlage Weibern (Österreich).....	29
Abbildung 12: Befüllen des Fermenters [14].....	31
Abbildung 13: Offener Fermenter [15]	32
Abbildung 14: Nassfermenter BGA Clausnitz [15]	33
Abbildung 15: Verfahrenschema Pfropfenstromfermenter [KompoGas]	36
Abbildung 16: Linde-Laran-Fermenter® (Linde-KCA)	40
Abbildung 17: Dranco-Vergärungsanlage Bassum.....	43
Abbildung 18: Fließbild Dranco-Verfahren (schematisiert).....	44
Abbildung 19: Anlagenschema Euco®-Anlagensystem (Schmack-Biogas AG)	47

1.1 Teilziel A1

1.1.1 Grundlagen der Trockenfermentation

Aus biologischer Sicht ist eine feste Unterteilung der Verfahren in Nass- und Trockenfermentation nicht möglich, da die an den Abbauvorgängen beteiligten Bakterienkulturen in beiden Fällen ein flüssiges Medium für ihre Fortbewegung und ihr Überleben benötigen [1]. Jedoch lässt sich aus verfahrenstechnischer Sicht sehr wohl eine Eingruppierung vornehmen.

In Deutschland befinden sich derzeit weit über 2.700 Biogasanlagen in Betrieb, die zwar in immer größeren Anteilen nachwachsende Rohstoffe als Substrate einsetzen, aber deren Fermenterinhalt pumpbar ist und mittels mechanischen, hydraulischen oder pneumatischen Rührsystemen homogenisiert wird. Bei diesen Verfahren, der Nassfermentation, ist der Einsatz von festen strukturreichen Substraten (z.B. NaWaRo) nur in begrenztem Umfang möglich, da für den Transport und die Durchmischung des Materials Trägerflüssigkeiten (z.B. Gülle, Rezirkulat etc.) benötigt werden [2].

Bei der so genannten Trockenfermentation handelt es sich im Gegensatz um ein Verfahren, bei dem das zu vergärende Material im Ausgangszustand weder pump- noch fließfähig ist und eine stichfeste Konsistenz aufweist [3]. Die Umsetzung zu Biogas findet bei diesem Verfahren unter Sauerstoffabschluss bei einer Substratfeuchte im Fermentationsraum von 60-80 % (bzw. einem Trockensubstanzgehalt von 20-40 %) statt, wobei vor allem bei diskontinuierlichen Verfahren keine Durchmischung des Fermenterinhalts erfolgt.

1.1.1.1 Entstehung von Biogas

Die Entstehung von Biogas ist in der Natur weit verbreitet. Überall, wo organisches Material unter Abschluss von Sauerstoff anfällt, z.B. in Mooren, auf dem Grund von Seen, in Güllegruben oder im Pansen von Wiederkäuern, findet eine Biogasbildung statt. Hierbei wird die organische Masse fast vollständig zu Biogas umgewandelt und es entstehen nur geringe Mengen an neuer Biomasse oder Wärme [4], [5].

Das Biogas ist ein Gasgemisch und besteht zu ca. zwei Dritteln aus Methan und ca. einem Drittel aus Kohlendioxid. Daneben befinden sich im Biogas noch geringe Mengen an

Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und anderen Spurengasen. Der eigentliche Entstehungsprozess des Biogases ist ein komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Mikroorganismen, die das organische Material von zunächst komplexen Strukturen zu Biogas abbauen. Um diesen Abbauprozess besser verständlich zu machen, kann dieser modellhaft in mehrere Teilschritte unterteilt werden [4], [5].

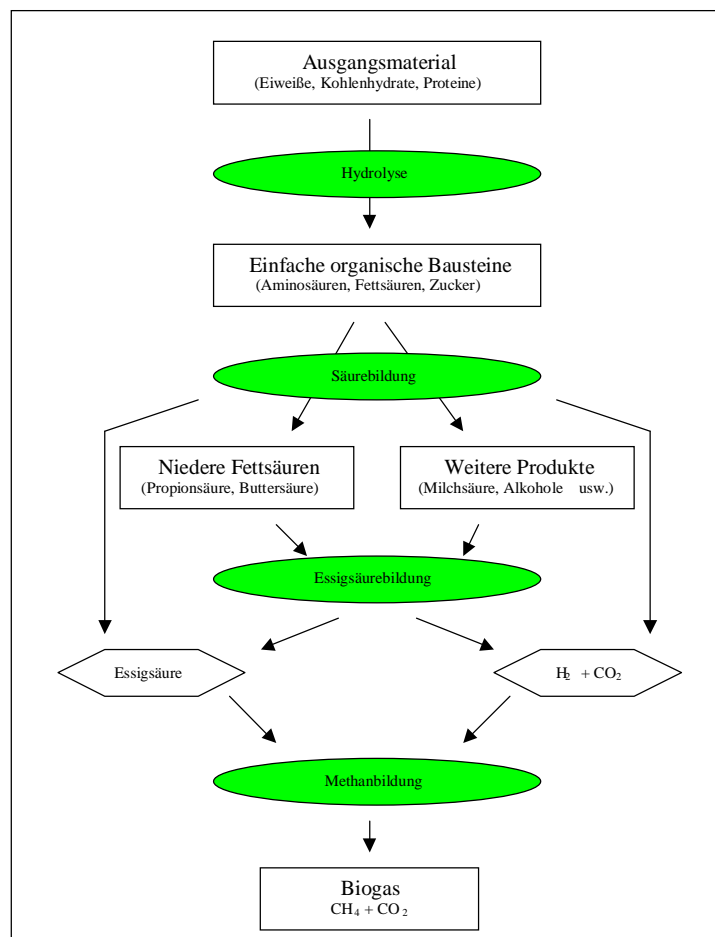


Abbildung 1: Schematische Darstellung des anaeroben Abbaus [6]

In einem ersten Schritt, der **Hydrolyse**, werden die komplexen Verbindungen des Ausgangsmaterials wie Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate durch hydrolytische und fermentative Bakterien in einfachere Verbindungen wie z.B. Aminosäuren, Zucker oder Fettsäuren zerlegt. Die gebildeten Zwischenprodukte werden dann in der **Acidogenese** der so genannten unspezifischen Säurebildung durch säurebildende Bakterien weiter zu niederen Fettsäuren (Essig-, Propion- und Buttersäure) sowie Kohlendioxid und Wasserstoff abgebaut. Daneben werden aber auch geringe Mengen an Milchsäure und Alkohole umgesetzt. Diese Produkte werden anschließend in der **Acetogenese**, der Essigsäurebildung, durch Bakterien zu

Vorläufersubstanzen des Biogases (Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid) umgesetzt. In der anschließenden „**Methanogenese**“, dem letzten Schritt der Biogasbildung, wird aus den Produkten der Acetogenese das Methan gebildet.

Die Bakterien der Acetogenese und der Methanogenese bilden dabei eine enge Lebensgemeinschaft. Die acetogenen Bakterien produzieren als Stoffwechselprodukt unter anderem Wasserstoff. Weiterhin können sie nur bei geringen Wasserstoffpartialdrücken überleben. Das bedeutet, dass die Bakterien sich durch ihr eigenes Stoffwechselprodukt hemmen würden. Deswegen bilden sie mit den methanogenen Bakterien eine Symbiose, da diese den gebildeten Wasserstoff für die Produktion des Biogases benötigen.

1.1.1.2 Milieubedingungen

Um die Milieubedingungen der Trockenfermentation näher beschreiben zu können, muss vorab eine Unterteilung der verwendeten Verfahrensweisen unternommen werden, da sich dadurch auch unterschiedliche Anforderungen der Biologie an ihre Umgebung ableiten [3].

Dies sind zum einen die kontinuierlichen Vergärungsverfahren, die speziell im Bereich der kommunalen Abfallbehandlung eingesetzt werden. Es wird derzeit daran gearbeitet, diese Verfahren durch Vereinfachung der eingesetzten Technik auch in der landwirtschaftlichen Praxis zu etablieren. Weiterhin sind die Verfahren zu nennen, die speziell für die Landwirtschaft entwickelt wurden. Dies sind vornehmlich diskontinuierliche Verfahren, die sich besonders durch ihre einfache verfahrenstechnische Bauweise auszeichnen.

Für die diskontinuierlichen sowie kontinuierlichen Verfahren gelten im Prinzip die gleichen biologischen Rahmenbedingungen, wie man sie schon aus den Verfahren der Nassfermentation kennt. Jedoch ergeben sich bei den diskontinuierlichen Verfahren Besonderheiten in Bezug auf Substratzufuhr, Animpfung und Perkolation.

1.1.1.2.1 Animpfverhältnis

Die diskontinuierlichen Verfahren (Batch-Verfahren) zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass das zu vergärende Material zu Beginn der Fermentation mit methanogenen Impfmateriale vermischt werden muss, um die Biogasbildung einzuleiten. Dies kann bei den vorherrschenden Verfahren auf zwei Wegen geschehen. Zum einen eine direkte Vermischung mit schon vergorenem Material und zum anderen eine Animpfung des Materials mittels Perkolat, also einer Bakterienlösung, die über das zu vergärende Material versprüht wird.

Es hat sich jedoch in der Praxis gezeigt, dass, abhängig vom eingesetzten Substrat, durch das alleinige Perkolieren des Substrates mit der Bakterienlösung der Biogasprozess nur schleppend in Gang kommt, da hier die Bakterienkonzentration relativ gering ist und sich zudem eine Hemmung durch eine starke Säurebildung durch die einsetzende Hydrolyse / Acidogenese ergeben kann [1]. In solchen Fällen muss das frische Substrat ebenfalls mit bereits ausgefaultem Material vermischt werden. Das ausgefaulte Impfmateriale hat den Vorteil, dass die am Anfang des Prozesses starke Säurebildung abgepuffert und dadurch eine Hemmung der Methanbakterien vermieden wird, was gerade aus Gründen der Prozessstabilität besonders wichtig ist. Doch gerade dieser Punkt stellt den Betreiber vor ein weiteres Problem: Abhängig von den eingesetzten Substraten muss die Mischung aus Substrat und Impfmateriale individuell eingestellt werden. Um eine ausreichende Prozessstabilität zu erhalten, muss die Mischung bei einigen Substraten bis zu 85 % Impfmateriale enthalten [1]. Hierdurch kann aber nur noch sehr wenig Substrat mit in den Fermenter eingebracht werden, was die Wirtschaftlichkeit in einem solchen Fall stark vermindert.

1.1.1.2.2 Stofffluss

Während bei den kontinuierlichen Verfahren das Substrat in zeitlichen Intervallen oder gar permanent in den Fermenter gegeben wird, ist dies bei den Batch-Verfahren nicht möglich. Bei diesen Verfahren wird der Fermenter mit Substrat befüllt und dann verschlossen. Die Biogasbildung verläuft dann ohne weitere Substratzugabe, bis das anfangs eingebrachte Material vollständig abgebaut ist. Vorteil dieser Technik ist, dass die Fermenter ohne bewegte Teile auskommen, denn es muss weder der Fermenterinhalt gerührt werden, noch muss Substrat kontinuierlich in den Fermenter eingebracht werden. Weiterhin sind solche Fermenter befahrbar, so dass sowohl Eintrag als auch Austrag maschinell erledigt werden können [3]. Der Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, dass durch das regelmäßige Befüllen und Entleeren der Fermenter eine Arbeitskraft phasenweise gebunden wird. Weiterhin muss der Fermentationsprozess nach jedem Befüllen des Fermenters erneut gestartet werden, wodurch die Biologie jedes Mal neu aufgebaut werden muss und sich keine stationäre Fermenterbiologie bilden kann.

1.1.1.2.3 Perkolation

Um eine stabile Methanbakterienpopulation sowie eine hohe Bakteriendichte zu erreichen, wird bei den diskontinuierlichen so genannten Garagenverfahren Perkolutionsflüssigkeit über dem Substratstock versprüht. Durch das Perkolat wird dem Prozess eine ausreichende Bakteriendichte bereitgestellt, zudem kann über Temperierung des Perkolats die Fermentertemperatur gesteuert bzw. geregelt werden. Weiterhin dient das Perkolat zur Befeuchtung des Substratstockes.

Da sich beim Anfahren des Vergärungsprozesses die gebildeten Säuren zunächst in der Perkolutionsflüssigkeit anreichern, kann es durch die starke Versäuerungswirkung zu einer Hemmung des gesamten Prozesses führen [3]. Durch eine kreuzweise Führung des Perkolats kann dies jedoch vermieden werden. Hierbei wird das saure Perkolat eines neu gestarteten Fermenters zur Perkolation eines Fermenters genutzt, der schon über eine stabile Biozönose verfügt. Die Perkolutionsflüssigkeit des eingearbeiteten Fermenters wird wiederum in dem neu gestarteten Fermenter versprüht.

Für einen hohen Gasertrag und eine vollständige Ausnutzung des Substrats ist weiterhin eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Perkolats über dem Substrat nötig. Abhängig vom eingesetzten Substrat kann es durch oberflächigen Ablauf des Perkolats oder durch Kanalbildung zu trockenen Zonen kommen, in denen kein oder nur ein relativ geringer Abbau der organischen Substanz stattfindet [1]. Versuche der Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising, Bayern (LfL) haben gezeigt, dass es bei strukturschwachen Substraten durch die Perkolation zu einer Auswaschung von Substratpartikeln kommt, die den Substratstock verkleben oder zu Verstopfungen des Perkolatkreislaufes führen können [1]. Es muss deswegen bei der Substratzusammenstellung darauf geachtet werden, dass ausreichend Substrate mit hoher Strukturstabilität eingesetzt werden, um ein Setzen des Substratstockes während der Vergärung zu vermeiden.

1.1.1.2.4 Gasproduktion und Gaszusammensetzung

Da bei den diskontinuierlichen Verfahren die Fermenter periodisch mit Substrat beschickt werden, findet auch die Gasproduktion diskontinuierlich statt. Für eine nachgeschaltete Stromgewinnung mittels Blockheizkraftwerk (BHKW) bedeutet dies aber, dass eine kontinuierliche Versorgung mit Biogas durch einen Fermenter allein nicht gewährleistet werden kann. Dies Problem lässt sich jedoch auf einfache Weise lösen, indem mehrere Fermenter zeitversetzt so betrieben werden, dass jeweils mindestens ein Fermenter sich in der Phase der Biogasproduktion befindet.

Weiterhin muss beachtet werden, dass sich die Biogaszusammensetzung anders als in einem kontinuierlichen Fermenter verhält. Hier herrscht durch die stabile Bakterienpopulation und die stetige Substratzugabe eine vom Substrat abhängige und gleich bleibende Biogaszusammensetzung. Anders ist dies in einem diskontinuierlich betriebenen Fermenter. Besonders in der Startup-Phase entsteht durch die beginnenden anaeroben Umsetzungsprozesse vornehmlich ein CO₂-reiches Gasmisch mit einem nur geringen Methangehalt, das sich nur bedingt für die Verbrennung in einem BHKW eignet. Dieses Gasmisch darf nicht in die Atmosphäre gelangen, da sich neben dem CO₂ auch Methan und andere klimawirksame Verbindungen hierin befinden. Erst wenn der Methangehalt im Gasmisch auf Werte von über 50 Vol.-% angestiegen ist, kann das Biogas problemlos im BHKW verbrannt und zu Strom umgewandelt werden.

1.1.1.2.5 Sauerstoff

Die Methanbakterien sind strikte Anaerobier. Das bedeutet, dass sie zwingend auf eine sauerstofffreie Lebensumgebung angewiesen sind, um dauerhaft überleben zu können [5]. Dennoch kommt es gerade bei Feststoffeinträgen bzw. bei der Einbringung von NaWaRo (Silagen oder ähnliches) substratbedingt zu geringen Sauerstoffeinträgen. Dass der Biogasprozess dadurch nicht zum Erliegen kommt bzw. die Methanbakterien gehemmt werden oder gänzlich absterben liegt daran, dass die Methanbakterien in einer Gemeinschaft mit den Bakterien aus den vorhergehenden Abbauschritten leben. Hierunter sind auch so genannte fakultativ anaerob lebende Bakterien. Diese können sowohl in einer Sauerstoffatmosphäre als auch vollkommen ohne Sauerstoff überleben. Dadurch sind diese

Bakterien in der Lage, geringe Mengen an Sauerstoff zu verbrauchen, bevor er die Bakterien schädigt, die auf eine sauerstofffreie Umgebung zwingend angewiesen sind [5].

1.1.1.2.6 Temperatur

Im Allgemeinen laufen Stoffwechselfvorgänge umso schneller ab, je höher die Temperatur ist. Jedoch besitzt jeder Organismus ein Temperaturfenster, innerhalb dessen Unter- und Obergrenze dieser Zusammenhang zwischen Stoffwechselfvorgängen und Temperatur gültig ist. Außerhalb dieser Grenzen kann dies zu einer Hemmung und im Extremfall zu einer irreversiblen Schädigung der Organismen führen [4].

Für den Biogasprozess hat dies folgende Auswirkungen:

- Die am Abbau beteiligten Bakterien lassen sich aufgrund ihrer Temperaturoptima in drei verschiedene Gruppen einteilen. Es wird hier zwischen psychrophilen, mesophilen und thermophilen Bakterien unterschieden.
- Psychrophile Bakterien haben ihr Optimum bei Temperaturen $\leq 25^{\circ}\text{C}$. Bei solchen Temperaturen entfällt das Aufheizen der Substrate bzw. des Fermenters, jedoch sind Abbauleistung und Gasproduktion stark vermindert.
- Der größte Teil der bekannten Methanbakterien hat sein Wachstumsoptimum im mesophilen Temperaturbereich zwischen 32 und 42°C . Anlagen, die im mesophilen Bereich arbeiten sind in der Praxis am weitesten verbreitet, da in diesem Temperaturbereich eine relativ hohe Gasausbeute sowie eine gute Prozessstabilität erreicht werden [7].
- Thermophile Bakterienkulturen haben ihr Optimum im Temperaturbereich zwischen 50 und 57°C . Zwar wird durch die hohe Prozesstemperatur eine teilweise höhere Gasausbeute erreicht, jedoch ist zu bedenken, dass auch mehr Energie für das Aufheizen des Gärprozesses benötigt wird. Auch ist der Gärprozess in diesem Temperaturbereich empfindlicher gegenüber Störungen oder Unregelmäßigkeiten in der Substratzufuhr und der Betriebsweise des Fermenters [8].

In Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Methanbildungsaktivität visuell veranschaulicht. Wie zu sehen, steigt die Aktivität der Methanbildung mit steigender Temperatur langsam an. Die grau hinterlegten Bereiche markieren hierbei die Temperaturbereiche, in denen die Bakterien optimal arbeiten. Steigt die Temperatur jedoch über den optimalen Bereich hinaus weiter an, so ist ein starker Abfall der

Aktivitätskurve zu beobachten. Zusammengefasst bedeutet dies, dass, ausgehend vom jeweiligen Temperaturoptimum (mesophil: 38 °C, thermophil: 55 °C), sich die Aktivität der Methanbildung mit sinkender Temperatur immer weiter verlangsamt bis die Bakterien ihre Aktivität komplett einstellen. Steigt die Temperatur über das Temperaturoptimum hinaus, so kommt es ab einer gewissen Temperaturdifferenz zuerst zu einer signifikanten Hemmung der Bakterien bevor die Methanbildung ganz zum Erliegen kommt. Da die thermophilen Methanbakterien, wie schon angesprochen, sensibler auf Prozessstörungen reagieren, wirkt sich hier die Änderung der Temperatur noch stärker auf die methanogene Aktivität aus.

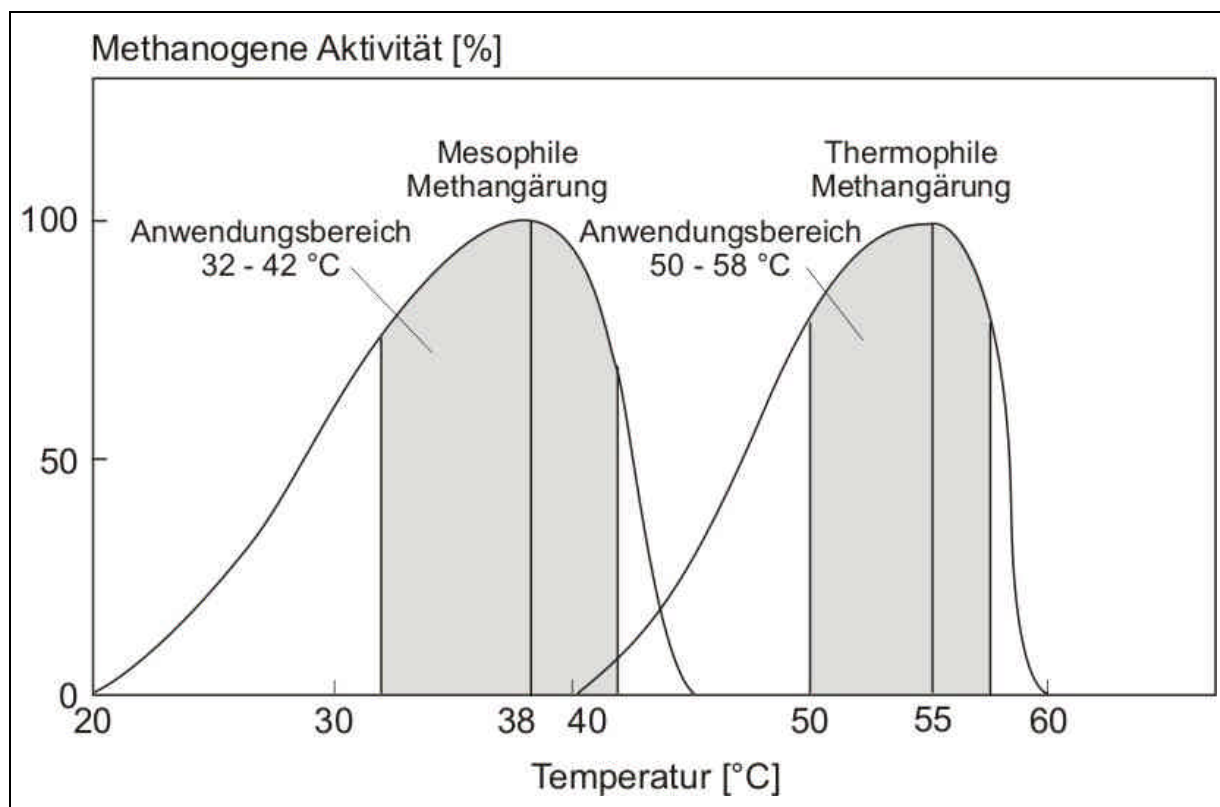


Abbildung 2: Temperatureinfluss auf die Methanbildung

Bei den in kontinuierlichen Verfahren und in der Nassfermentation werden die nötigen Temperaturen durch Beheizen der Fermenterwände und des Fermenterbodens oder durch Wärmetauscher bereitgestellt. Da der Fermenterinhalt bei diesen Verfahren in gewissem Umfang durchmischt wird, ist dadurch eine optimale Verteilung der Prozesswärme garantiert. Da bei den diskontinuierlichen Verfahren ein Durchmischen des Fermenterinhalt nicht möglich ist, werden hier zunächst nur die Boden- und Wandbereiche des Substrates erwärmt. Nur langsam erwärmen sich bei solchen Systemen auch die tiefer gelegenen Substratbereiche.

Hinzu kommt noch, dass durch die höheren Trockenmassegehalte der Wärmübergang nicht so effizient abläuft, so dass die Beheizung des Materials längere Zeit in Anspruch nimmt.

Aus diesem Grund wird das Substrat bei den diskontinuierlichen Vergärungsverfahren vor der eigentlichen Fermentation zunächst für kurze Zeit belüftet, wodurch sich das Substrat durch aerobe Rotteprozesse selbst erwärmt. Hierdurch kann die Zeit für die Aufheizung des Substrates erheblich verkürzt und die hierfür benötigte Energie eingespart werden. Zur Aufrechterhaltung der Fermentationstemperatur wird das Substrat während der Verweilzeit im Fermenter dann über die Fermenterwände bzw. -boden beheizt und zudem mit bereits temperiertem Perkolat berieselt.

1.1.1.2.7 pH-Wert

Ähnlich wie bei der Temperatur haben die Bakterien der einzelnen Prozessstufen unterschiedliche pH-Werte, bei denen sie optimale Lebensbedingungen haben.

So liegt für die hydrolisierenden und säurebildenden Bakterien das pH-Optimum bei pH 4,5 bis 6,3, jedoch sind sie nicht zwingend an diese Grenzen gebunden und können auch bei geringfügig höheren pH-Werten noch überleben; ihre Aktivität wird dadurch nur gering gehemmt [9]. Dagegen sind die essigsäure- und methanbildenden Bakterien zwingend an einen pH-Wert im neutralen Bereich bei 6,8 bis 7,5 gebunden. Demzufolge muss dieser pH-Bereich im Fermenter eingehalten werden und im Normalfall stellt sich der pH-Wert innerhalb des Systems automatisch durch die alkalischen und sauren Stoffwechselprodukte der Bakterien ein, die während des anaeroben Abbaus gebildet werden [5], [10].

In diesem Normalfall wird der pH-Wert durch das freigesetzte Kohlendioxid im neutralen Bereich gepuffert. Sinkt der pH-Wert z.B. durch Zugabe von zu hohen Substratmengen trotzdem weiter ab, ist die Pufferkapazität erschöpft und die Methanbakterien werden in ihrer Stoffwechselaktivität gehemmt. Dadurch kommt es nun zu einer Anhäufung der Säuren aus der Acidogenese, die ja auch noch bei niedrigen pH-Werten überleben können und es kommt zu einem weiteren Absinken des pH-Wertes. Der Prozess versauert dadurch zunehmend und die Methanbakterien stellen ihre Arbeit ganz ein. Wird ein solches Absinken des pH-Wertes bemerkt, muss die Substratzufuhr sofort gedrosselt bzw. gestoppt werden, um den Methanbakterien Zeit zu geben, die vorhandenen Säuren abzubauen.

1.1.1.2.8 Nährstoffversorgung

Als Betreiber einer Biogasanlage, sei es nun eine Nass- oder eine Trockenfermentation, beschäftigt man sich primär mit der Frage: „Welche Substrate bringen den höchsten Methanertrag?“ Wie viel Methan sich aus den eingesetzten Substraten gewinnen lässt, ist durch die Anteile an Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten bestimmt. Die Biogaserträge dieser Fraktionen und deren Methangehalte sind in Tabelle 1 veranschaulicht.

Tabelle 1: Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt [11]

	Biogasertrag [l/kg oTS]	Methangehalt [Vol.-%]
Verdauliches Eiweiß	600 – 700	70 – 75
Verdauliches Fett	1.000 – 1.250	68 – 73
Verdauliche Kohlenhydrate	700 - 800	50 – 55

Wie alle Lebewesen benötigen aber auch die Methanbakterien neben den „Hauptnährstoffen“ eine Reihe verschiedener Spurenelemente und weiterer Nährstoffe, wie z.B. Eisen, Nickel, Selen oder Wolfram für ihr Überleben [5].

Es wird immer wieder angeführt, dass die Prozesse in einem Biogasfermenter ähnlich denen seien, die im Verdauungstrakt von Wiederkäuern ablaufen. Das bedeutet aber auch, dass die Bakterien genauso wie die Tiere negativ auf „Fütterungsfehler“ oder einer Unterversorgung mit bestimmten Nährstoffen reagieren.

Weiterhin ist für den stabilen Prozessablauf ein ausgewogenes C/N-Verhältnis des eingesetzten Substrates wichtig. Ist dieses Verhältnis zu weit (viel C und wenig N), kann der vorhandene Kohlenstoff nicht vollständig umgesetzt werden und es wird mögliches Methanpotenzial nicht genutzt. Im umgekehrten Fall kann es durch Stickstoffüberschuss zur Bildung von Ammoniak (NH₃) kommen, der schon in geringen Konzentrationen die Bakterien in Ihrem Wachstum hemmt und sogar zum völligen Zusammenbruch der gesamten Bakterienpopulation führen kann [5]. Für einen ungestörten Prozessablauf muss das C/N-Verhältnis deswegen im Bereich 10 – 30 liegen. Um die Bakterien ausreichend mit Nährstoffen zu versorgen sollte das C:N:P:S-Verhältnis bei 600:15:5:1 liegen [11].

1.2 Teilziel A3

1.2.1 Stand der Technik

1.2.1.1 Datenerhebung

Ausgelöst durch den verstärkten Anbau nachwachsender Rohstoffe und einer positiven Entwicklung der Nachfrage von Betrieben mit Festmistwirtschaft wurden einfache Trockenfermentationsverfahren entwickelt, die auf der kommunalen Vergärung von Bio- und Restabfall beruhen, deren Technik aber für einen Einsatz im landwirtschaftlichen Bereich zu teuer wäre [2]. Daher existieren derzeit nur wenige Hersteller bzw. Verfahren für die landwirtschaftliche Trockenfermentation, die in der Praxis eingesetzt werden.

Für die Erhebung der anlagenspezifischen Daten wurden die verschiedenen Hersteller direkt kontaktiert, wobei Informationen über das Leistungs- bzw. Angebotsprofil in Erfahrung gebracht werden sollten. Weiterhin wurde ermittelt, wo die betreffenden Verfahren in der Praxis eingesetzt werden (Referenzlisten).

Beispielhaft werden nachfolgend einige der derzeit auf dem Markt verfügbaren Anlagensysteme beschrieben. Neben den aus der Reststoff- bzw. Bioabfall-Vergärung adaptierten Verfahren sollen auch solche Verfahren erläutert werden, die nicht auf den Zusatz externer Flüssigkeiten (Gülle, Wasser etc.) angewiesen sind.

Auf Grund der derzeit rasanten Entwicklung der Praxis kann dieses Kapitel nur eine punktuelle Bestandsaufnahme darstellen. Aus diesem Grund stellt diese Listung nur den derzeitigen Stand des Wissens dar und erhebt **keinen Anspruch auf Vollständigkeit**:

1.2.1.2 Diskontinuierliche Verfahren

Die diskontinuierlichen Verfahren arbeiten im Gegensatz zu den kontinuierlichen Verfahren nicht mit einer ständigen Zugabe von Substrat in den Fermenter. Hier wird stattdessen der Fermentationsraum mit Substrat befüllt, welches bis zum Ende der vorher festgelegten Verweilzeit vergoren wird. Diese Verfahren kommen ohne eine spezielle Eintragstechnik für die Substrate und ohne Rührtechnik zur Durchmischung des Fermenterinhalt aus, was sie technisch sehr einfach und kostengünstig macht.

1.2.1.2.1 Perkulations-Verfahren

1.2.1.2.1.1 System BIOFerm®

Bei dem System BIOFerm® handelt es sich um ein Batch-Verfahren, bei dem die zu vergärende Biomasse zusammen mit einem Impfmateriail in so genannten Garagenfermentern eingelagert und dort unter Sauerstoffabschluss vergoren wird (Abb. 3). Ein mechanisches, hydraulisches oder pneumatisches Vermischen des Fermenterinhalt entfällt hierbei. Die Temperierung und Beimpfung mit Methanbakterien erfolgt hierbei über Rezirkulation des anfallenden Perkolats. Das entstehende Biogas wird in einem externen Folienspeicher zwischengelagert, bevor es der Verwendung durch ein angeschlossenes BHKW zugeführt wird. Nach Abschluss der Fermentation werden die Fermenter belüftet und das entstehende Luft-Methan Gemisch über einen Biofilter abgezogen und gereinigt.

Bei diesem System findet die Substratzugabe nur zu Beginn des Fermentationsprozesses statt und das eingebrachte Material wird dann komplett vergoren (Batch-Prozess). Die Biogasanlagen sind modular aufgebaut und werden mit mehreren Fermenterkammern ausgestattet, so dass eine gleichmäßige Gasproduktion erreicht wird.



Abbildung 3: Garagenfermenter [BIOFERM]

1.2.1.2.1.1 Anlagenkomponenten

Substratlagerung

Die Lagerung der Substrate findet in Fahrsiloplanlagen statt, wie sie schon aus herkömmlichen landwirtschaftlichen Betrieben bekannt sind. Hierbei ist die benötigte Lagerkapazität von der elektrischen Leistung der Biogasanlage abhängig. Die Ausführung geschieht überwiegend als Betonfläche, welche zu den Seiten mit Betonwänden abgeschlossen wird, um eine leichtere Verdichtung des Silostocks bei der Silagebergung zu ermöglichen.

Substratbeschickung

Die Fermenterkammern werden beim System BIOFerm® über ein an der Fermenterforderseite angebrachtes Tor befüllt bzw. entleert. Die Beschickung wird hierbei von der auf landwirtschaftlichen Betrieben üblichen Betriebstechnik (Frontlader, Radlader etc.) vorgenommen. Im Gegensatz zur Nassfermentation entfällt hierbei ein vorheriges

Vermischen mit flüssigen Materialien, um das Substrat in einen pump- bzw. fließfähigen Zustand zu bringen, so dass eine spezielle Eintragstechnik nicht notwendig ist.

Fermenter

Die Fermenter werden als Rechteckbehälter aus Stahlbeton gefertigt. Die Abmaße in Metern betragen für eine Fermenterkammer von 6 x 4 x 8 (B x H x T) bis zu 7 x 4 x 30 (B x H x T) (Abb. 4). Auf der Vorderseite der Fermenter werden isolierte Edelstahltore mit einer Wandstärke von 80 mm angebracht, über die die Fermenterkammer befüllt und entleert werden kann. Zum Start der Fermentation können die Tore luftdicht verschlossen werden. Je nach elektrischer Leistung der Biogasanlage werden mehrere Fermenterkammern errichtet, um eine kontinuierliche Gasproduktion zu gewährleisten.

Die Fermenter werden weiterhin mit einer Stahlkonstruktion mit Profileindeckung überdacht. Die Wandverkleidung wird analog zu den Fermentertoren ebenfalls isoliert, um die Wärmeverluste weiter zu minimieren und um einen vollständigen Sauerstoffabschluß zu garantieren.

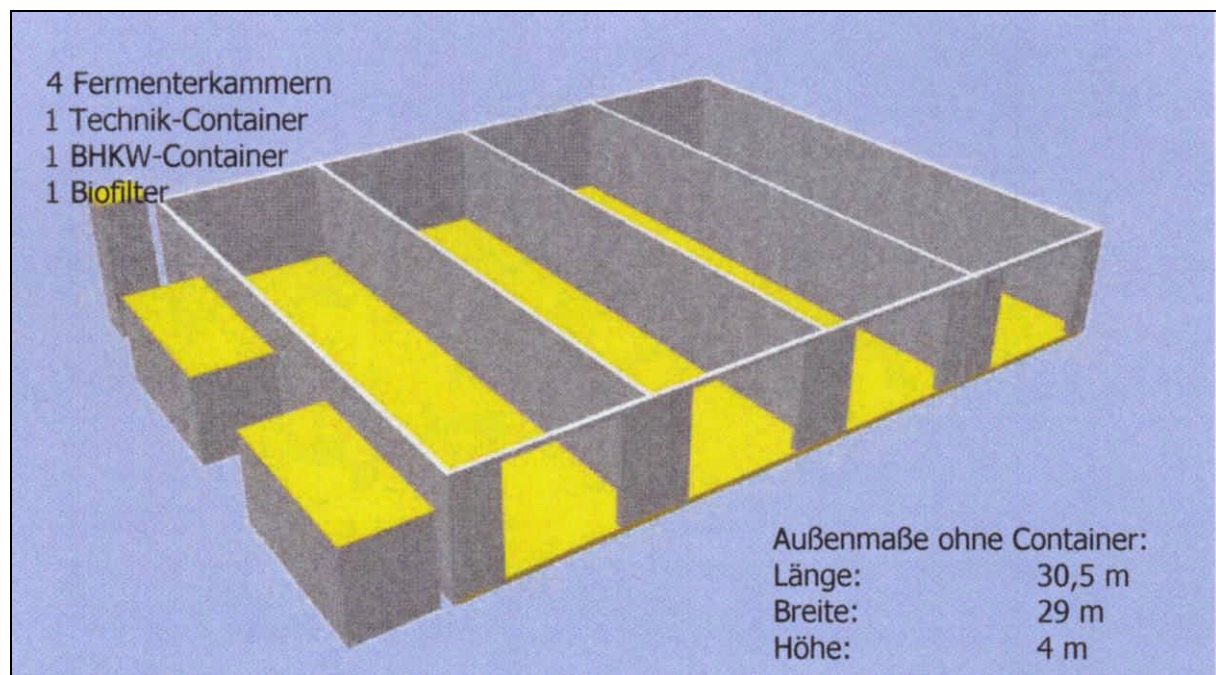


Abbildung 4: Schematischer Fermenteraufbau (4-Fermenter Anlage)

Heizung

Die Fermenter sind zur Beheizung des Substrates mit einer Fußbodenheizung ausgestattet. Diese verfügt über einen externen Mischkreislauf und wird über einen Heizungsverteiler-Schrank mit dem Kühlwasserkreislauf des BHKW verbunden. Zusätzlich wird das Perkolat über einen Wärmetauscher beheizt, so dass der Fermenterinhalt während des gesamten Fermentationsvorganges auf der für den Prozess notwendigen Temperatur von 38 °C gehalten werden kann.

Perkolierung

Die zum Starten des Fermentationsprozesses benötigten Methanbakterien werden zum einen durch das Vermischen des frischen Substrates mit schon vergorenem Material in den Fermenter eingebracht. Zur Aufrechterhaltung des Anaerobprozesses wird das Substrat zusätzlich während des gesamten Abbauvorganges mit einer Bakteriensuspension (Perkolat) besprüht. Hierbei ist jeder Fermenter mit vier Sprühdüsen ausgestattet, die durch die Fermenterdecke geführt werden. Die versprühte Suspension sickert dann durch das Material bis auf den Fermenterboden, wo das Perkolat in einem Bodenschacht gesammelt und einem Bodentank aus Stahlbeton zugeführt wird. In diesem wird das Perkolat gesammelt und auf die notwendige Prozesstemperatur von 38 °C erhitzt. Über Kreiselpumpen wird das Perkolat bei Bedarf den Sprühdüsen in den Fermenterkammern wieder zugeführt.

Gasspeicher

Das produzierte Biogas wird aus der Fermenterkammer mittels eines Verdichtergebläses abgesaugt und in einem externen Folienspeicher über den Fermenterkammern zwischengelagert. Bevor das Biogas dem BHKW zugeführt wird (Abb. 5), wird das Biogas entschwefelt und die Zusammensetzung analysiert. Der Folienspeicher ist mit Füllstandssensoren sowie einer Not-Abschalteinheit ausgerüstet.

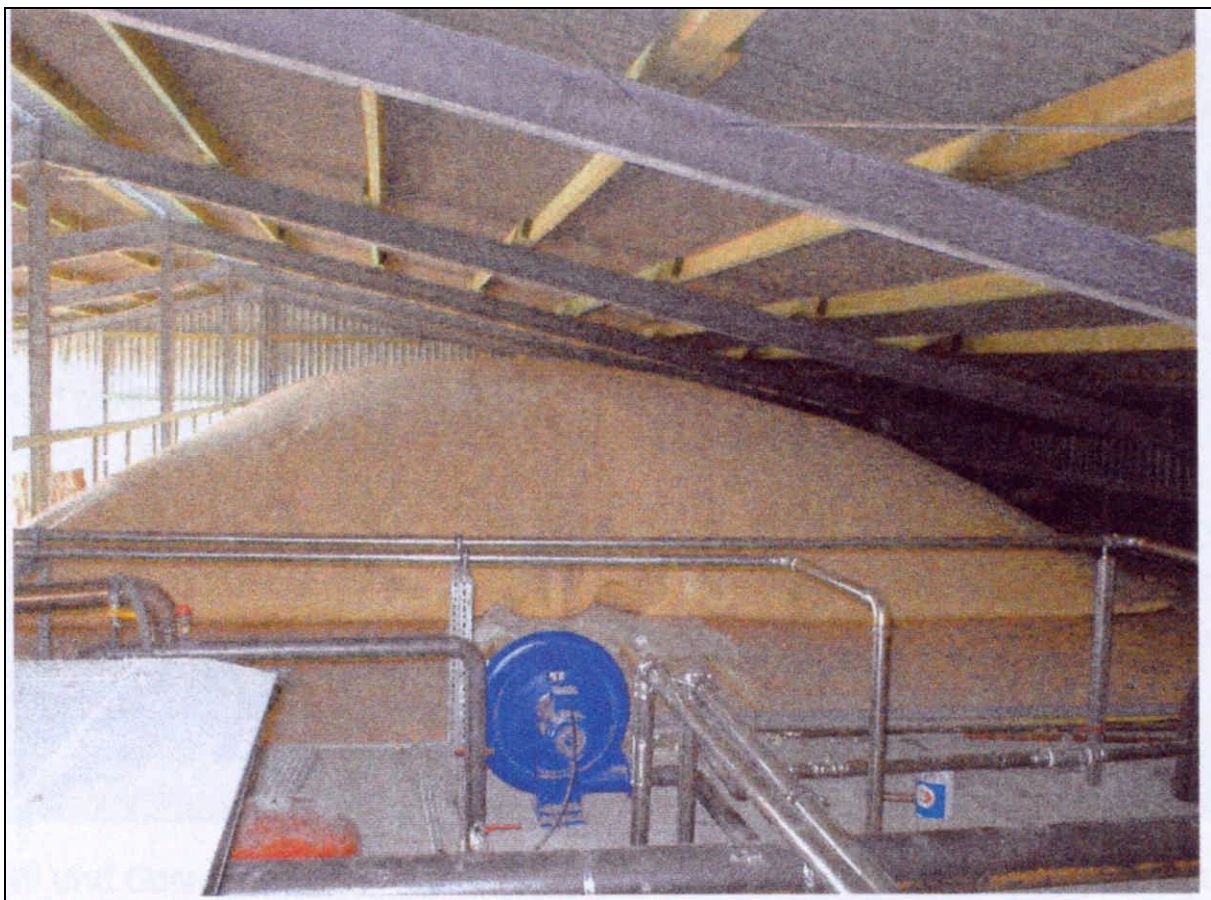


Abbildung 5: Foliengasspeicher

Biofilter

Nach Abschluss des Vergärungsprozesses muss die Fermenterkammer vor dem Öffnen mit Umgebungsluft gespült werden, um ein Zustandekommen von explosiven Luft-Gas Gemischen beim Öffnen des Fermenters zu verhindern. Dieses Gasmisch kann nicht mehr in dem angeschlossenen BHKW verbrannt werden und wird stattdessen aus dem Fermenter abgesaugt und über einen Biofilter geführt und an die Atmosphäre abgegeben.

BHKW

Das zur Verstromung des produzierten Biogases benötigte Blockheizkraftwerk wird in einem separaten Container untergebracht und wird direkt neben den Fermenterkammern installiert. Das BHKW ist an den Heizverteiler sowie an den Foliengasspeicher angeschlossen. Bauseitig ist das BHKW hierfür mit einer Gasregelstrecke inklusive Verdichtergebläse ausgerüstet.

Mess- und Regeltechnik

Zur Steuerung wird die Biogasanlage mit einer automatischen Steuerung sowie einer Prozessvisualisierung per PC ausgerüstet, von der aus alle Funktionen der Anlage gesteuert und überwacht werden können. Neben der Erfassung der Fermentertemperatur wird ebenfalls die Gaszusammensetzung im Foliengasspeicher gemessen und dokumentiert.

Insbesondere vor dem Öffnen des Fermenters besteht Gefahr, dass durch das Spülen des Fermenters mit Luftsauerstoff ein explosionsfähiges Gasmisch entsteht. Über im Fermenterraum angebrachte Methan- und Sauerstoffsensoren wird hier verhindert, dass sich die Fermentertore vor dem vollständigen Absaugen des restlichen Methans öffnen lassen.

1.2.1.2.1.2 BEKON – Trockenfermentationsverfahren®

Bei dem System BEKON® handelt es sich um ein Vergärungsverfahren bei dem das zu vergärende Substrat ähnlich dem BIOFERM-Verfahren® in garagenähnlichen Boxenfermentern anaerob vergoren wird. Das Frischsubstrat wird hierzu mit bereits vergorenem Material vermischt und im Anschluss in den Fermenter gebracht. Das Befüllen bzw. Entleeren des Fermenters geschieht hierbei über ein an der Stirnseite des Fermenters angebrachtes Tor, welches den Fermenter während des Fermentationsvorganges luftdicht abschließt. Die Beschickung des Substrates geschieht mittels Radlader oder Teleskoplader. Während des Vergärungsprozesses wird das Substrat ständig von Perkolat, einer mit Methanbakterien angereicherten Lösung, besprüht, welches den Substratstock durchwandert und am Fermenterboden gesammelt und in einem Lagerbehälter zwischengespeichert wird. Die Temperierung des Substrates auf die benötigte Prozesstemperatur von 38 °C geschieht über eine im Fermenter integrierte Boden- und Wandheizung. Das entstehende Biogas wird direkt dem angeschlossenen BHKW zugeführt. Um hier eine kontinuierliche Gasproduktion sicherzustellen, werden jeweils mehrere Fermenter zeitversetzt betrieben. (Abb. 6).

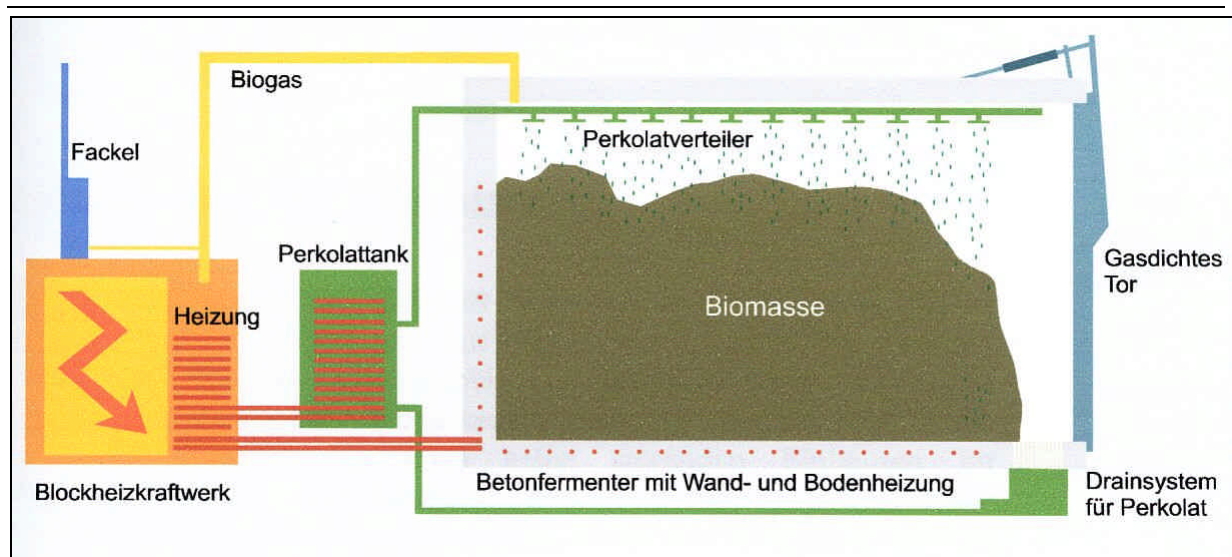


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Garagen-Verfahrens (BEKON)

Nach Ablauf der angestrebten Verweilzeit (je nach Substrat ca. 4 - 8 Wochen) wird der Fermenter wieder entleert, jedoch muss vor dem Öffnen des Fermenters der Innenraum gespült werden, damit keine klimawirksamen Gase in die Atmosphäre entweichen bzw. sich keine explosiven Gasgemische bilden können. Anschließend wird der Fermenter entleert und erneut befüllt.

1.2.1.2.1.2.1 Anlagenkomponenten

Substratbeschickung

Die Fermenterbeschickung sowie –entleerung geschieht mittels Rad- oder Teleskoplader über ein an der Fermenterforderseite angebrachtes Tor. Jedoch wird das Frischsubstrat vor der Einbringung in den Fermenter mit bereits vergorenem Material vermischt, um eine ausreichende Bakterienkonzentration im Substratstock zu erreichen.

Fermenter

Die Fermenter werden aus gasdichtem Stahlbeton gefertigt und sind garagenartig aufgebaut (Abb.7). Je nach elektrischer Leistung der Biogasanlage und um eine kontinuierliche Gasproduktion zu ermöglichen, werden jeweils mehrere Fermenter in einem Block nebeneinander gebaut. Die Abmaße der Fermenter variieren entsprechend der angestrebten elektrischen Leistung und des angestrebten Substratdurchsatzes. Auf der Stirnseite der

Fermenter sind isolierte Tore angebracht, die sich hydraulisch nach oben öffnen. Über eine am Tor angebrachte, aufblasbare Dichtungslippe wird das Tor im geschlossenen Zustand gasdicht abgeschlossen..

Die Fermenterwände sind ebenso wie die Tore isoliert, um die Wärmeverluste zu minimieren.



Abbildung 7: Bekon-Trockenfermentationsanlage® [BEKON]

Heizung

Die Fermenter sind zur Beheizung des Substrates mit einer Wand- und Bodenheizung ausgestattet. Die Heizschleifen werden beim Bau der Anlage in die Wände bzw. den Boden integriert, so dass keine Einbauten im Fermenter notwendig sind. Zusätzlich wird über einen Wärmetauscher das Perkolat beheizt, so dass auch im Inneren des Substratstockes eine Steuerung der Prozesstemperatur möglich ist. Die benötigte Heizenergie wird über den Kühlerkreislauf des BHKW bereitgestellt.

Perkolierung

Die zum Starten des Fermentationsprozesses benötigte Konzentration an Methanbakterien wird durch das Vermischen des frischen Substrates mit schon vergorenem Material erreicht. Während der Verweilzeit des Substrates im Fermenter wird der Substratstock permanent mit Perkolat berieselt. Das Perkolat durchwandert das Substrat und wird am Fermenterboden über eine Sammelleitung wieder dem Perkolattank zugeführt und rezirkuliert.

Gasspeicher

Das produzierte Biogas wird aus dem Fermenter direkt dem BHKW zugeführt. Der Gasraum über dem Substrat im Fermenter dient hierbei als kleiner Zwischenspeicher. Eine externe Lagerung z.B. im Folienspeicher entfällt hierbei, wodurch Kosten gespart werden können.

Belüftung

Nach Abschluss des Vergärungsprozesses muss die Fermenterkammer vor dem Öffnen gespült werden, um ein Zustandekommen von explosiven Gasgemischen beim Öffnen des Fermenters zu verhindern. Bei dem BEKON-Verfahren werden zum Spülen der Fermenter die Abgase des BHKW verwendet und das dabei entstehende Gasgemisch über die angeschlossene Fackel verbrannt. Im Anschluss kann der Fermenter gefahrlos geöffnet werden und wird im offenen Zustand ständig mit Umgebungsluft durchspült.

BHKW

Das in den Fermentern produzierte Biogas wird vor der Verwertung entschwefelt, getrocknet und die Gasqualität und -menge gemessen. Über ein Verdichtergebläse und eine Gasregelstrecke wird das Biogas anschließend dem BHKW zugeführt. Das Blockheizkraftwerk verfügt über eine Steuereinheit, die die BHKW-Leistung entsprechend dem Gasanfall regelt, so dass kein externer Gasspeicher notwendig ist. Die bei der Verstromung entstehende Abwärme wird zum Teil für die Wärmeversorgung der Biogasanlage benötigt, Überschusswärme wird externen Wärmeverbrauchern zur Verfügung gestellt. Bei Ausfall des Blockheizkraftwerkes wird das produzierte Biogas über eine Notfackel verbrannt.

Mess- und Regeltechnik

Die Biogasanlage wird über ein rechnergestütztes System gesteuert und überwacht. Hierüber können einzelne Parameter für die Beheizung, im Perkolatkreislauf und für das BHKW für die einzelnen Fermenter eingestellt werden.

Weiterhin verfügt die Biogasanlage über ein Sicherheitskonzept, um das Entstehen von explosionsfähigen Luft-Gas-Gemischen im Fermenter zu verhindern. Auch während des Entleerungs- bzw. Befüllvorganges wird der Fermenter ständig von Frischluft durchströmt, um das Entstehen einer für den Menschen gefährlichen Atmosphäre zu vermeiden. Weiterhin wird über Sensoren verhindert, dass die Tore geschlossen werden können solange sich eine Person im Fermenter aufhält.

Die komplette Mess- und Regeltechnik ist in einem zentralen Kontrollgebäude untergebracht, worin sich in den weiteren Räumen neben der Niederspannungsversorgung auch die Perkolations-technik, die Heizverteilung und das BHKW befinden.

1.2.1.2.1.3 Trocken-Nass-Simultan-Vergärung®

Bei diesem vom Ingenieurbüro LOOCK BIOGAS SYSTEME GMBH entwickelten Verfahren handelt es sich um eine Kombination aus der einfachen Trockenvergärung mit der herkömmlichen Nassvergärung.

Wie in Abbildung 8 gezeigt, wird das Substrat zunächst in boxenartige Trockenfermenter eingebracht. Nach dem Befüllen wird der Fermenter geschlossen und der Fermentationsraum für kurze Zeit belüftet. Durch die so beginnenden aeroben Rotteprozesse erwärmt sich das Substrat bis auf die gewünschte Gärtemperatur (ca. 38 °C). Zum Start der anaeroben Fermentation wird die Belüftung gestoppt und das Fermentermaterial mit Perkolat berieselt.

Das Perkolat wird nach dem Durchrieseln des Trockenfermenters einem Nassfermenter zugeführt, der gleichzeitig als Perkolatwasserspeicher dient. Hier wird die organische Fracht des Perkolats zu Biogas abgebaut sowie das Perkolat wieder auf Prozesstemperatur erhitzt. Somit findet die Gasbildung sowohl im Trockenfermenter als auch in der Nassfermentation statt.

Nach Ablauf der angestrebten Verweilzeit wird der Trockenfermenter belüftet und das Restgas über einen Biofilter an die Atmosphäre abgegeben. Im Anschluss kann der Fermenter geöffnet, entleert und neu befüllt werden.

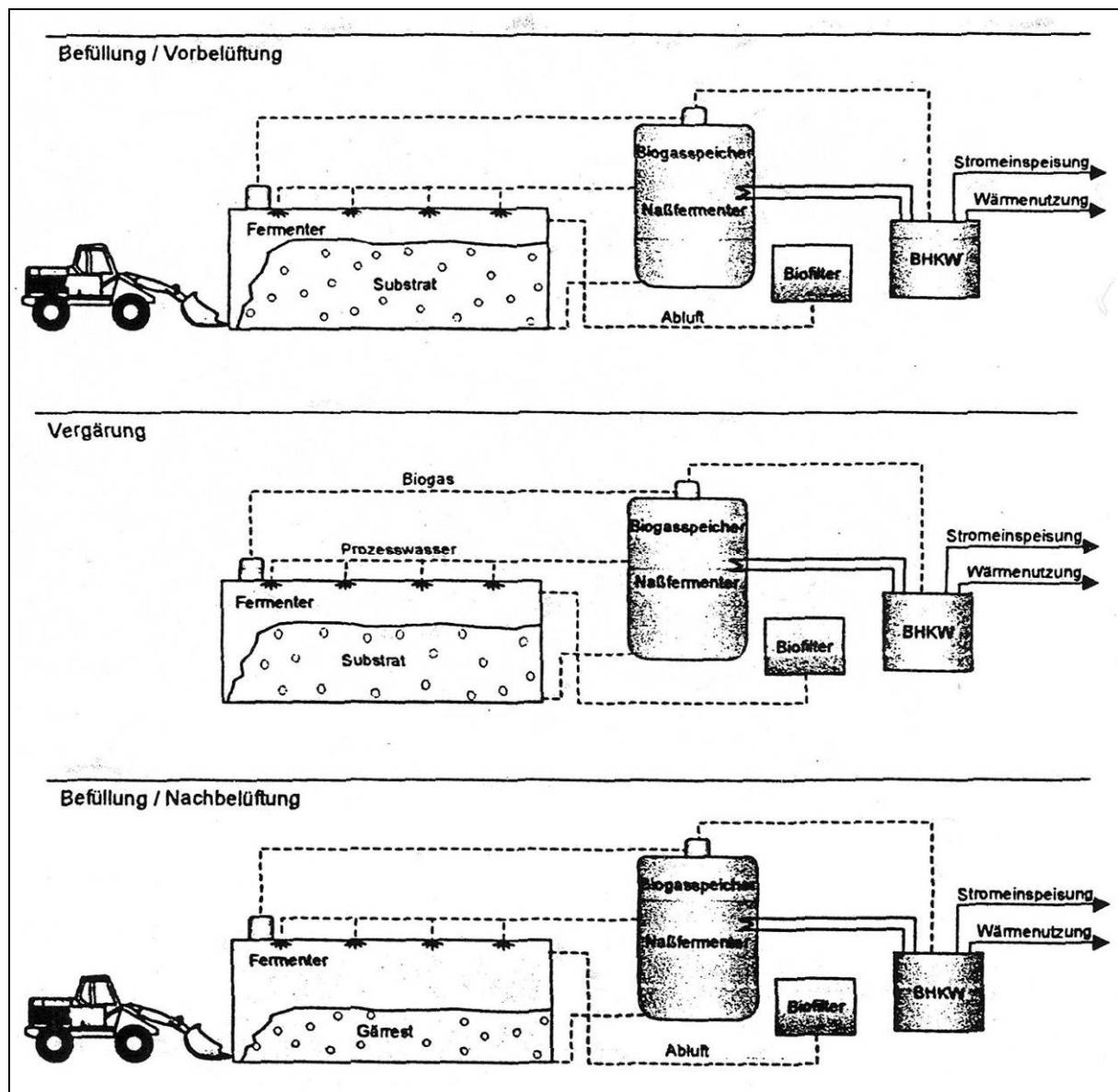


Abbildung 8: Schematisierte Verfahrensweise der Trocken-Nass-Vergärung [Loock]

1.2.1.2.1.3.1 Anlagenkomponenten

Substratbeschickung

Die Beschickung der Fermenter mit den zu vergärenden Substraten erfolgt direkt durch Radlader oder Teleskoplader bzw. der vorhandenen Betriebstechnik (z.B. Frontlader-Schlepper). Hierbei wird das Substrat durch ein an der Fermenterforderseite angebrachtes Tor direkt in den Fermenter verbracht, so dass keine spezielle Eintragstechnik benötigt wird.

Fermenter

Die Trockenfermenter werden aus Stahlbeton gefertigt und in Fertigteilen angeliefert. Die Abmaße in Metern betragen in der Regel für eine Fermenterkammer $4 \times 4 \times 20$ (B x H x T), jedoch variieren diese Größenangaben je nach Größe bzw. elektrischer Leistung der Biogasanlage. Die Wand- und Deckenelemente sind durch Hartschaumplatten isoliert und gasdicht ausgeführt. Auf der Vorderseite der Fermenter werden isolierte Edelstahltore mit einer Wandstärke von 100 mm angebracht, über die der Fermenter befüllt und entleert wird. Zur Abdichtung des Tores befindet sich zwischen Tor und Fermenterwand ein so genanntes „Airseal“®, welches einen gasdichten Abschluss des Tores garantiert.

Der Fermenter wird weiterhin mit fünf Spezialdüsen sowie Lochblechen und Abläufen für ein Schwerkraftentwässerungssystem ausgerüstet, welche für die Perkolation sowie der Rückführung des durchsickernden Perkolats benötigt werden. Zur Belüftung werden in den Fermenterboden 2 Schwertdüsen verbaut, außerdem wird ein Luftableitungssystem installiert, welches das Luft-Gas Gemisch, das zu Beginn und zum Ende der Fermentation entsteht einem Biofilter zuführt.

Heizung

Die Beheizung des Substrates erfolgt bei der Trocken-Nass-Simultan-Vergärung über das Perkolat. Das Perkolat wird hierzu im Perkolatwassertank durch installierte Heizkreisläufe auf die für den Prozess notwendige Temperatur erwärmt. Eine direkte Erwärmung des Substrates in dem Fermenter findet nicht statt. Hier wird zu Beginn des Fermentationsvorganges kontrolliert Umgebungsluft in den Fermenter geblasen, wodurch sich das Substrat durch beginnende Rottevorgänge selbst erwärmt. Zum Start der anaeroben Vergärung wird die Luftzufuhr gestoppt und die Wärmeversorgung erfolgt dann ausschließlich über das Perkolat.

Perkolatspeicher / Nassfermenter

Für den Perkolatspeicher bzw. Nassfermenter wird ebenfalls Stahlbeton eingesetzt. Die Bodenplatte sowie die Wände werden mit Hartschaumplatten (120 mm) isoliert und mit Trapezblechen verkleidet. Das Nutzvolumen beträgt hier ca. 1.287 m³ bei einem Durchmesser von 16 m und einer Bauhöhe von 6,40 Metern. Die Beheizung erfolgt über ein Heizkreissystem aus PEX-Rohren. Zur Speicherung des produzierten Biogases wird außerdem ein Tragluftdach mit einem Nutzvolumen von ca. 350 m³ installiert. Der Perkolatspeicher / Nassfermenter wird zudem mit einer Überfüllsicherung sowie Sensoren zur Temperatur- und Füllstandsmessung ausgerüstet. Wird der Nassfermenter zusätzlich zum Trockenfermenter mit Substrat beaufschlagt, ist eine Separierung der Feststoffe nötig, da ansonsten feine Feststoffpartikel über das Perkolat in den Trockenfermenter gelangt und dort zu Verstopfungen des Substratstocks führen.

Nach Mitteilung der LOOCK CONSULTS wird der Nassfermenter bei den derzeit errichteten Anlagen nur noch für die Perkolatspeicherung verwendet und wird nicht aktiv mit Substrat beschickt.

Gasspeicher

Das während des Vergärungsprozesses produzierte Biogas wird über ein Gasableitungssystem aus der Fermenterkammer in einen externen Foliengasspeicher mit einem Volumen von ca. 1.000 m³ geführt und dort bis zur Verwendung durch ein BHKW zwischengelagert. Um den Verschleiß des BHKW-Motors gering zu halten, wird das Biogas vor seiner Verwendung entschwefelt. Der Foliengasspeicher befindet sich innerhalb der Einhausung der Trockenfermenter und besteht aus Polyäthylenfolien, welche eine sehr gute Gasdichtigkeit aufweist.

Biofilter

Vor Beginn der Fermentation sowie nach Abschluss des Abbauvorganges wird der Fermenter mit Umgebungsluft gespült. Das dabei entstehende Luft-Gas Gemisch kann nicht in dem angeschlossenen BHKW verbrannt werden und wird stattdessen aus dem Fermenter abgesaugt und über einen Biofilter geführt, bevor es in die Atmosphäre gelangt. Der Biofilter ist modular in Containerbauweise aufgebaut und besteht aus Rindenmulch als Filtermaterialschüttung.

BHKW

Das zur Verstromung des produzierten Biogases benötigte Blockheizkraftwerk wird in einem separaten schallgedämmten Container untergebracht und wird direkt neben den Trockenfermentern installiert. Das BHKW ist mit einer Gasregelstrecke zur Druckerhöhung sowie einem Abgaswärmetauscher und einer Notkühlanlage ausgerüstet. Wahlweise wird ein Gas-Otto- oder ein Zündstrahlmotor verbaut. Als Sicherheitssystem wird zusätzlich eine Notfackel installiert, die das Biogas bei Ausfall des BHKW verbrennt

Mess- und Regeltechnik

Der MSR-Raum wird zwischen den Fermentern angeordnet. Von hier aus werden die Berieselung sowie die Belüftung der Fermenter gesteuert. Die Berieselung bzw. Förderung des Perkolats erfolgt über zwei Drehkolbenpumpen mit einer Leistung von 40 m³/h. Eine dritte baugleiche Drehkolbenpumpe dient zur Entnahme des Perkolats aus dem Sammelschacht. Weiterhin sind hier zwei Verdichtergebläse mit einer Leistung von 1.000 m³/h für die Belüftung der Trockenfermenter sowie eine separate Boosteranlage mit einem Arbeitsdruck von 15 bar für die Auflockerung und Entgasung des Gärsubstrates installiert. Zur Entschwefelung des Biogases sind im MSR-Raum eine entsprechende Anlage sowie eine Kompressoranlage zur Schaltung aller pneumatischen Ventile verbaut

Zur Steuerung der Anlage werden eine SPS-Steuerung sowie ein Leitwarten-Rechner inklusive Prozessvisualisierung eingesetzt.

1.2.1.2.1.4 3A-Verfahren®

Bei diesem von der Unternehmensgruppe DR. ING. STEFFEN (SIG) entwickeltem und von der PROFACTOR GMBH vertrieben Verfahren durchläuft das zu vergärende Substrat nacheinander 3 Phasen (aerob – anaerob – aerob). Hierzu wird das Substrat in einen so genannten Wannenfermenter mit Spaltenboden eingebracht (Abb. 9). Unter dem Fermenterboden befinden sich segmentweise abgetrennte Hohlräume, in denen das Perkolat aufgefangen und das Biogas abgezogen wird. Ist ein Segment befüllt wird das Material zunächst belüftet (Phase 1), um durch die einsetzenden Rottevorgänge die erforderliche Prozesstemperatur von 45 °C zu erreichen [12]. Danach wird die Belüftung für dieses Segment eingestellt und das Segment verschlossen und mit Perkolatwasser berieselt. Im Anschluss wird das nächste

Segment befüllt und ebenfalls belüftet. Das erste Segment wechselt in dieser Zeit in eine so genannte fakultativ anaerobe Phase (Übergangsphase). Sobald das dritte Segment befüllt und belüftet wird, wechselt das erste Segment in die zweite, die anaerobe Phase. Das zwischen dem anaeroben und dem aeroben Segment liegende fakultativ anaerobe Segment dient hierbei als „natürliche Trennschicht“, so dass aus dem aeroben Segment eintretender Sauerstoff in diesem verbraucht wird und nicht in den anaeroben Bereich gelangt. Durch die segmentweise Befüllung des Fermenters nehmen die anaeroben Bereiche allmählich zu, bis der Fermenter komplett gefüllt ist [13].

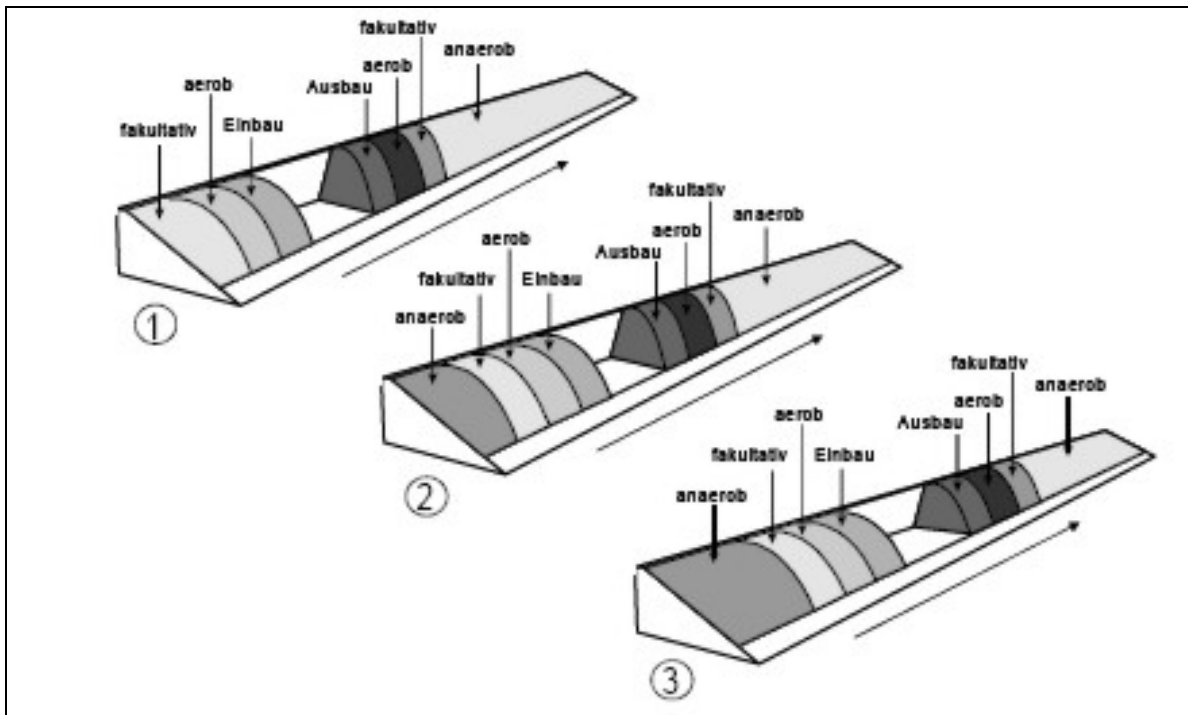


Abbildung 9: Segmentweise befüllter Wannerreaktor

Das Biogas wird bei diesem Verfahren nur aus den strikt anaeroben Bereichen abgezogen und dem BHKW zugeführt. Das Gasmisch der aeroben Segmente wird gesondert abgezogen und über einen Biofilter gereinigt an die Umgebung abgegeben.

Nach Ablauf der Verweilzeit (ca. 40 – 50 Tage) wird das zuerst eingebaute Segment zunächst belüftet (3. Phase), bevor das ausgegorene Material aus dem Fermenter entfernt und das Segment neu befüllt wird. Auch hier bildet sich zwischen dem aeroben Segment und dem anaeroben Bereichen ein Übergangsegment, das im fakultativ anaeroben Zustand betrieben wird (Abb. 10).

Durch diese zyklische Betriebsweise lässt sich auch mit nur einem Fermenter eine konstante Biogasproduktion erreichen.

Da jedoch für dieses Verfahren noch keine Erfahrungen aus einer Praxisanlage vorliegen, lassen sich die Vor- und Nachteile dieses Verfahren allenfalls abschätzen.

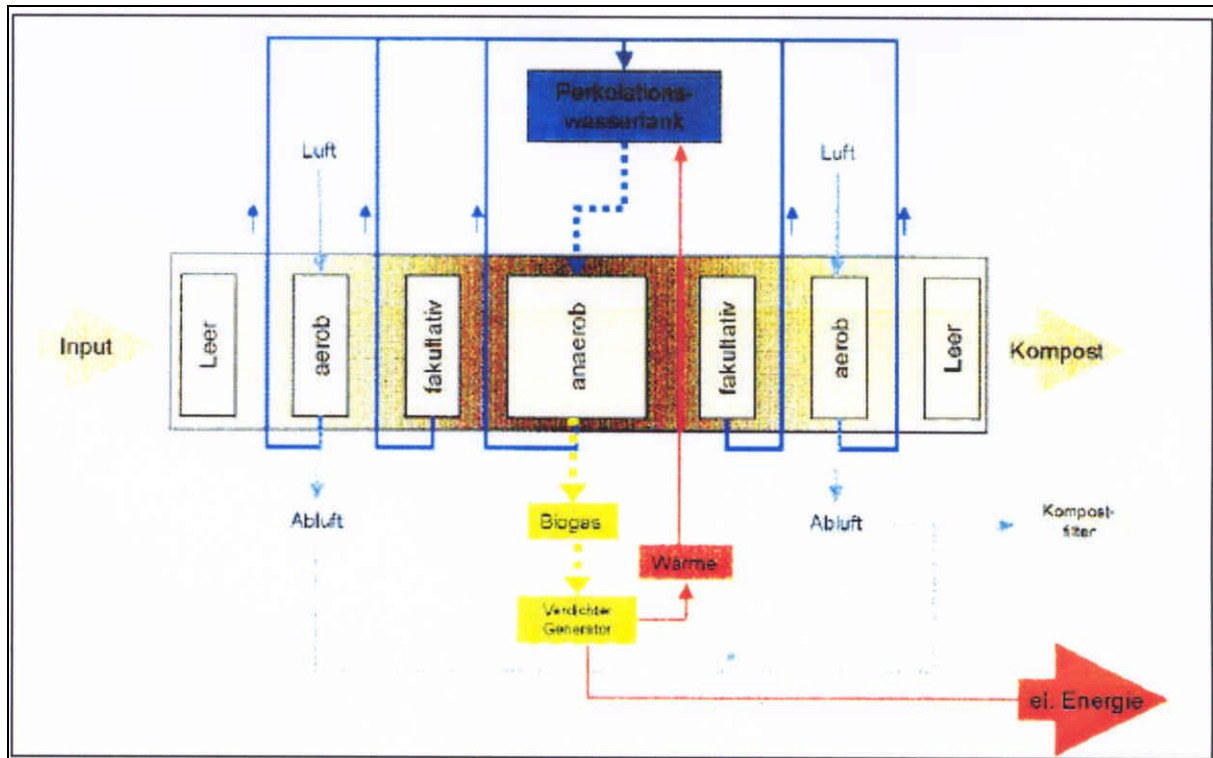


Abbildung 10: Verfahrensfließbild [13]

1.2.1.2.1.4.1 Anlagenkomponenten

Fermenter

Es ist vorgesehen, eine Wanne aus Asphaltbeton zu errichten, an deren Rückwand sich ein Wartungsgang anschließt. Auf Grund der benötigten Fermentersegmente ist geplant, die Wanne mit einer Länge von ca. 100 Metern sowie einer Breite von 12 Metern zu errichten. Zur Perkolatabführung sowie zur Absaugung des produzierten Biogases, liegt das zu vergärende Material auf Spaltenböden unter denen sich ein Hohlraum befindet. Die einzelnen Segmente werden unterhalb des Spaltenbodens durch eingezogene Stahlträger gasdicht voneinander getrennt, um ein Umlaufen des Biogases über die gesamte Wannenbreite zu verhindern. Das eingebrachte Substrat wird gegenüber der Umgebung durch gasdichte

Kunststoffbahnen abgetrennt, die am oberen und unteren Segmentrand gasdicht mit dem Wannenfermenter verbunden werden.

Heizung

Die Beheizung des Substrates erfolgt beim 3A-Verfahren® zunächst durch Belüftung des betreffenden Segmentes mit Umgebungsluft. Die dadurch beginnenden Rottevorgänge erhitzen das Substrat auf die gewünschte Prozesstemperatur. Nach Erreichen der thermophilen Betriebsbedingungen wird die Belüftung eingestellt und die weitere Wärmeversorgung über das Perkolat sichergestellt.

Perkolatspeicher

Das anfallende Perkolat wird in einem 50 m³ fassenden Tank gespeichert. Hier findet auch die für die Erhaltung der Prozesstemperatur notwendige Beheizung des Perkolats statt. Die dafür benötigte Heizenergie wird über die Motorabwärme des Blockheizkraftwerkes bereitgestellt.

Gasabsaugung

Das produzierte Biogas wird über dem unterhalb des Spaltenboden vorhandenen Hohlraum abgesaugt und dem BHKW ohne Zwischenspeicherung zugeführt. Über eine kontinuierliche Messung des Methangehaltes wird sichergestellt, dass nur das Gas aus den Segmenten in der anaeroben Phase abgesaugt und dem BHKW zugeführt werden. Das Gas-Luft-Gemisch aus den aeroben Segmenten wird ebenfalls abgesaugt und durch den schon kompostierten Gärrest geleitet und so aufgereinigt. Segmente, die sich in der fakultativen Phase befinden werden nicht abgesaugt.

BHKW

Das zur Verstromung des produzierten Biogases benötigte Blockheizkraftwerk wird in einem separaten Container untergebracht. Das BHKW ist mit einer Gasregelstrecke sowie einem Verdichtergebläse zur Druckerhöhung ausgerüstet. Weiterhin verfügt es über entsprechende Gasmesstechnik sowie über eine Motorsteuerung. Als Sicherheitssystem wird zusätzlich eine Notfackel installiert, die das Biogas auch bei längerem Ausfall des BHKW für die Umwelt schadlos verbrennt

Anmerkung:

Derzeit besteht noch keine Pilot- bzw. Versuchsanlage. Das Verfahren wurde bisher durch den Einsatz von Containern mit einem Volumen von 25 m³ getestet [12]. Diese Versuchsanlagen wurden im Juni/Juli 2004 in Betrieb genommen.

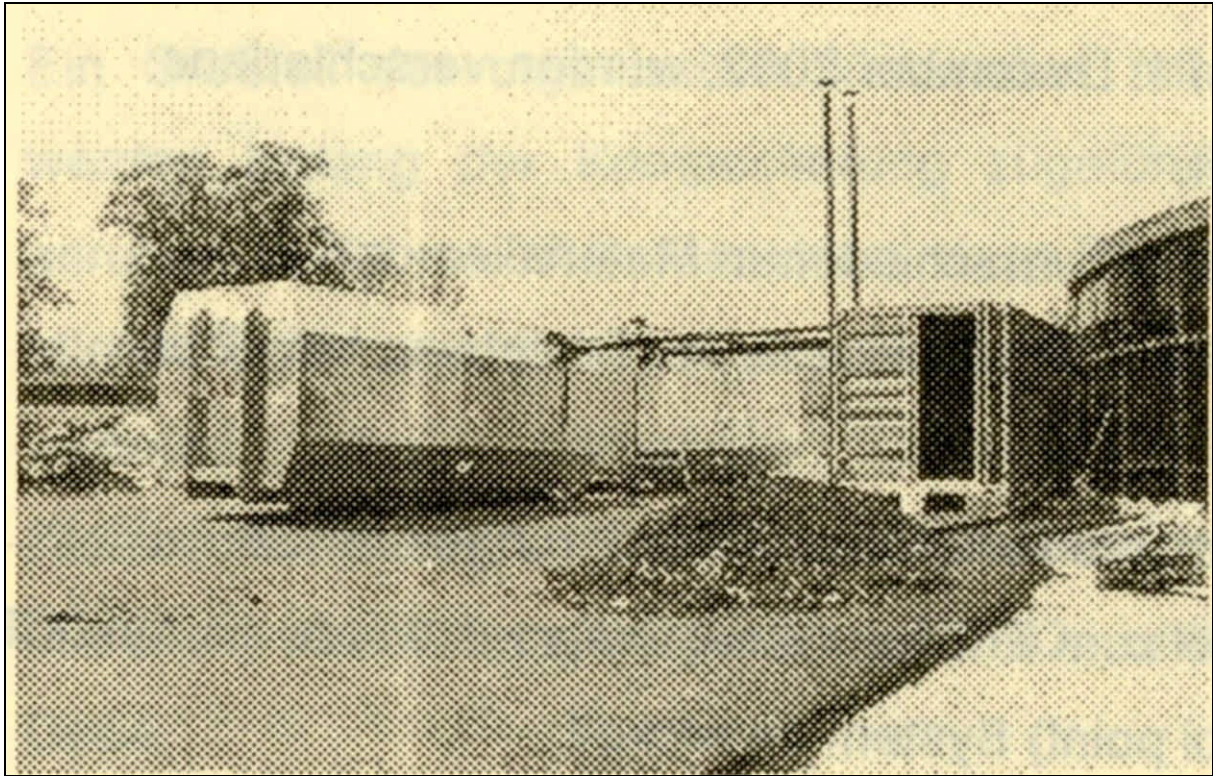


Abbildung 11: 3A-Versuchsanlage Weibern (Österreich)

1.2.1.2.2 Aufstau-Verfahren

1.2.1.2.2.1 Einstau-Feststoff-Verfahren

Bei dem vom INGENIEURBÜRO RATZKA entwickelten Vergärungsverfahren wird das zu vergärende Substrat analog zu den Garagen- bzw. zum TNS-Verfahren in boxenähnliche Fermenter eingefüllt. Es findet bei diesem Verfahren aber keine vorherige Vermischung mit bereits ausgefaultem Material statt, zudem wird auf eine Perkolierung des Substratstockes im herkömmlichen Sinne verzichtet. Die Beimpfung des Substrates geschieht durch ein periodisches Überstauen des Materials mit gespeicherter Prozessflüssigkeit. Dadurch soll eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Substratstapels erreicht werden [3].

Für eine kontinuierliche Biogasproduktion werden mehrerer Feststofffermenter zeitlich versetzt betrieben, die an der Forderseite über ein gasdicht abgeschlossenes Tor verfügen. Die Befüllung des Fermenters geschieht bei diesem Verfahren über die Oberseite des Fermenters, welche zum Start des Vergärungsprozesses mit einem Foliendach verschlossen wird. Die Beheizung des Substrates auf die notwendige Prozesstemperatur von 38 °C geschieht zum einen über eine in den Boden und in den Wänden eingebaute Heizelemente, zum anderen wird die zum Aufstauen verwendete Prozessflüssigkeit auf mesophile Temperaturbedingung aufgeheizt, um eine schnelle Substraterwärmung zu erreichen. Nach Abschluss der Gärung wird das Restgas abgesaugt und die Prozessflüssigkeit abgelassen. Zur Entleerung des Fermenters werden die Gasfolie sowie das fordere Tor geöffnet und das vergorene Material mittels Radlader dem Fermenter entnommen.

1.2.1.2.1.1 Anlagenkomponenten

Substratbeschickung

Die Beschickung der Fermenter mit den zu vergärenden Substraten erfolgt über die Oberseite des Fermenters direkt durch Radlader oder Seitenkipper (Abb. 11). Hierbei wird vor der Befüllung mit frischem Material der Fermenter zum Teil mit Prozessflüssigkeit angestaut, um eine verbesserte Durchmischung des Materials mit der Prozessflüssigkeit zu erreichen.



Abbildung 12: Befüllen des Fermenters [15]

Fermenter

Die Fermenter werden aus Stahlbeton gefertigt und verfügen auf der Rückseite über einen Wartungstunnel, in dem die Pumpen sowie die Gasarmaturen untergebracht sind. Statt einer durchgehenden Betondecke wird der Fermenter noch oben durch ein gasdichtes Foliendach abgeschlossen, das für die Fermenterbefüllung demontiert wird. Auf der Vorderseite verfügen die Fermenter über ein isoliertes sowie gasdichtes Tor, durch das der Fermenter entleert werden kann (Abb. 12).



Abbildung 13: Offener Fermenter [16]

Im Boden des Fermenters befinden sich Spaltenelemente, durch die die Prozessflüssigkeit in den Fermenter gepumpt bzw. abgelassen wird. Zur Beheizung sind die Fermenterwände ebenso wie der Boden mit Heizschlägen versehen. Auf der Rückseite des Fermenter befinden sich die Gasabsaugung sowie Messeinrichtungen.

Heizung

Die Aufheizung des Substrates erfolgt bei dem Einstau-Verfahren zunächst über die erwärmte Prozessflüssigkeit, die zu Beginn der Fermentation in den Fermenter eingestaut wird. Im weiteren Betrieb wird die Temperatur des Fermenterinhalt über die Wand- und Bodenheizung geregelt und im mesophilen Temperaturbereich (38 °C) gehalten.

Prozessflüssigkeitsspeicher / Nassfermenter

Die Bereitstellung bzw. Lagerung der benötigten Prozessflüssigkeit geschieht über herkömmliche Nassfermenter (Abb. 13). Hier wird die mit organischen Säuren angereicherte Prozessflüssigkeit abgebaut, so dass sich eine stabile Fermenterbiologie bilden kann. Der Fermenter wird aus Stahlbeton als Rundbehälter gefertigt und verfügt über ein Tragluftdach, das gleichzeitig als Gasspeicher dient. Zur Aufrechterhaltung der Prozesswärme sind die Wand- und Bodenelemente ebenfalls mit einer Heizung ausgerüstet.



Abbildung 14: Nassfermenter BGA Clausnitz [16]

Gasverwertung

Das produzierte Biogas wird aus den Fermentern nach einer Entschwefelung direkt dem BHKW zur Verwertung zugeführt. Die Foliendächer des Trockenfermenters sowie des Nassfermenters dienen dabei als Zwischenlager, so dass kein externer Gasspeicher notwendig ist. Da der Trockenfermenter zum Start des Vergärungsprozesses nicht mit Umgebungsluft gespült werden muss, ist eine direkte Gasanbindung nach dem Befüllen möglich. Hierdurch kann das gesamte Biogasaufkommen im BHKW verwendet werden, wodurch ein Biofilter zur Aufreinigung von nicht verwertbaren Gasgemischen entfällt.

BHKW

Das zur Verstromung des produzierten Biogases benötigte Blockheizkraftwerk wird in einem separaten schallgedämmten Container untergebracht. Das BHKW ist mit einer Gasregelstrecke zur Druckerhöhung sowie einem Abgaswärmetauscher und einer Notkühlanlage ausgerüstet. Wahlweise wird ein Gas-Otto- oder ein Zündstrahlmotor verbaut. Als Sicherheitssystem wird zusätzlich eine Notfackel installiert, die das Biogas bei Ausfall des BHKW verbrennt

1.2.1.3 Kontinuierliche Verfahren

Bei den kontinuierlichen Verfahren wird ähnlich wie bei der Nassvergärung das Substrat kontinuierlich bzw. in Intervallen in den Fermenter eingebracht. Die Durchmischung des Fermenterinhalt erfolgt bei diesen Verfahren entweder mechanisch, hydraulisch oder pneumatisch [3].

1.2.1.3.1 Propfenstrom-Verfahren

1.2.1.3.1.1 Trockenvergärung im Pfropfenstrom

Dieses Verfahren der Firma KOMPOGAS AG zeichnet sich durch einen liegenden Fermenter aus, in den das Substrat eingebracht wird (Abb. 14). Das Substrat wird zunächst in einem so genannten Beschicker zwischengelagert, der eine kontinuierliche Versorgung des Fermenters garantiert. Von hieraus gelangt das frische Material über einen Schneckenförderer in den Fermenter und wird dort mit schon vergorenem Material vermischt. Eine durchlaufende Rührwelle sorgt im Inneren des Fermenters für eine kontinuierliche Entgasung des Gärsubstrates. Auf Grund seiner Konsistenz und durch das ständige Einpressen von frischem Substrat durchwandert das eingebrachte Substrat den Fermenter in Längsrichtung als eine Art Pfropfen.

Die Prozesstemperatur beträgt hierbei 55 °C, liegt also im thermophilen Bereich. Die dafür benötigte Wärme wird über die Abwärme des BHKW bereitgestellt.

Das ausgefaulte Material wird zur weiteren Konditionierung einer Abpressung zugeführt und dort in eine flüssig Fraktion (Rezirkulat) und eine fest Fraktion (Rohkompost) getrennt. Das Rezirkulat wird in der Regel für die Anmischung des neuen Materials benutzt, so dass keine externen Flüssigkeiten eingesetzt werden müssen.



Abbildung 15: Verfahrenschema Pfropfenstromfermenter [KOMPOGAS]

Durch die Bau- und Betriebsweise ist bei diesem Verfahren ein hoher Automatisierungsgrad realisierbar, so dass sich die Arbeitsbelastung stark vermindern lässt. Zudem kann durch die kontinuierliche Betriebsweise im Fermenter eine stabile Bakterienpopulation aufgebaut werden, was sich positiv auf die Prozessstabilität auswirkt. Die kontinuierliche Betriebsweise führt weiterhin zu einer stabilen Biogasproduktion, wodurch auf den Bau mehrerer Fermenter verzichtet werden kann. Der hohe Technisierungsgrad dieses Verfahren wirkt sich aber auch negativ aus, denn hierdurch erhöhen sich die Investitionskosten gegenüber den diskontinuierlichen Verfahren. Weiterhin ist der Wartungsaufwand insbesondere des Rührwerkes erheblich, da hier, bedingt durch den hohen Trockenmassegehalt des Fermenterinhalt, enorme Scherkräfte wirken.

Derzeit wird das Verfahren erfolgreich in der Bioabfall- bzw. Reststoffvergärung eingesetzt, entsprechende landwirtschaftliche Anlagen sind derzeit noch nicht in Bau.

Anlagenkomponenten

Substratbeschickung

Das Substrat wird bei dem Pfropfenstrom-Verfahren zunächst einem Beschickungsdosierer zugeführt. Die Größe des Beschickers ist so ausgelegt, dass ca. zwei Tageschargen zwischengelagert werden können. Dadurch wird eine kontinuierliche Beschickung der Anlage auch an arbeitsfreien Tagen sichergestellt. Der Beschicker hat eine Länge von 25 Metern sowie eine Breite von 3,5 Metern. Das Nutzvolumen beträgt ca. 260 m³.

Der Beschickungsdosierer verfügt über einen Schubbodenantrieb und einer Fräseinrichtung zur Auflockerung des Materials, die Befüllung des Beschickers wird mittels Radlader oder Teleskoplader vorgenommen.

Fermenter

Die Fermenter werden aus Stahlbeton gefertigt und sind als liegende Pfropfenstromfermenter ausgeführt. Die Innenmaße in Metern des Fermenters betragen üblicherweise 6,1 x 6,6 x 32 (B x H x T). Der Fermenter ist mit einem Heizmantel ausgerüstet und wärmeisoliert. Die Außenseite wird durch Trapezbleche verkleidet. Weiterhin ist der Fermenter mit einer durchlaufenden, horizontalen Rührwelle inklusive Planetengetriebe und einer Drehmomentüberwachung ausgerüstet, die ein gleichmäßiges Entgasen des Gärgutes sicherstellt.

Zur Substratbeschickung ist der Fermenter mit einem Dosierer mit Gewichtserfassung ausgerüstet, in dem verschieden Substrate vermischt und der für die Fermentation optimale TS-Gehalt eingestellt werden. Der Eintrag in den Fermenter geschieht anschließend über eine hydraulische Kolbenpumpe.

Zur Aufheizung des frischen Substrates ist in der Substrateitung zwischen Dosierer und Fermenter ein Doppelmantelwärmetauscher eingebaut, der das Substrat auf die gewünschte Prozesstemperatur von 55 °C erwärmt.

Je nach elektrischer Leistung der Biogasanlage werden ein oder mehrere Fermenter benötigt.

Entwässerung / Presswassersystem

Das vergorene Substrat wird am Ende des Fermenters durch eine hydraulische Austragspumpe dem Fermenter entnommen und einer anschließenden Entwässerung zugeführt. Die Entwässerung des Gärrückstandes erfolgt in Siebschneckenpressen mit hydraulischen Stauklappen. Die flüssige Fraktion gelangt anschließend in einen Absetztank, der gleichzeitig als Presswasser-Beschickungstank dient. Von hier aus gelangt das Presswasser über eine Dosierpumpe in den Substratdosierer, in dem das Presswasser zur Befeuchtung des Inputmaterials eingesetzt wird. Zur Aufbereitung des Presswassers sowie des Überschußwassers wird ein Dekanter eingesetzt, welcher mit einer Zuführpumpe sowie Volumenstrommessung und Vorortsteuerung ausgerüstet wird. Das so aufbereitete Wasser kann als Flüssigdünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Der anfallende Presskuchen fällt direkt aus der Schneckenpresse in den vorgesehenen Lagerbereich.

Heizung

Die Bereitstellung der notwendigen Heizenergie für die Biogasanlage erfolgt über die Abwärme des BHKW. Das Substrat wird zum einen mittels Doppelmantelwärmetauscher vor dem Einbringen in den Fermenter auf die Prozesstemperatur von 55 °C erwärmt. Im Fermenter wird durch einen in die Fermenterwandung eingebauten Heizmantel diese Temperatur aufrechterhalten.

Gasspeicher

Bei dem Pfropfenstrom-Verfahren wird das produzierte Biogas direkt aus dem Fermenter abgezogen und dem BHKW zur Verwertung zugeführt. Dadurch ist kein externer Gasspeicher notwendig.

BHKW

Das Blockheizkraftwerk wird als komplettes Modul in einem Normcontainer anschlussfertig geliefert. Das BHKW ist mit Gasmengenmessung, einem Druckerhöhungsgebläse, Abgaskamin, Motorkühlung, Wärmerückgewinnung, einer Gasregelstrecke sowie einer Steuereinheit ausgerüstet.

Zur sicheren Verbrennung des Biogases wird weiterhin eine Gasfackel installiert, die als Backup-System bei Ausfall des BHKW dient.

Außerdem ist das BHKW mit einer Propangasinstallation ausgestattet, mit der die für den Anfahrbetrieb nach Befüllen der Anlage benötigte Heizenergie bereitgestellt werden kann. Der entsprechende Propangastank wird bauseitig angemietet

Mess- und Regeltechnik

Die Anlagensteuerung wird ähnlich wie das BHKW in einem Normcontainer untergebracht und fertig verdrahtet geliefert. Hierin sind sowohl die automatische Überwachung als auch die Regelung und Steuerung der Biogasanlage unterbracht.

Die Steuerung der Biogasanlage erfolgt über eine SPS-Steuerung inklusive Prozessvisualisierung und Bedienpanel. Im Störfall wird das Betriebspersonal über Warnhorn, Lichtsignal oder Telefon benachrichtigt. Die wichtigsten Betriebsparameter werden von der Anlagensteuerung erfasst und dokumentiert.

1.2.1.3.1.2 LINDE-LARAN-Propfenstromprinzip®

Bei dem LINDE-LARAN-Verfahren wird die zu vergärende Biomasse zunächst mit schon vergorenem Material bzw. abgepresstem Gärrückstand vermischt, um eine homogene und pumpbare Mischung zu erhalten. Im Anschluss wird das Substratgemisch dem liegenden LARAN-Fermenter zugeführt und dort vergoren (Abb. 15). Im Fermenter sind mehrere Rührwerke quer zur Strömungsrichtung des Fermenterinhalt angeordnet, die für die Durchmischung des Gärsubstrates sorgen. Hierbei wird die Drehrichtung der Rührwerke periodisch umgekehrt, so dass durch die Rührwerke kein Substrattransport innerhalb des Fermenters durchgeführt wird.

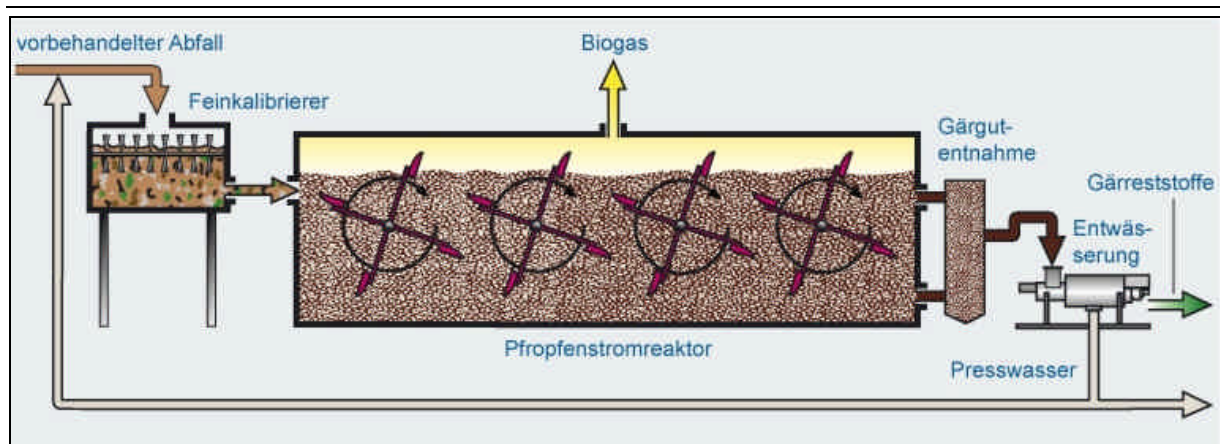


Abbildung 16: LINDE-LARAN-Fermenter® (Linde-KCA)

Der Substrattransport geschieht bei diesem Verfahren über das eingebrachte Substrat, das sich dadurch wie ein Pfropfen durch den Fermenter schiebt und sich dabei mit dem übrigen Material nur wenig vermischt. Am Ende des Fermenters wird das vergorene Substrat entnommen und mittels Separatoren entwässert. Das Presswasser dient dann wiederum als Prozesswasser für die Anmischung des frischen Substrates und wird entsprechend rezirkuliert. Derzeit befinden sich zwei Anlagen im landwirtschaftlichen Bereich im Bau.

1.2.1.3.1.2.1 Anlagenkomponenten

Substratbeschickung

Das Substrat wird über eine Eintragsschnecke in den Fermenter gebracht. Zur Einstellung eines stabilen Trockenmassegehaltes im Fermenter, kann optional rezirkuliertes Presswasser in den Fermenter eingebracht werden.

Zur besseren Anlagenautomatisierung sowie zur kontinuierlichen Versorgung mit Frischsubstrat, ist die Anlage mit einem Substratbunker ausgestattet, in dem das Substrat vor der Vergärung zwischengelagert werden kann (z.B. Tageschargen).

Fermenter

Als Fermenter kommt ein liegender Stahlfermenter zum Einsatz, der im Inneren einen rechteckigen Querschnitt aufweist. Der Fermenter kann sowohl im mesophilen (38 °C) als auch im thermophilen (55 °C) Temperaturbereich betrieben werden. Die Beheizung findet hierbei durch in den Fermenterboden und -wänden integrierte Heizelemente statt. Zur besseren Wärmeausnutzung ist der Fermenter nach Außen isoliert und verkleidet.

Der Fermenter ist mit mehreren quer zur Strömungsrichtung des Substrates angebrachten Rührwerken ausgestattet, die ein stetiges Durchmischen sowie eine aktive Zerstörung von Schaum und Schwimmschichten sicherstellen. Bei den Rührwerken handelt es sich um so genannte Langsamläufer, die zusätzlich mit Drehmomentstützen ausgestattet sind. Hierdurch können im Fermenter hohe Trockensubstanzgehalte erzielt werden.

Entwässerung / Presswassersystem

Nach Durchwandern des Fermenters, wird das Substrat entnommen und der Entwässerung zugeführt. Der Gärrückstand wird hier durch einen Siebschnecken-Separator in eine flüssige und eine feste Fraktion getrennt. Das Filtrat wird im Anschluss rezirkuliert und als Prozessflüssigkeit zur Einstellung des Trockenmassegehaltes im Fermenter verwendet. Der Presskuchen sowie das restliche Presswasser kann als Dünger bzw. Bodenverbesserer eingesetzt werden.

Heizung

Das Substrat wird im Fermenter über integrierte Heizelemente in den Fermenterwänden und im Fermenterboden auf die geforderte Prozesstemperatur (38 °C oder 55 °C) erwärmt. Die hierzu erforderliche Wärmeenergie wird über den Kühlkreislauf des Blockheizkraftwerkes bereitgestellt. Die Anlage ist zu diesem Zweck mit einer Wärmeverteilung ausgestattet, die die verschiedenen Wärmeverbraucher steuert.

Gasspeicher

Das entstehende Biogas wird im Gasraum des Fermenters zwischengelagert und im Anschluss nach einer Entschwefelung direkt an das BHKW abgegeben. Eine Zwischenlagerung in einem externen Gasspeicher entfällt dadurch.

BHKW

Je nach Größe bzw. elektrischer Leistung werden entweder Zündstrahl-Aggregate oder Gasmotoren eingesetzt. Das Blockheizkraftwerk wird dabei anschlussfertig geliefert in einem Normcontainer geliefert. Das BHKW ist neben der entsprechenden Messtechnik und Motorsteuerung auch mit einem Verdichter-Gebläse sowie einer Gasregelstrecke inklusive Gaskühler ausgestattet und wird an die Gas- sowie Wärmeversorgung angeschlossen.

1.2.1.3.2 Silo-Verfahren

1.2.1.3.2.1 Dranco-Verfahren



Abbildung 17: Dranco-Vergärungsanlage Bassum

Abweichend zum Pfropfenstrom-Verfahren arbeitet dieses Verfahren der Firma OWS aus Belgien mit stehenden zylindrischen Fermentern ohne mechanische Durchmischung des Fermenters (Abb. 16).

Das Substrat wird bei diesem Verfahren zunächst mit bereits ausgefaultem Material vermischt und anschließend von oben in den Fermenter eingebracht (Abb. 17). Das Substratgemisch durchwandert dann den Fermenter nach unten und wird währenddessen abgebaut. Zur besseren Durchmischung wird ausgegorenes Fermentermaterial (bis zu 80 %) mittels einer Pumpe rezykliert. Der Gärrückstand wird anschließend über einen Schneckenförderer am Fermenterboden entnommen.

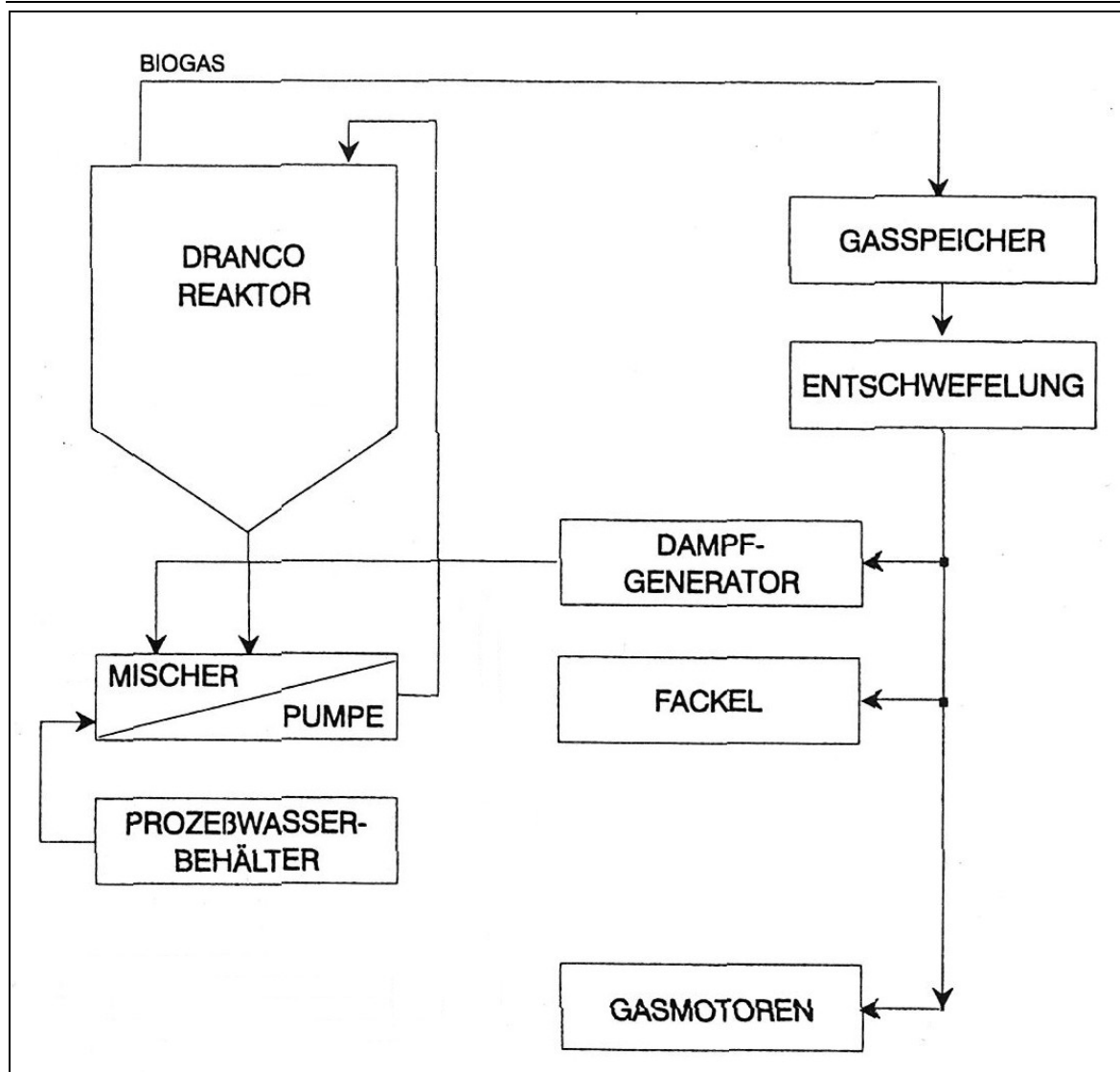


Abbildung 18: Fließbild Dranco-Verfahren (schematisiert)

Auch hier wird durch die kontinuierliche Beschickung mit Substrat eine konstante Biogasproduktion erreicht, wodurch ein BHKW auch mit nur einem Fermenter sicher betrieben werden kann. Zudem lässt dieses Verfahren durch die gute Technisierung einen hohen Automatisierungsgrad zu, wodurch die Arbeitsbelastung des Anlagenbetreibers möglichst gering gehalten werden kann. Wie beim Pfropfenstrom-Verfahren führt jedoch die gute Technisierung zu erheblichen Investitions- und Wartungskosten. Durch die hohen Mengen an Rücklaufmaterial wird zudem das aktive Fermentervolumen stark reduziert, wodurch ein im Vergleich größerer Fermenter gebaut werden muss, was wiederum höhere Investitionskosten nach sich zieht.

1.2.1.3.2.1.1 Anlagenkomponenten [17]

Substratbeschickung / Mischer

Das Substrat wird beim Dranco-Verfahren vor der Einbringung in den Fermenter in einem Mischer mit bereits vergorenem Fermentermaterial vermischt. Im Anschluss wird das nun pumpbare Substratgemisch mittels Kolbenpumpe über eine Befüllleitung im Inneren des Fermenters in den oberen Fermenterbereich gefördert, von wo es den Fermenter nach unten durchwandert und dabei zu Biogas abgebaut wird.

Die Beschickung des Mixers findet über einen Schubboden bzw. Walkingfloor statt, wodurch eine kontinuierliche Befüllung des Fermenters realisiert werden kann.

Fermenter

Bei dem Dranco-Verfahren werden stehende Fermenter aus Stahl eingesetzt. Die Fermenter verfügen über keine Einbauten, lediglich die Befüllleitung liegt im Inneren des Fermenters. Dies hat den Vorteil, dass eine zusätzliche Isolierung der Zuführleitung nicht notwendig ist. Der Fermenter ist wärmeisoliert und mit Profilblechen verkleidet, jedoch findet eine aktive Beheizung des Fermenterinhalts nicht statt.

Zur besseren Durchmischung der frischen Substrate wird bei diesem Verfahren ein großer Anteil an Gärrest verwendet, der in der Anlage zirkuliert. Dadurch erreicht man auch eine gewisse Vorerwärmung des Substrates. Die übrige Wärme wird über einen Dampfgenerator bereitgestellt.

Entwässerung / Presswassersystem

Das vergorene Substrat wird am Ende des Fermenters durch einen Schneckenförderer dem Fermenter entnommen und zur besseren Durchmischung des Fermenters rezirkuliert. Fermentermaterial, welches nicht zur Rezirkulation benötigt wird, wird anschließend einem Separator zugeführt. Der flüssige Gärrest kann als Dünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Der Presskuchen wird aufbereitet und kann als Bodenverbesserer oder Kompost vermarktet werden.

Heizung

Die Bereitstellung der notwendigen Wärmeenergie für die Biogasanlage erfolgt über einen Dampfgenerator, der über den Abgasstrom des BHKW betrieben wird. Das Substrat wird vor dem Einbringen in den Fermenter bereits im Mischer auf die Prozesstemperatur von 55 °C (thermophil) erwärmt.

Gasspeicher

Die Lagerung des produzierten Biogases geschieht über einen externen Doppelmembran-Folienspeicher, eine Gasspeicherung im Gasraum des Fermenters findet nicht statt. Vor der Verwertung im BHKW wird das Biogas zunächst entschwefelt und analysiert.

BHKW

Das Blockheizkraftwerk wird als komplettes Modul in einem Normcontainer anschlussfertig geliefert. Das BHKW ist mit Gasmengenmessung, einem Druckerhöhungsgebläse, Abgaskamin, Motorkühlung, Wärmerückgewinnung, einer Gasregelstrecke sowie einer Steuereinheit ausgerüstet.

Wird nur ein Motor verbaut wird zur sicheren Verbrennung des Biogases weiterhin eine Gasfackel installiert, die als Backup-System bei Ausfall des BHKW dient. Es wird aber auch eine Mehr-Motor-Lösung angeboten, bei der mehrere kleinere Motoren für die nötige Ausfallsicherheit sorgen.

Mess- und Regeltechnik

In einem zentralen Gebäude werden neben der Niederspannungsversorgung auch die Wasseraufbereitung, die Hydraulikanlage, der Dampfgenerator und die Hydraulikanlage untergebracht. Weiterhin wird von hier die Wärmeversorgung der Anlage und externen Verbraucher gesteuert. Die Anlagensteuerung ist in einem separaten Controllraum untergebracht und verfügt über eine rechnergestützte Prozessvisualisierung.

1.2.1.3.2.2 Sonstige Verfahren

Neben den aus der Biomüllbehandlung stammenden und adaptierten Verfahren sollen hier auch diejenigen Verfahren erläutert werden, die aus der Nassfermentation stammen und für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen ohne Einsatz externer Flüssigkeiten, wie z.B. Gülle oder Regenwasser, betrieben werden können. Diese Anlagen arbeiten meistens mit einem liegenden Fermenter, in dem das Substrat eingetragen wird und einem angeschlossenen stehenden Behälter, der als Nachgärstufe fungiert. Hierbei werden Fermenter sowie Nachgärer mit einem oder mehreren Rührwerken durchmischt, wobei die Rührfähigkeit des Fermenterinhalt über interne Zirkulation des Gärrückstandes aus dem Nachgärer erreicht wird. Stellvertretend für diese Verfahren wird an dieser Stelle das Verfahren der SCHMACK BIOGAS AG erläutert, die dieses Verfahren schon in mehreren landwirtschaftlichen Anlagen einsetzen. Hierbei erfolgte die Auswahl lediglich auf Grund der Anzahl der realisierten Anlagen und stellt **keine** Gewichtung oder Favorisierung dar.

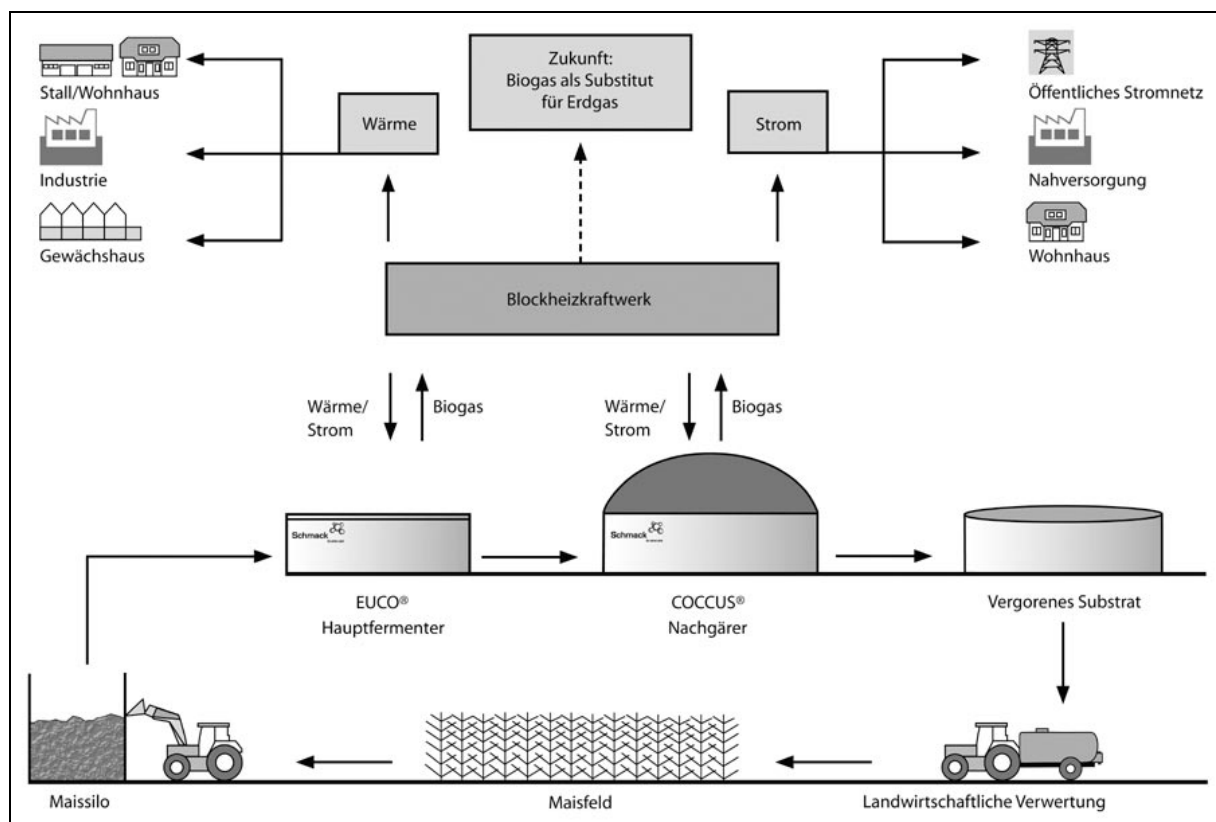


Abbildung 19: Anlagenschema Euco®-Anlagensystem (SCHMACK-BIOGAS AG)

Bei dem von der SCHMACK BIOGAS AG eingesetzten EUCO® Titan-Anlagensystem wird das Substrat über eine spezielle Feststoff-Einbringtechnik (Typ: PASCO®) in den liegenden EUCO® TS-Fermenter eingebracht und dort mit rezirkuliertem Gärrückstand vermischt. Die Durchmischung erfolgt über eine langsam laufende Rührwelle, die über Rührpaddel verfügt und längs in den Fermenter eingebaut wird. In das Rührwerk ist eine Heisswasserheizung integriert, über die das Substrat erwärmt wird. Im Anschluss gelangt das nun pumpbare Substrat in den Nachgärbehälter (Typ: COCCUS®) und wird dort weiter vergoren. Der Nachgärer ist mit einem Langachsührwerk ausgerüstet, um eine Durchmischung des Behälterinhalts zu garantieren. Nach der Vergärung wird der Gärrückstand in ein Gärrestlager gepumpt, wo es bis zur Ausbringung als Dünger verbleibt. Das für die Befeuchtung des eingebrachten Substrats notwendige Rezirkulat wird direkt dem Nachgärer entnommen und in den Fermenter gepumpt. Das produzierte Biogas wird vor der Verwendung im BHKW im Gasraum des Nachgärs zwischengespeichert. Hier findet auch die Entschwefelung des Biogases statt.

1.2.1.3.2.2.1 Anlagenkomponenten

Substratbeschickung

Das frische Substrat wird über eine Förderschnecke in den Fermenter eingebracht. Zur besseren Automatisierung wird das Substrat zunächst in einen Substratbunker gefüllt, der als Puffer dient und eine kontinuierliche Versorgung des Fermenters mit Substrat garantiert.

Fermenter (EUCO® TS)

Der Fermenter ist als liegender Pfropfenstromfermenter ausgeführt. Zur besseren Durchmischung des eingebrachten Frischsubstrats dient ein horizontal angebrachtes Zentralrührwerk, das mit mehreren Rührpaddeln ausgerüstet ist. Über das Rührwerk erfolgt zudem die Beheizung des Fermenterinhalt auf die für die Mikroorganismen notwendige Temperatur (38 °C). Die Durchmischbarkeit wird im Fermenter durch Zugabe von bereits vergorenem Gärrückstand gesteuert.

Nachgärer (COCCUS®)

Im Anschluss an den Fermenter wird das zum Teil vergorene Substrat in einen Nachgärer gepumpt, in dem der restliche Abbau des organischen Materials stattfindet. Der Nachgärer ist im Gegensatz zum Fermenter als stehender Betonfermenter mit Tragluftdach gebaut und verfügt über ein schräg angebrachtes Langachs-Rührwerk. Die Beheizung des Substrats erfolgt hier über im Boden bzw. der Fermenterwand integrierte Heizelemente, so dass sich die Lebensbedingungen der Mikroorganismen nicht ändern.

Weiterhin wird aus dem Nachgärer Material für die Befeuchtung des Frischsubstrats entnommen und über Pumpen wieder in den Fermenter befördert.

Heizung

Die Beheizung der Behälter erfolgt über die Abwärme bzw. den Kühlkreislauf des BHKW. Hierzu wird über eine Wärmeverteilung die notwendige Wärmeenergie an das beheizte Rührwerk des Fermenters bzw. an die Wand- und Bodenheizung des Nachgärers abgegeben. Darüber hinaus verfügbare Wärme kann durch externe Verbraucher verwendet werden.

Gasspeicherung

Die Speicherung des produzierten Biogases erfolgt im Wesentlichen im Gasraum des Nachgärers, in dem das Biogas auch entschwefelt wird. Auf Grund der begrenzten Kapazität ist jedoch nur eine kurze Zwischenlagerung möglich, bevor das Biogas zur Verwertung an das BHKW abgegeben wird. Ein externer Gasspeicher wird jedoch nicht benötigt.

BHKW

Das Blockheizkraftwerk wird als komplettes Modul in einem separaten, schallgedämmten Gebäude untergebracht. Das BHKW verfügt über ein Verdichtergebläse, Gaskühlung sowie einer Gasregelstrecke. Bei Ausfall des BHKW wird das Biogas über eine Gasfackel, die als Backup-System dient, verbrannt.

Mess- und Regeltechnik

Die Steuerung der Anlage geschieht über ein rechnergestütztes Prozessleitsystem, welches in einem Gebäude auf der Stirnseite des Fermenters untergebracht ist. Weiterhin sind hier auch die Pumpentechnik sowie Wärmeverteilung und der Antrieb des Fermenterrührwerks untergebracht. Die Gasmesstechnik und Gasmengenerfassung ist ebenfalls hier verbaut und an das Prozessleitsystem zur Dokumentation der Daten angeschlossen.

1.2.1.4 Referenzlisten

Im Folgenden werden bereits in Betrieb bzw. im Bau befindliche Anlagen der hier vorgestellten Anlagensysteme aufgeführt, um dem Leser einen Überblick über bereits realisierte Biogasanlagen zu geben. Die Nennung der Hersteller bzw. die Auflistung der einzelnen Biogasanlagen stellt dabei keine Reihung bzw. Bewertung dar, sondern ergibt sich aus der alphabetischen Reihenfolge.

1.2.1.4.1 BEKON

Projektname:		
Adresse:	Kaiserslautern	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	330 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	7.000 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Trockenfermenter:	5 St.	mesophil
Voraus. Inbetriebnahme:	Herbst 2006	

1.2.1.4.2 BIOFERM

Projektname:		
Adresse:	Theißen, Johannes Schwalmtal	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	90 kW + 150 kW	Caterpillar
Jährlicher Durchsatz an Frischmassen:	2.400 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	6.000 t	
Art der Frischmasse:	NawaRo, Rinder- Hähnchenmist	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	4 St.	
Länge:	12 m	
Breite:	6 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,5 m
Inbetriebnahme:	Juni 2004	

Projektname:	Werner Kübler	
Adresse:	Kammerstein	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	2 x 100 kW	MAN
Jährlicher Durchsatz an Frischmassen:	3.300 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	10.990 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	4 St.	
Länge:	26 m	
Breite:	5,5 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,8 m
Inbetriebnahme:	August 2005	

Projektname:	Meyer - Boeck	
Adresse:	Uelzen	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	350 kW	Jenbacher
Jährlicher Durchsatz an Frischmassen:	7.100 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	23.600 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	6 St.	
Länge:	30 m	
Breite:	6 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,5m
Inbetriebnahme:	September 2005	

Projektname:	Andreas Ziegler		
Adresse:	Mauer		
Leistungsangaben:			
Installierte elektr. Leistung:	180 kW		
Jährlicher Durchsatz an Frischmassen:	4.600 t		
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	15.333 t		
Art der Frischmasse:	NaWaRo		
Auslegungsdaten:			
Anzahl der Fermenter:	4 St.		
Länge:	29 m		
Breite:	6 m		
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,6 m	
Inbetriebnahme:	April 06		

Projektname:	Robert Engl		
Adresse:	Wenzenbach		
Leistungsangaben:			
Installierte elektr. Leistung:	100 kW		
Jährlicher Durchsatz an Frischmassen:	2.500 t		
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	8.333 t		
Art der Frischmasse:	NaWaRo		
Auslegungsdaten:			
Anzahl der Fermenter:	2 St.		
Länge:	30 m		
Breite:	6 m		
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,6 m	
Inbetriebnahme:	April 2006		

Projektname:	Jakob	
Adresse:	Iffezheim	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	170 kW	Jenbacher
Gesamtfeuerungswärmeleistung:	476 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	7.000 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	23.333 t	
Art der Frischmasse:	Rindermist, NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	4 St.	
Länge:	20 m	
Breite:	6 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,5 m
voraussichtl. Inbetriebnahme:	Mai 2006	

Projektname:	Geflügelhof Aigner	
Adresse:	Schönau	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	130 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	3.700 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	12.333 t	
Art der Frischmasse:	Hühnermist, NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	4 St.	
Länge:	20 m	
Breite:	6 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,5 m
voraussichtl. Inbetriebnahme:	Mai 2006	

Projektname:	BUND Hof-Wendbüdel	
Adresse:	Prinzhöfte	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	45 kW	Hochreiter
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	1.300 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	4.500 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	2 St.	
Länge:	16 m	
Breite:	6 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,5 m
Baubeginn:	April 2006	

Projektname:	Josef Gleißner	
Adresse:	Störnstein	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	100 kW	Vökl
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	2.000 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	6.750 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	2 St.	
Länge:	26 m	
Breite:	6 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,5 m
Baubeginn:	April 06	

Projektname:	Albert Helm	
Adresse:	Pechbrunn	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	100 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	1.770 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	6.000 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	2 St.	
Länge:	21 m	
Breite:	6 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,5 m
Baubeginn:	April 2006	

Projektname:	Siemke	
Adresse:	Dannenberg	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	500 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	10.000 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	33.000 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	7 St.	
Länge:	30 m	
Breite:	7 m	
Höhe:	4 m	Füllhöhe: 2,8 m
Baubeginn:	April 2006	

1.2.1.4.3 Ingenieurbüro Ratzka

Projektname:	Agrargen. „Bergland“ Clausnitz e.G.	
Adresse:	Clausnitz	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	440 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	3.500 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	27.000 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo, Rindergülle	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Trockenfermenter:	4 St.	mesophil
Anzahl der Nassfermenter:	2 St.	mesophil
Volumen Nassfermenter:	je 1.200 m ³	
Voraus. Inbetriebnahme:	Dezember 2006	

1.2.1.4.4 KOMPOGAS /MPE

Derzeit in Deutschland noch keine im Bau befindlichen Anlagen im landwirtschaftlichen Bereich.

1.2.1.4.5 Linde-KCA GmbH

Projektname:		
Adresse:	Zittau	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	k.A.	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	30.000 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo	
Voraus. Inbetriebnahme:	2006	

Projektname:	
Adresse:	Malchin
Leistungsangaben:	
Installierte elektr. Leistung:	k.A.
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	25.000 t
Art der Frischmasse:	NaWaRo
Voraus. Inbetriebnahme:	2006

1.2.1.4.6 LOOCK CONSULTANS

Projektname:		Agrargenossenschaft Pirow eG
Adresse:	Pirow	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	500 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	ca. 13.000 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo, Gülle, Festmist	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Trockenfermenter:	4 St. (je 150 m ³)	mesophil
Anzahl der Nassfermenter:	1 St. (1.500 m ³)	mesophil
Anzahl Nachgärer:	1 St. (1.500 m ³)	
Anzahl Reststofflager:	1 St. (2.560 m ³)	
Inbetriebnahme:	2003	
Konzeptänderung:	2005	

Projektname:	
Adresse:	Friedersdorf
Leistungsangaben:	
Installierte elektr. Leistung:	500 kW
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	ca. 9.000 t
Art der Frischmasse:	NaWaRo
Auslegungsdaten:	
Anzahl der Trockenfermenter:	8 St. mesophil
Prozesswasserspeicher:	1 St. thermophil
Voraus. Inbetriebnahme:	August 2006

1.2.1.4.7 O.W.S.

Projektname:		
Adresse:	Bassum	
Leistungsangaben:		
Installierte elektr. Leistung:	500 kW	
Jährlicher Durchsatz Frischmassen:	12.500 t	
Jährlicher Durchsatz Gesamtmassen:	12.500 t	
Art der Frischmasse:	NaWaRo, Festmist	
Auslegungsdaten:		
Anzahl der Fermenter:	1 St.	thermophil
Durchmesser:	8,5 m	
Höhe:	25 m	
Volumen:	1.200 m ³	
Voraus. Inbetriebnahme:	Dezember 2006	

1.2.1.4.8 PROFACTOR GMBH

Derzeit in Deutschland noch keine im Bau befindlichen Anlagen im landwirtschaftlichen Bereich.

1.2.1.4.9 SCHMACK BIOGAS AG

In Deutschland befinden sich mehrere Biogasanlagen in Betrieb bzw. im Bau, die ausschließlich nachwachsende Rohstoffe ohne den Einsatz von externen Flüssigkeiten verarbeiten. Jedoch wurden vom Hersteller bis zur Fertigstellung des Berichts keine Referenzanlagen genannt.

Literaturverzeichnis zum Abschnitt 1

- [1] Gronauer, A.; Aschmann, V.: Trockenfermentation und nachwachsende Rohstoffe; in: Innovationen in der Biogastechnologie; 2. gem. Fachtagung der Regierung Niederbayern und der Fachhochschule Deggendorf; Deggendorf 2004
- [2] Weiland, P.: Stand der Technik bei der Trockenfermentation – Zukunftsperspektiven; in: Gülzower Fachgespräche, Band 23: „Trockenfermentation – Evaluierung des Forschungs- und Entwicklungsbedarfs“; Gülzow 2004
- [3] Weiland, P.: Stand der Technik bei der Trockenfermentation – Aktuelle Entwicklungen; in: Gülzower Fachgespräche, Band 24: „Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiterer F&E-Bedarf“; Gülzow 2006
- [4] Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen; Oldenbourg Verlag München, Wien, 1986
- [5] Braun, R.: Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe; Springer Verlag Wien, New York, 1982
- [6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [Hrsg]: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung; Gülzow 2004
- [7] Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland“, Gülzower Fachgespräche, Band 15: „Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; Weimar 2000
- [8] Schattner, S.; Gronauer, A.: Methangärung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen; Gülzower Fachgespräche, Band 15: „Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; Weimar 2000
- [9] Wellinger, A.; Baserga, U.; Edelmann, W.; Egger, K.; Seiler, B., Biogas-Handbuch, Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen; Verlag Wirz – Aarau, 1991
- [10] Mudrack, K.; Kunst, S.: Biologie der Abwasserreinigung; 5. Auflage; Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, Berlin 2003
- [11] Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; VDI-Verlag 2001
- [12] Sirch, M.: 3A-Biogas – Entwicklung einer Trockenfermentation: Komposterzeugung mit Energiegewinnung; Tagungsband zum 13. Symposium „Energie aus Biomasse“ (Hrsg.: OTTI); Regensburg, 2004

-
- [13] Tscherpel, B.: Energetische Verwertung von Biomasse aus der Landwirtschaft nach dem 3A-Verfahren; in: 5. Dialog „Abfallwirtschaft M-V“, Tagungsband; Rostock 2002
- [14] KOMPOGAS; Firmenprospekt
- [15] Ratzka, P.: Erste Betriebserfahrungen bei der Vergärung nachwachsender Rohstoffe in der Feststoff-Biogasanlage Clausnitz; Präsentation, Leipziger Biogas-Fachgespräche 2004/2005; Leipzig 2005
- [16] Ratzka, P.: Feststoff-Biogasanlage Clausnitz, Persönliche Mitteilung, 2006
- [17] Brunner, W.; Dranco-Biogasanlage Bassum; Persönliche Mitteilung, 2006