



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Schlussbericht Januar 2011

Evaluation und Auswahl einer Feststoffanlage zur Biogasproduktion

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm: Forschung und Entwicklung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Nova Energie GmbH
Châtelstrasse 21
CH-8355 Aadorf
www.novaenergie.ch

Autoren:

Nathalie Bachmann, EREP SA/Nova Energie, nathalie.bachmann@novaenergie.ch
Arthur Wellinger, Nova Energie, arthur.wellinger@novaenergie.ch

BFE-Bereichsleiter: Sandra Hermle

BFE-Programmleiter: Sandra Hermle

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154511 / 103419

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Die Vergärung von Feststoffen in landwirtschaftlichen Betrieben bietet dem Biogasmarkt in der Schweiz neue Optionen, da auf einer Mehrzahl von Bauernbetrieben Festmist anfällt und dieser in Flüssiganlagen nur begrenzt vergärt werden kann. Gegenüber der Flüssigvergärung bringt die Feststoffvergärung Vorteile in Bezug auf die Ammoniakemissionen beim Ausbringen und der Gärgutqualität.

Auf dem Hof von Herrn Schenewey in Belfaux (FR) sollen der anfallende Festmist seiner Poulet- und Putenmast in Bodenhaltung sowie Substrate aus der nahen Umgebung in einem Feststoff-Fermenter vergärt werden. In diesem Zusammenhang wurde eine umfangreiche Studie zu bestehenden Feststoffverfahren und deren Umsetzung auf einem kleinen Betrieb erarbeitet. Dabei wurde auf die Energieeffizienz, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit geachtet.

Von Seitens der Hersteller von Feststoffanlagen besteht generell wenig Interesse zum Bau von kleinen Anlagen. Der Trend liegt bei Industriell ausgerichteten Grossanlagen, welche höhere Gewinnmargen versprechen.

Die evaluierten Verfahren sind entweder nicht marktreif bzw. nicht genügend entwickelt, bieten keine Kleinanlagen an oder sind viel zu teuer, um selbst tragend laufen zu können. Aufgrund dieser schlechten Marktsituation wurde für Herr Schenewey schliesslich eine Flüssiganlage vorgeschlagen. Damit der Festmist trotzdem vergärt werden kann, wurden Verfahren zur Vorbehandlung von strohhaltigen Substraten erhoben. Seit kurzem sind verschiedene Desintegrationssysteme für NaWaRos auf den Markt gekommen, die auch für Mist geeignet sind und somit eine Alternative zu einer Feststoffanlage bieten können.

In der empfohlenen Anlage werden Hühnermist, Rindergülle und Produktionsrückstände vergärt (gesamt 3310 t/a) und rund 800'000 kWh brutto, bzw. 296'000 kWh Strom produziert. Sie besteht aus einer einfachen Vorzerkleinerung des Hühnermists, Hygienisierung der Produktionsrückstände, Vorgrube, Faulturm, Gärgutlager und Gasverwertung. Eine erste Wirtschaftlichkeitsrechnung zeigt eine ausgeglichene Bilanz ohne Unternehmensgewinn. Eine genauere Analyse sollte daher durchgeführt werden.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Zielsetzungen und Vorgehen	5
3.	Auslegung und Integration der Anlage	6
3.1.	Hof Schenewey und Anlagestandort	6
3.2.	Energiebedarf des Hofes	6
3.3.	Substrate und Gaspotential	8
4.	Szenarien	9
5.	Grundlagen und Erfahrungswerte	10
5.1.	Literatur zur Feststoffvergärung	10
5.2.	Grundlagen	10
5.2.1.	<i>Kontinuierliche Verfahren</i>	11
5.2.2.	<i>Diskontinuierliche Verfahren</i>	11
5.3.	Hersteller und Verfahren	12
5.3.1.	<i>Begleitmessungen</i>	12
5.3.2.	<i>Anlagenbesuche</i>	13
6.	Richtofferten	13
6.1.	Kontakt mit den Herstellern	13
6.2.	Bilanz der Offerten	14
7.	Substrat-Vorbehandlung	15
8.	Auswahl und Evaluation	17
8.1.	Auswertung der Studie	17
8.2.	Konzept der Anlage	18
8.3.	Energiebilanz	19
8.4.	Wirtschaftlichkeit	19
9.	Folgerungen und Perspektiven	21
10.	Literaturübersicht	22

ANHANG I: Hersteller kontinuierlicher Trockenvergärungssysteme

ANHANG II: Hersteller diskontinuierlicher Trockenvergärungssysteme

ANHANG III: Begleitmessungen

ANHANG IV: Anlagenbesuche

ANHANG V: Pflichtenheft zum Bau der Anlage

ANHANG VI: SwissEcoSystems – Anlagekonzept und Budget-Preise

ANHANG VII: Richtofferte Biogaskontor

ANHANG VIII: Herstellerinformationen (Vogelsang) - RotaCut // Drehkolbenpumpe //Biocrack

1. Einleitung

In den meisten landwirtschaftlichen Betrieben fällt Festmist an, welcher im Vergleich zu Flüssiggülle bei der Lagerung und der Austragung tiefere Ammoniakemissionen aufweist. Ausserdem bringt er dem Ackerbau Strukturelemente und lässt eine Belüftung des Bodens zu. Da die moderne Landwirtschaft zunehmend Biogasanlagen einsetzt, ist es von ausschlaggebender Bedeutung, dass vermehrt auch Feststoff-Fermenter eingesetzt werden können.

Auf dem Hof von Herrn Jean-Bernard Schenewey in Belfaux (FR) soll eine solche Feststoffanlage zur Biogasproduktion gebaut werden. Als Substrat dient der anfallende Mist von den 10'000 Masthühnern des Hofes, was ca. 280 m³/Jahr entspricht. Zusätzlich soll der Mist und die Gülle aus der Kuh- und Rinderhaltung umliegender Höfe sowie Co-Substrate aus der nahegelegenen Industrie mitvergoren werden.

Dieser Bericht bietet eine umfassende Darstellung der Verfahren zur Feststoffvergärung und deren Integration auf der Hühnerfarm in Belfaux.

2. Zielsetzungen und Vorgehen

Das Ziel der Studie ist die Grobplanung einer wirtschaftlich umsetzbaren Biogasanlage zur Feststoffvergärung auf dem Hof von Herrn Schenewey. Um ein geeignetes Verfahren mit minimalem Aufwand für Betriebs- und Unterhaltsarbeiten auszuwählen, wurden die folgenden Etappenziele festgelegt:

- a. Evaluation des Betriebsablauf und Integration der Biogasanlage in den Betrieb von Herrn Schenewey
- b. Ermittlung der verfügbaren Substrate und ihrer Eigenschaften (Zusammensetzung, Gaspotenzial)
- c. Beurteilung der bestehenden Entmistungskette und Adaptation zur Integration in die Biogasanlage
- d. Auflistung von bestehenden Verfahren zur Feststoffvergärung in der Landwirtschaft
- e. Evaluation praktischer Erfahrungen und Begleitmessungen der Verfahren
- f. Vorauswahl und Besuche auf Referenzanlagen
- g. Kontakt mit Herstellern der Verfahren, Einholen von Richtofferten auf Basis einer Standardausschreibung, Vergleich der Referenzen
- h. Vergleich und Evaluation der Verfahren

3. Auslegung und Integration der Anlage

3.1. Hof Schenewey und Anlagestandort

Der Hof von Jean Bertrand Schenewey liegt in der Gemeinde Belfaux im Kanton Fribourg. Er bewirtschaftet eine Fläche von 15 Hektaren, auf welcher etwas Getreide und hauptsächlich Raps und Mais angebaut wird. Der Hühnerstall von 600 m² bietet Platz für rund 10'000 Masthühner (Abb. 1). Dieser wird mit Hilfe eines ölbefeuerten Heizkessels (Abb. 1) konstant auf 30 bis 35 °C beheizt. Die Hühner werden mit Futter der Firma KLIBA Provimi aufgezogen. Als Einstreu dient in der Regel hofeigenes gehäckseltes Stroh (Abb. 2), im Winter manchmal Holschnitzel. Die Entmistung findet mit Hilfe eines Frontladers (Weidemann Hoftrac) statt (Abb. 3). Der anfallende Hühnermist von ca. 280 m³ (ca. 200 t) pro Jahr wird auf einem Platz von 12 x 10 m gelagert. Darunter liegt eine Güllegrube von 3 m Tiefe, was einem Nutzvolumen von 360 m³ entspricht.

Abbildung 1: Hühnerstall



Abbildung 2: Einstreu



Abbildung 3: Weidemann



Für die Biogasanlage wurde ein idealer Standort nordwestlich der Güllegrube gefunden (Abb. 4 und 5), in unmittelbarer Nähe des Hühnerstalls, der Güllegrube resp. dem Misthaufen.

Abbildung 4: Plan des Hofes

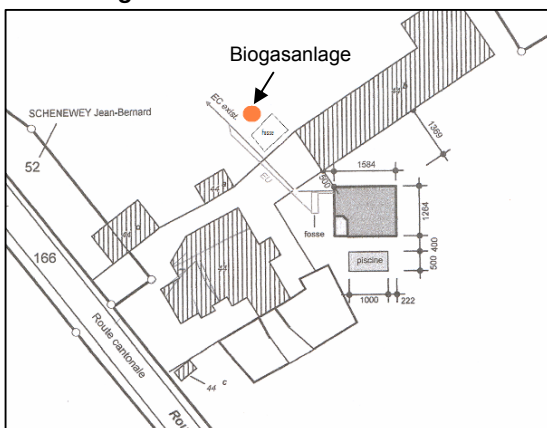


Abbildung 5: Vorgesehener Anlagenstandort



3.2. Energiebedarf des Hofes

Zur Beheizung der verschiedenen Räumlichkeiten des Hofes wird viel Energie gebraucht. Mit dem Biogas der Festmistanlage soll dieser Wärmebedarf gedeckt werden. Dafür ist ein Blockheizkraftwerk (BHKW) vorgesehen; während die Wärme der Beheizung dient, wird die Elektrizität ins Netz eingespeist.

3.2.1 Wärmebedarf

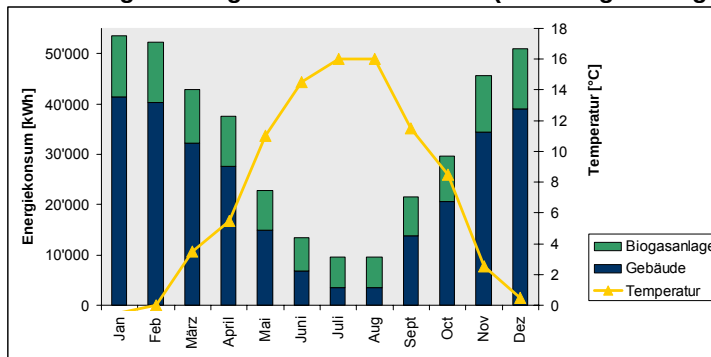
Mit der Abwärme des BHKW sollen Wohnhaus, Hühnerstall, zwei Wohnungen und (in Zukunft) ein Atelier beheizt und Erdöl substituiert werden. Der jährliche Wärmeverbrauch dieser Gebäude ist in Tabelle 1 aufgelistet:

Tabelle 1: Heizölverbrauch der Gebäude

Gebäude	Energieverbrauch [kg Heizöl /Jahr]
Hühnerstall	15'000
Wohnhaus	400
Wohnungen	3000
Atelier (Berechnet)	5000
TOTAL	23'400

Es werden durchschnittlich 23'400 kg Heizöl pro Jahr konsumiert, was 278'000 kWh entspricht (bei 11,86 kWh/kg Heizöl). Der grösste Teil dieser Energie wird im Winter benötigt. Die Jahresverteilung wurde in Abhängigkeit der durchschnittlichen Monatstemperatur (in Fribourg) berechnet (Abb. 6). Der Wärmeverbrauch der Biogasanlage (~30%) wurde dazugerechnet.

Abbildung 6: Energiekonsum des Hofes (inkl. Biogasanlage)



In den Wintermonaten werden bis zu 54'000 kWh (inkl. Beheizung des Fermenters) benötigt.

3.2.2 Leistung BHKW

Ein BHKW soll den Wärmebedarf des Hofes decken und gleichzeitig Strom zur Einspeisung produzieren. Der Januar weist den höchsten Wärmebedarf auf, was einer thermischen Motorenleistung von ca. 85 kW_{th} bzw. 52 kW_{el} entspricht (Tabelle 2). Um eine gute Wärmenutzung zu garantieren, sollte das BHKW eine Leistung von höchstens 50 kW_{el} aufweisen. Spitzenlasten können mit einer Stütz- und Not-Wärmeversorgung abgedeckt werden.

Tabelle 2: Leistung BHKW

Wärmebedarf Januar:	62'000 kWh _{th}
Laufzeit BHKW Januar:	625 h
Thermische Leistung:	85 kW _{th}
Elektrische Leistung:	52 kW _{el}

3.2.3 Biogasverbrauch

Bei einer Laufzeit von 7500 h/a verarbeitet ein 50 kW_{el}-BHKW rund 175'000m³ Biogas pro Jahr (mit einem Methangehalt von 58%). Die Verfügbarkeit der Substrate muss vor allem im Winter sichergestellt werden – was bei einem grossen Anteil an Hofdüngern kein Problem sein wird.

3.3. Substrate und Gaspotential

3.3.1 Hofdünger

Im Umkreis von ca. 1 km von Schenewey liegen drei andere Höfe, deren Hofdünger ebenfalls als Substrat für die Feststoffanlage in Frage kommen:

- Ducotterd: 40 ha, 50 GVE (Kühe in Anbindehaltung mit Einstreu, Kälber auf Tiefstreu)
Distanz zu Schenewey: ca. 1 km
- Tinguely: 20 ha, 20 GVE (Mutterkühe mit Einstreu)
Trutenmast (400 m²)
Distanz zu Schenewey: ca. 500 m
- Cotting: 70 ha, 100 GVE (Milchkühe, angebunden mit Einstreu)
200 Kälber (70 – 200 kg) mit Einstreu
Distanz zu Schenewey: ca. 1 km

Die Hofdünger sind in Tabelle 3 zusammengefasst und ihr Gaspotential berechnet. Für Mist wird eine Dichte von 0.7 t/m³ verwendet.

Tabelle 3: Hofdünger und ihr Gaspotential

Hof	GVE	Substrat	Hofdüngerproduktion		Biogasproduktion
			[t/a]	[m ³ /a]	[m ³ /a]
Schenewey		Hühnermist	210	300	21'000
Ducotterd	50	Rindermist	350	490	20'400
		Rindergülle	1100	1100	22'900
Tinguely	40	Rindermist	500	700	29'000
		Rindergülle	660	660	13'700
		Trutenmist (400m ²)	360	500	35'500
Cotting	100	Rindermist	1200	1680	70'000
		Rindergülle	1700	1700	35'400
TOTAL			6080	7130	227'900

Bei der Substratauswahl muss beachtet werden, dass der Anteil Hühnermist nicht zu gross ist. Dessen hoher Ammoniumgehalt kann eine Hemmung des Gärprozesses bewirken. Gemäss Gronauer [8] sollte der Anteil Hühnermist nach Beifügung des Impfmateri als weniger als 30% betragen. Die maximale Ammoniumkonzentration sollte 3 kg/t nicht überschreiten.

3.3.2 Co-Substrate aus der Lebensmittelindustrie

Nur 7 km vom Hof entfernt befindet sich die Fleischverarbeitungszentrale Micarna. Die Abfälle aus dem Rinder- und Schaf-freien Schlachthof (kein BSE) sind interessante Gärsubstrate, müssen jedoch hygienisiert respektive sterilisiert werden (c.f. Tabelle 4). Andere Co-Substrate der Region wurden geprüft, waren aber in vernünftiger Distanz nicht verfügbar. So hat z.B. Sol-E-Suisse den Kaffeesatz der Nescafé bereits unter Vertrag genommen für eine in Avanches geplante Anlage.

Tabelle 4: Co-Substrate und Gaspotenzial

Substrat	Vorbehandlung	Menge [t/a]	Biogaspotenzial [m ³ /a]
Produktionsrückstände	Hygienisierung	300	30'000
Schlachtabfälle (Gedärme, Augen, Ohren, ...)	Sterilisierung	1'300	64'000
TOTAL		1'600	94'000

4. Szenarien

Aufgrund der verfügbaren Substrate wurden drei Szenarien aufgestellt (Tabelle 5). Das Szenario 1 entspricht der Idee einer landwirtschaftlichen Feststoffanlage und umgeht die Kosten einer Aufbereitungsanlage für die Abfälle von Micarna. Das Szenario 2, ebenfalls eine Feststoffanlage, umfasst nur einen Teil der festen Hofdünger (Schenewey/ Ducottet/ Tinguely), sowie auch Produktionsrückstände von Micarna. Die Dimension der Anlage bleibt eher klein. Mit dem Szenario 3 wird die Evaluation auf eine Flüssiganlage ausgeweitet. Die Substrate sind so ausgelegt, dass kein Hemmungsrisiko durch zu hohe Ammoniumkonzentrationen besteht.

Die Schlachtabfälle von Micarna wurden in keinem der Szenarien beachtet. Grund dafür sind die aufwändige Lagerung und Aufbereitung dieser Substrate und die Befürchtung, dass starke Geruchsemissionen entstehen könnten.

Tabelle 5: Szenarien

	Szenario 1 (landwirtschaftlich, fest)	Szenario 2 (Co-Vergärung, fest)	Szenario 3 (Co-Vergärung, flüssig)
Input			
Geflügelmist	570 t/a	210 t/a	210 t/a
Rindermist	2'050 t/a	850 t/a	-
Rindergülle	-	-	2'800 t/a
Produktionsrückstände (Micarna)	-	300 t/a	300 t/a
Schlachtabfälle (Micarna)	-	-	-
TOTAL	2'620 t/a	1'360 t/a	3'310 t/a
Output			
Biogas	175'900 m ³ /a	100'400 m ³ /a	109'300 m ³ /a
Strom (η =37%)	377'500 kWh	215'500 kWh	234'600 kWh
Wärme (η =50%)	510'100 kWh	291'200 kWh	317'000 kWh
Anlage			
Fermentervolumen (Haupt- & Nachgärer)	600 m ³	350 m ³	780 m ³
Leistung BHKW	55 kWel	30 kWel	35 kWel

5. Grundlagen und Erfahrungswerte

5.1. Literatur zur Feststoffvergärung

Zum Thema Feststoffvergärung finden sich in der Literatur diverse Publikationen. Das Bedürfnis nach solchen Anlagen belegte zum Beispiel die Studie *Feststoffvergärung in der Schweiz* [7], die 2007 vom **Bundesamt für Energie** veröffentlicht wurde. In der Studie werden Erfahrungen im Bereich Feststoffvergärung zusammengefasst und die Einsatzmöglichkeiten in der Schweizer Landwirtschaft eingeschätzt. Aufgrund der ausführlichen Beschreibung der bestehenden Verfahren zur Feststoffvergärung, inklusive technologischer, funktioneller und finanzieller Aspekte, bildet der Bericht eine wichtige Grundlage für die aktuelle Studie.

Im Februar 2004 organisierte die **FNR** (Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe) eine Expertendiskussion zum Thema Trockenfermentation. Beiträge sowie eine Zusammenfassung der Diskussion wurden anschliessend in der Schriftenreihe „Glüzower Fachgespräche“ veröffentlicht: *Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiterer F+E-Bedarf* [4]. In dem umfangreichen Dokument werden Techniken zur Trockenfermentation und Pilotprojekte beschrieben. Die Daten der Begleitmessungen daraus werden in dieser Studie verwendet.

Ende 2009 hat die FNR das *Biogas-Messprogramm II* veröffentlicht, in welchem 61 Deutsche Biogasanlagen untersucht und verglichen werden. Darin enthalten sind auch umfangreiche Datensätze und Analysen zu Feststoffanlagen.

Weitere Publikationen gehen vertieft auf einzelne Verfahren ein und dokumentieren Testphasen von Anlagen. So zum Beispiel *Biogas aus Festmist, Entwicklung einer kontinuierlich betriebenen Biogasanlage zur Vergärung von Strohreichem Mist* [1], welche die Pilotanlage ANACOM beschreibt, die 1994 von **INFOENERGIE** entwickelt wurde. Technische Aspekte, Begleitmessungen und Problemstellungen werden darin beschrieben.

Der Artikel *Zwei trockene Verfahren* im **BIOGAS Journal** 1/08 [9] dokumentiert Testphasen von zwei Pilotanlagen: die eine von der Firma Looock-Biogassysteme GmbH, welche mit dem Perkolationsverfahren funktioniert. Die andere, vom Ingenieurbüro Ratzka, wird nach dem Einstauprinzip beschickt.

Agrifood Research Reports publizierte 2006 *Dry anaerobic digestion of organic residues on-farm – a feasibility study* (W. Schäfer, M. Letho, F. Teye) [12], welche Erfahrungswerte zu dem Verfahren in Järna liefert.

5.2. Grundlagen

Grundsätzlich gelten für die Feststoffvergärung die gleichen Verfahrensunterschiede wie bei der Flüssigvergärung:

- Kontinuierlich oder diskontinuierlich: Bei den kontinuierlichen Verfahren wird dem Fermenter täglich Substrat zugegeben, während eine identische Menge aus dem Fermenter verdrängt oder aktiv ausgetragen wird. Beim diskontinuierlichen- oder Batchverfahren wird der Fermenter mit frischem Material zusammen mit Impfsubstrat gefüllt und luftdicht verschlossen. Während einer Faulzeit von 2 bis 4 Wochen baut sich die vergärbare Substanz ab. Anschliessend wird der Fermenter geleert und wieder mit neuem Material befüllt.
- Meso- oder thermophil: Die Gärtemperatur beeinflusst die Abbaugeschwindigkeit, aber auch die Prozessenergie. Bei mesophilen Verfahren wird mit einer Temperatur von 32 bis 42 °C und bei thermophilen Verfahren bei ca. 53 bis 57 °C vergärt.
- Serielle Fermentation: Um die Effizienz zu verbessern und einen vollständigeren Abbau zu erzielen wird der Prozess oft in zwei oder mehr Stufen umgesetzt. Dabei wird manchmal die erste Stufe thermophil und die zweite mesophil gefahren.

5.2.1. Kontinuierliche Verfahren der Feststoffvergärung

Bei den kontinuierlichen Verfahren sind stets Dosier- und Entnahmeverrichtungen erforderlich, sowie maschinentechnische Einrichtungen für eine mechanische oder hydraulische Durchmischung. Sie funktionieren nach dem Perkulationsprinzip oder dem horizontalen, bzw. vertikalen Pfropfenstromprinzip.

Bei den Perkulationsverfahren wird das Gärgut im Reaktor durch ein axial angeordnetes Rührwerk umgewälzt und durch einen belüfteten Reaktor transportiert. Die aufgesprühte Perkulationsflüssigkeit durchströmt das Substrat und wird nach der Beladung mit organischer Substanz bodenseitig abgezogen und einem Hochleistungsreaktor zugeführt. Der nicht abgebaute Feststoff wird mittels Schneckenpresse entwässert und das Presswasser zusammen mit dem Perkolat dem Fermenter zugeführt (ISKA).

Beim Pfropfenstromverfahren wird ein liegender Fermenter eingesetzt, der entweder über ein sehr langsam drehendes Axialrührwerk verfügt (Kompogas) oder mit mehreren quer zur Strömungsrichtung angeordneten Rührwerken mit Paddeln ausgerüstet ist (Linde/Strabag). Das Substrat durchströmt den Fermenter in Längsrichtung als Pfropfenstrom. Um eine kontinuierliche Animpfung des zugeführten frischen Substrats zu erreichen, wird ein Teil des Gärguts zurückgeführt entweder in fester und/oder flüssiger Form nach Trennung mit einer Schneckenpresse.

Die vertikalen plug-flow-Verfahren (Dranco) bestehen aus zylindrischen Reaktoren, die von oben beschickt werden, während das ausgegorene Material am Reaktorboden abgezogen wird. Der Fermenter enthält keine Mischelemente. Eine gewisse Durchmischung wird durch eine hohe Umwälzrate erreicht. Durch Rückführung von bereits ausgefaultem Material erfolgt eine intensive Animpfung des frisch zugeführten Materials.

5.2.2. Diskontinuierliche Verfahren

Diskontinuierlich betriebene Verfahren zeichnen sich durch eine einfache verfahrenstechnische Gestaltung aus, da die Beschickung und Entnahme des Substrats mit einem Frontlader erfolgt. Es findet keine Durchmischung des Fermenterinhalts statt. Der geringe maschinentechnische Aufwand wirkt sich positiv auf Verschleiß und Wartungsaufwand aus und macht die Verfahren unempfindlich gegenüber Störstoffen und fasrigen Substraten. Nachteil ist der erhöhte Arbeitsaufwand.

Die meisten diskontinuierlichen Verfahren funktionieren nach dem Perkulationsprinzip. Dabei wird ein containerförmiger Fermenter (Garagensystem) eingesetzt, der mit einem gasdichten Tor ausgerüstet ist. Zur Aktivierung des anaeroben Abbaus wird das Substrat vor der Beschickung des Reaktors mit biologisch aktivem Gärrückstand vermischt und während der Vergärung mit Perkulationsflüssigkeit periodisch berieselt. Um eine statische Entwässerung des Substrats zu erlangen wird die Perkulation einige Stunden bis Tage vor Ende der Gärung abgeschaltet. Zur Vermeidung einer Bildung explosionsfähiger Gasgemische während des Anfahr- und Abfahrbetriebs müssen die Fermenter inertisiert werden. Eine wichtige Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit des Perkulationsverfahrens ist eine grobe Feststoffstruktur mit ausreichendem Porenvolumen, um die Durchrieselung mit Perkolat aufrecht zu erhalten. Die Höhe des Substrathaufens ist daher begrenzt, damit die unteren Substratschichten aufgrund des statischen Druckes nicht allzu stark verdichtet werden.

Eine andere Möglichkeit ist das Aufstauverfahren. Es unterscheidet sich gegenüber Perkulationsverfahren darin, dass die Prozessflüssigkeit nicht durch das stapelfähige Gärgut perkoliert wird, sondern das Material mit zwischengespeicherter Prozessflüssigkeit periodisch überstaut wird. Mit dieser Technik sollen die Probleme, die sich im Zusammenhang mit der gleichmäßigen Verteilung des Perkolats und der Durchrieselung des Substratstapels ergeben, vermieden werden.

5.3. Hersteller und Verfahren

Tabelle 6 gibt eine Übersicht der Verfahren zur Feststoffvergärung. Ein detaillierter Beschrieb sowie Funktionsschemen sind im Anhang I (kontinuierliche Verfahren) und Anhang II (diskontinuierliche Verfahren) präsentiert.

Tabelle 6: Übersicht der Anlagen

Verfahren	Beschickung ¹⁾	Anz. Stufen	Begleitmessungen	Bemerkungen
Kompogas	K, hPf	1	Nein	Keine Beispiele in der Landwirtschaft. Nur Grossanlagen.
Dranco	K, vPf	1	Ja	Nur Grossanlagen. Gute Messresultate.
Anacom	K, vPf	1	Ja	Einfaches und effizientes System. Positive Pilotphase, jedoch keine Weiterentwicklung oder Kommerzialisierung seit Testphase 1994.
Järna	K, vPf	2	Ja	Keine guten Resultate (Begleitmessungen) und hoher Energieverbrauch. Nicht geeignet für grössere Mengen an ungehäckseltem Stroh oder Grünschnitt.
Linde/Strabag	K, hPf	1	Ja	Nur Grossanlagen. Gute Messresultate.
Bekon	D, Pe	1	Nein	Keine Beispiele in der Landwirtschaft.
Bioferm	D, Pe	1	Ja	Detaillierte Dokumentation. Mässig zufrieden stellende Gasausbeuten, Probleme mit Perkulationsverfahren.
3A	D, Pe	3	Nein	Noch nie gebaut.
LOOCK	D, Pe	1-2	Ja	Gute Resultate im Vergleich zu Literaturwerten, hauptsächlich dank Fermenter mit Prozessflüssigkeit.
Verfahren „Lully“	D, Pe	1	Ja	Tests zu Covergärung. Zufriedenstellende Resultate
¹⁾ K = Kontinuierlich D = Diskontinuierlich Pe = Perkulationsverfahren hPf = horizontales Pfpfenstromverfahren vPf = vertikales Pfpfenstromverfahren				

5.3.1. Begleitmessungen

Zu den meisten Anlagentypen bestehen Begleitmessungen, die Aufschluss über die Performance und mögliche Probleme geben. Im Anhang III sind die dokumentierten Systeme und die Resultate von Testserien beschrieben.

Die besten Methanausbeuten weisen die Verfahren Kompogas, Dranco und Linde auf – also die Anlagen, die keinen Pilotstatus und die grössten Fermentervolumen haben. Die Pilotanlagen Anacom, Look und Lully/EREK haben zufrieden stellende Testphasen durchlaufen und weisen ebenfalls gute Resultate auf.

Eine schlechtere Bilanz wird für das Verfahren Järna gezogen. Trotz zweistufiger Vergärung wird eine ungenügende Methanausbeute erzielt. Zusätzlich hat das Verfahren einen hohen Energieverbrauch.

Die Bioferm-Pilotanlage in Waldmünchen zeigt ebenfalls eine schwache Leistung: Probleme mit der Perkolatverteilung und eine schlechte Methanausbeute. Messungen einer Grossanlage haben zwar wesentlich bessere Methanausbeuten gezeitigt, jedoch wurden die Schwierigkeiten mit der Perkolatverteilung bestätigt.

5.3.2. Anlagenbesuche

Im Rahmen der Studie wurden vier Anlagen besucht, die von besonderem Interesse für das Projekt von Herr Schenewey waren:

- Bioferm, Tierpark München (D): Kleinanlage mit Garagenfermenter, System gut vorstellbar für den Hof von Herrn Schenewey.
- Rückert (D): Vergärung von Geflügelmist (flüssig), Verwendung der Abwärme des BHKW zur Beheizung der Geflügelställe. Dem Konzept nach den Vorstellungen von Herr Schenewey sehr ähnlich.
- Extruder Fa. Lehmann (Italien): Flüssigvergärung Mais und Triticale zusammen mit Rindergülle mit vorgeschaltetem mechanisch-thermischem Aufschluss des Substrats, was für stark strohhaltiges Substrat interessant sein kann.
- Eisenmann, Ormalingen (CH): Flüssigvergärung, der Fermenter kann jedoch mit höherer TS gefahren werden.

Die Anlagen und Erfahrungen der Betreiber sind im Anhang IV beschrieben. Bioferm hat durch grobe Planungsfehler und hohen Methanemissionen einen sehr schlechten Eindruck hinterlassen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer Zusammenarbeit mit Bioferm solche Fehler durch die Kontrolle einer Ingenieur- und Beratungsfirma vermieden werden können.

Die anderen Anlagen – Rückert, Eisenmann und Lehmann – haben ein sehr positives Bild hinterlassen. Jedoch sind die Anlagen industriell ausgerichtet, für einen Kleinbetrieb viel zu teuer und werden daher unter 100kW gar nicht mehr offeriert.

Auf Grund der beschränkten Verfügbarkeit von Feststoffverfahren für Kleinbetriebe wurden die Erhebungen auf Flüssiganlagen erweitert. Das ist auch mit praktischen und finanziellen Gründen verbunden, die im Kapitel 6 näher beschrieben werden.

6. Richtofferten

6.1. Kontakt mit den Herstellern

Zur Ergänzung der Recherchen wurde mit den Herstellern Kontakt aufgenommen und Richtofferten angefordert. Von Herstellerseite kam jedoch sehr wenig Interesse zum Bau dieser Feststoffanlage (siehe Tabelle 7). Folglich wurden ebenfalls Hersteller von Flüssiganlagen kontaktiert, die auch kleine landwirtschaftliche Anlagen bauen.

Für das Szenario 1 (rein landwirtschaftlich) sind keine Antworten eingegangen. Dies ist auf die schlechte Ausgangslage (keine Einnahmen durch Co-Substrate) zurück zu führen. Die Anlage kann nicht rentabel sein.

Die Reaktionen auf die Zusendung des Pflichtenhefts (Anhang V) für die Szenarien 2 und 3 sind in Tabelle 7 beschrieben.

Tabelle 7: Kontakt mit den Herstellern

Hersteller	Kontaktpersonen	Antwort
Kompogas	-	Keine Anfrage (da Konzept für Grösse nicht geeignet).
Dranco	B. Mattheeuws	Die unverbindliche Preisangabe liegt bei 2.6 Mio Euro. Da die Offerte von einer 500 kW-Anlage ausgeht, kann nicht auf die Anlage Schenewey geschlossen werden. Bilanz: negativ
ANACOM	P. Prinzing (Prinzing GmbH), Widmer (AFAG Engineering) und Nova Energie	- Scale-up zu gross für bestehende Erfahrung mit 10m ³ Pilot-Anlage - Prinzing: macht keinen Anlagenbau mehr - Widmer: nicht mehr tätig in der Landwirtschaft Bilanz: negativ
Järna	-	Keine Anfrage (da schlechte publizierte Erfahrungswerte, hoher Energiekonsum und aufwendiges Konzept).
Strabag (Vormals Linde)	T. Wenger	Die Mindestgrösse für eine Strabag-Anlage liegt bei 500 kW. Kein Interesse am Bau der Anlage. Bilanz: negativ
Bekon	-	Keine Antwort trotz wiederholter Anfrage. Aussage an IFAT: Anlage zu klein Bilanz: negativ
Bioferm	T. Ziereis G. Buchta	Die unverbindliche Preisangabe liegt pauschal bei 1.5 Mio Euro. Aussage an IFAT: Minimum 3 Batch-Fermenter Bilanz: zu gross und teuer
3A	-	Keine Anfrage (da Konzept nicht geeignet)
Loock	S. Ebersberger	Keine Antwort trotz wiederholter Anfrage. Bilanz: negativ
Verfahren Lully	Y. Membrez (EREP)	Preiseinschätzung: Ausstattung/Lieferung: 690'000 CHF, Bau/Elektrizität: 438'000 CHF, Gasverwertung: 80'000 CHF → Total: 1'214'000 CHF Bilanz: teuer
Archea (Flüssigverfahren)	J. Woiwode	Kein Interesse am Bau der Anlage. Bilanz: negativ
SwissEcoSystems (Flüssigverfahren)	H. Stark, M. Spicher	Unverbindliches Preisangebot von knapp 1 Mio. CHF. Anlagekonzept + Budgetpreise im Anhang VI Bilanz: teuer
Biogaskontor (Flüssigverfahren)	E. Köberle	Unverbindliches Preisangebot von 451'000 Euro für Platz Süddeutschland (~630'000 CHF). Richtofferte im Anhang VII Bilanz: interessant

6.2. Bilanz der Offerten

Von den 10 Herstellern von Feststoffanlagen kommen noch 2 für den Hof Schenewey in Frage, die anderen sind entweder ungeeignet oder nicht interessiert. Bioferm hat einen geschätzten Pauschalpreis kommuniziert, bei einem Gespräch an der IFAT jedoch ergänzt, dass die Anlage wohl doch zu klein sei. EREP hat zur Preiseinschätzung die Erfahrungswerte von der Anlage in Lully verwendet und diese an das Projekt Schenewey angepasst. Bei einem Serienbau würden diese Preise herunter gehen, im Einzelbau ist die Anlage jedoch sehr teuer.

Die Hersteller von den Flüssiganlagen SwissEcoSystems und Biogaskontor haben Richtofferten erstellt. SwissEcoSystems bietet mit der EcoGas-Anlage ein interessantes, jedoch teures Konzept. Mit den 50 – 60 kW_{el} Anlagen fokussiert das Unternehmen auf kleine landwirtschaftliche Betriebe. Weil für die geplante Anlage eine Hygienisierung nötig ist und weil relativ wenig Einnahmen über die Co-Substrate eingerechnet werden können, ist mit dieser Anlage keine Rentabilität zu erwarten.

Die Firma Biogaskontor aus dem süddeutschen Raum ist ein routinierter Anlagenbauer in allen Grössen. Mit einem Offerte von 451'000 Euro Investitionskosten (auf Platz Süddeutschland) bietet sie ein Angebot, das weiter verfolgt werden kann.

7. Substrat-Vorbehandlung

Für die Flüssigvergärung muss das strohhaltige Substrat einer Vorbehandlung unterzogen werden, um die Abbaugeschwindigkeit zu erhöhen und um Schwimmdecken im Fermenter vorzubeugen.

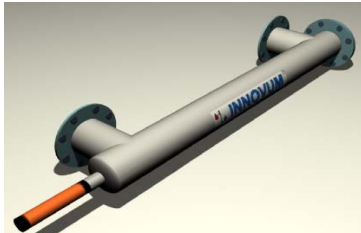
Seit kurzem ist auf dem Biogasmarkt die Desintegration ein grosses Thema. Innerhalb der letzten rund 6 Monate wurden dazu verschiedenste Verfahren in Umlauf gebracht. Die Aufbereitung der Substrate soll zu höheren Gaserträgen und einem stabileren Gärprozess führen. Die Desintegration besteht aus der Zerkleinerung oder Auflösung der Strukturen der Einsatzstoffe, was dazu führt, dass sie bei der Vergärung besser abgebaut werden können. Für stärker lignifizierte Substrate wie Stroh kann dies von grossem Interesse sein.

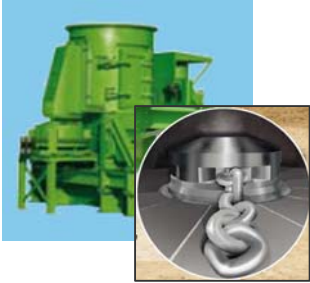
Ausserdem führt die Desintegration der Biomasse zu weiteren Vorteilen beim Anlagenbetrieb: bessere Fließfähigkeit der Substrate, erhöhte Homogenität des Fermenterinhalt, kürzere Rührzeiten mit weniger Stromeinsatz, Vermeidung von Schwimmschichtbildung und Ablagerungen. Dies erlaubt gesamthaft eine optimierte Prozessführung.

Die verschiedenen Anbieter von Desintegrationsverfahren sind in Tabelle 8 aufgeführt. Ein weiteres Verfahren – der Prallreaktor – ist in Entwicklung, es gibt jedoch momentan noch keine Daten dazu. Die klassischen Verfahren wie die Thermodruckhydrolyse (TDH) und Steam Explosion sind nicht in Betracht gezogen worden, weil sie für Kleinanlagen nicht geeignet sind.

Für die Anlage von Herr Schenewey scheint die Kombination von BioCrack und RotaCut der Firma Vogelsang eine interessante Option. Um die Investitionskosten tief zu halten, wird jedoch vorläufig nur der RotaCut empfohlen – der BioCrack kann zu einem späteren Zeitpunkt immer noch angefügt werden.

Tabelle 8: Anbieter von Desintegrationsverfahren

Hersteller	Eigenschaften	Bild
Lehmann Maschinenbau GmbH „Bioextruder“ oder „Extruder Bioaccelerator“ (B.T.S.)	- Thermomechanischer Aufschluss mit Doppelschnecke und Dampfexplosionseffekt durch Druckabfall - Steigerung des Wirkungsgrad um ~20% - Kapazität: 0.15 – 0.4 t Stroh/h (kleinstes Modell) - Energieverbrauch: 22 kW oder ca. 1.45% der max. produzierbaren Energie. - Preis 133'100 € - Mittlere Gasausbeute von Weizenstroh nach Behandlung: 263 NI CH₄/kg oTS [11]	 (Quelle: B.T.S.)
Vogelsang GmbH „Bio Crack“	- Elektrokinetischer Aufschluss - Steigerung der Biogasproduktion um ~18% - Kapazität: 40m³/h je Modul, TS max. 15% (Substrat muss pumpfähig sein) - Energieverbrauch: 35 W je Modul - Ein „RotaCut“ sollte zur Separierung von Störstoffen und Zerkleinerung der Substrate vorgeschaltet werden - Preis ~14'000 €/Modul (+ 8'000 € für den „RotaCut“)	 (Quelle: Vogelsang GmbH)

MEWA „Querstromzerspaner“	- Zerkleinerung durch rotierende Ketten, die das Material gegen die Wände schleudert. - Steigerung der Biogasproduktion um ~30% - Kapazität: 1-2 t/h (kleinstes Modell) - Leistung: 55 kW - Preis: n.b. - Hoher TS möglich - Robuste Maschinenbauteile (keine Messer oder Siebe)	 (Quelle: MEWA)
Niemann Maschinenfabrik „Kreis- Biogasdissolver“	- Zerkleinerung durch schnell rotierende Messerscheibe (Technologie aus der Farben- und Lackindustrie) - Steigerung der Biogasproduktion um 15 bis 20% (Maissilage) - Kapazität: 0.5 t/h (kleinstes Modell) - Leistung: 22 kW - Preis: n.b. - Hoher TS möglich (> 25%) - Störstoffe werden gleichzeitig aussortiert: Steinfang unter dem Rührkessel	 (Quelle: Niemann)

8. Auswahl und Evaluation

8.1. Auswertung der Daten

Aufgrund der gesammelten Daten werden vier Hersteller ausgewertet, die für den Bau der Anlage in Frage kommen (Tabelle 9). Zur Bewertung werden die folgenden Kriterien verwendet:

- **Investitionskosten:** basierend auf den kommunizierten Zahlen.
- **Arbeitsaufwand:** wegen der zeitaufwändigen Befüllung und Entleerung der Fermenter schneiden die diskontinuierlichen Verfahren schlechter ab.
- **Methanausbeute:** diskontinuierliche Verfahren erreichen generell eine geringere Gasausbeute als kontinuierliche Verfahren [3], was hier beachtet wurde. Bei Bioferm wiesen die Begleitmessungen zusätzlich ein schlechtes Resultat auf.
- **Methanemissionen:** diskontinuierliche Verfahren werden schlechter bewertet, da bei der Spülung vor der Türöffnung Methan abgeblasen wird. Dieses müsste abgepackelt werden, was aber auf einer Kleinanlage nicht gängig ist.
- **Störungsanfälligkeit:** Theoretisch sind diskontinuierliche Verfahren weniger störungsanfällig. Bei Bioferm sind aber wiederholt Probleme mit dem Perkolationsystem aufgetreten und bei der Anlage Lully/EREP sind wegen undichten Stellen bei der Abdeckung Probleme aufgetreten.
- **Referenzen:** Bioferm erhält eine schlechte Bewertung weil die besichtete Anlage gravierende Planungs- und Dimensionierungsfehler aufwies. EREP/Lully hat nur eine Anlage gebaut, wie auch SwissEcoSystems.

Auf der Skala von 0 bis 4 bedeutet: 0=schlecht, 1=ungenügend, 2=genügend, 3=gut, 4=sehr gut.

Tabelle 9: Evaluationsmatrix

Verfahren	Bioferm (fest/diskont.)	Lully/EREP (fest/diskont.)	SwissEcoSystems (flüssig/kont.)	Biogaskontor (flüssig/kont.)
Investitionskosten	0	0	2	3
Arbeitsaufwand	2	2	4	4
Methanausbeute	2	3	4	4
Methanemissionen	1	1	4	4
Störungsanfälligkeit	2	3	4	4
Referenzen	1	2	2	4
Bilanz	8	11	20	23

Biogaskontor schneidet bei dieser Evaluierung am besten ab. Dank dem preislich interessanten Angebot, einem effizienten Gärssystem und guten Referenzen hat dieser Hersteller überzeugt. Die Richtofferte ist im Anhang VII aufgeführt.

SwissEcoSystems weist ebenfalls ein gutes Resultat auf, ist jedoch für die gegebene Situation zu teuer.

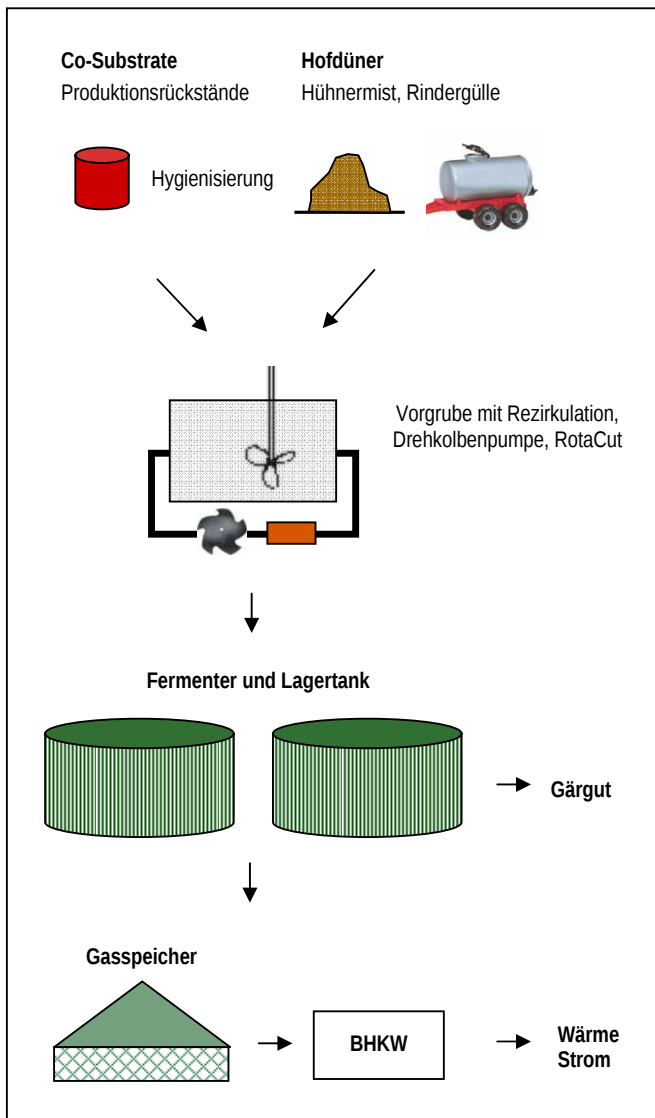
Die Feststoffanlagen scheitern nicht nur an den hohen Investitionskosten, sondern auch an der erhöhten Störungsanfälligkeit, den schädlichen Methanemissionen und den geringen bzw. schlechteren Referenzen.

Obwohl anfänglich eine Feststoffanlage geplant war, fällt die Wahl nun auf eine Flüssigvergärung. Der Markt scheint noch nicht reif für eine landwirtschaftliche Feststoffanlage im kleinen Massstab.

8.2. Konzept der Anlage

Basierend auf den gesammelten Daten und der durchgeführten Evaluation konnte ein Vergärungskonzept ausgearbeitet werden. Das Ziel, eine Feststoffanlage zu bauen, konnte nach der Auswertung nicht weiter verfolgt werden (siehe Tabelle 9). Stattdessen wird eine relativ kostengünstige Flüssiganlage empfohlen, die dem neusten Stand der Technik entspricht.

Abbildung 7: Funktionsschema der BG-Anlage



Die Co-Substrate werden vor der Einleitung in die Vorgrube hygienisiert. Für die Hofdünger werden keine neuen Einrichtungen benötigt. Der Hühnermist wird, wie bisher, auf dem Misthaufen zwischengelagert; die Gülle wird bei Anlieferung direkt in die Vorgrube abgeladen.

Mit einem Rührwerk ausgerüstet, dient die Vorgrube gleichzeitig als Lager für Co-Substrat und Gülle. Zur Zerkleinerung und Homogenisierung wird das Gärsubstrat in einem RotaCut vorbehandelt. Zur Beförderung wird eine Drehkolbenpumpe verwendet; diese ist sehr robust auch bei strohhaltigem Substrat (Detailbeschreibung im Anhang VIII). Die Kombination Pumpe/RotaCut wird solange im Kreislauf gefahren, bis das strohhaltige Material genügend aufgeschlossen ist. Zukünftig kann hier ein Desintegrationsverfahren eingefügt werden (BioCrack); damit die Anfangsinvestition nicht zu gewichtig wird, wurde vorläufig darauf verzichtet. Falls der Mist zu dick ist, kann Gärgut rezykliert werden.

Fermenter und Lagertank sind mit einem Rührwerk und einer Luftzudosierung (zur Entschwefelung) ausgerüstet. Das Biogas wird extern in einem Speicher mit Doppelfolienhaube gelagert, bevor es im BHKW zu Strom und Wärme umgesetzt wird.

8.3. Energiebilanz

In der Offerte von Biogaskontor wurde mit einer leicht höheren Biogasausbeute gerechnet, als im Kapitel 3 dieses Berichts. Für die Energiebilanz werden die Zahlen von Biogaskontor weiter verwendet.

In der Tabelle 10 sind die Energieproduktion und der Eigenverbrauch der Biogasanlage beschrieben.

Tabelle 10: Energiebilanz

Bruttoenergie Biogas		799'859 kWh/a
Stromerzeugung	$\eta=37\%$	295'948 kWh/a
Eigenverbrauch Strom		24'566 kWh/a
Einspeisung		271'382 kWh/a
Wärmeerzeugung	$\eta=45\%$	359'937 kWh/a
Eigenverbrauch Wärme		213'388 kWh/a
Wärme zur Verfügung (Beheizung)		146'549 kWh/a

Rund 271'000 kWh_{el} können jährlich ins Stromnetz eingespielen werden. Mit der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) liegt der Tarif bei 48 Rp./kWh (Grundtarif 28Rp. + Landwirtschaftsbonus 18 Rp. + Wärmebonus 2 Rp.).

Rund 147'000 kWh_{th} bleiben nach Abzug der Prozesswärme zur Beheizung des Hühnerstalls und des Wohnraumes. Etwa 97% dieser Wärme können tatsächlich genutzt werden, während 3 % zu einem Zeitpunkt erzeugt werden, wo kein Bedarf besteht (gemäss Biogaskontor). So können 142'000 kWh als Erdölersatz dienen, was 52 % des Wärmebedarfs des Hofes entspricht.

8.4. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung basiert auf Angaben von Biogaskontor (Kurs Euro/CHF: 1.4), Richtofferten und Erfahrungswerten. In der Tabelle 11 ist die Bilanz aufgeführt. Da die Offerte von Biogaskontor für den Raum Süddeutschland gültig ist, wurden 15% der Investition für die Anpassung ans Schweizer Preisniveau dazugerechnet.

Die Bilanz ist knapp ausgeglichen, allerdings ohne Unternehmensgewinn. Eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung würde sich von daher lohnen. Insbesondere sollte abgeklärt werden, ob die benachbarten Betriebe bereit wären, für die Düngerverbesserung einen Beitrag zu bezahlen. Andernorts in der Schweiz werden rund Fr. 2.- pro m³ entrichtet, was einen Mehrertrag von Fr. 5200.- bringen würde. Der in erster Näherung erzielbare Gewinn von rund Fr. 13'000.- ist jedoch immer noch an der untersten Grenze. Es wird sich nicht vermeiden lassen, weitere Co-Substrate zu akquirieren (z.B. Restaurantabfälle aus den benachbarten Dörfern, Käsereiabwässer und/oder Schotte, etc.).

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit

	Bemerkungen	Ausgaben	Einnahmen
Investition		[CHF]	[CHF]
Hygienisierung		40'000	
RotaCut		11'200	
Drehkolbenpumpe		6'840	
BHKW 40 KW		70'770	
BHKW-Gebäude		28'000	
Gasfackel		4'200	
Pumpen, Rohre, Dosiertechnik		62'300	
Vorgrube, Lager		95'304	
Gärbehälter		99'677	
Rührwerke		40'600	
Gasspeicher		35'000	
Aussenanlagen		42'000	
Wärmeanschluss & Zündöllager		39'060	
Elektroinstallationen		58'800	
Nebenkosten		52'500	
Anpassung Standort Schweiz		100'000	
Total		786'251	
Betrieb			
Anlagekosten			
Abschreibungen Technik	8 Jahre	36'314	
Abschreibungen Bau	20 Jahre	24'787	
Zinsen Fremdkapital	80% der Investition, 4.5%	28'305	
Versicherung		1'500	
Wartung/Reparaturen		10'400	
Arbeitsaufwand	1h/d je 55CHF	20'000	
Zündöl		9'800	
Sonstiges		6'000	
Co-Substrate			
Annahmegebühren	60 CHF/t (gate fee)		18'000
Arbeitsaufwand	4h/Woche (Transport), 55CHF/h	11'400	
Transportkosten	0.9 CHF/km	3'800	
Gärgut		0	0
Energieerzeugung			
Thermische Energie	Einsparungen 0.085 CHF/kWh		12'460
Stromverkauf	KEV: 0.48 CHF/kWh		130'260
Total		152'306	160'720
Unternehmerischer Gewinn			8'414

9. Folgerungen und Perspektiven

Die erste Hochrechnung zeigt, dass die Variante mit einer einfachen Vorzerkleinerung und Flüssigvergärung nach dem Prinzip von Biogaskontor eine wirtschaftlich tragbare Lösung zur Vergärung von Puten- und Hühnermist darstellen könnte, liessen sich noch einige Tonnen Co-Substrate finden.

Falls der Bauherr Schenewey sich für eine Weiterentwicklung des Projekts entscheidet, sind folgende Schritte anzugehen:

1. Suche weiterer Co-Substrate
2. Vorverträge mit benachbarten Bauern
3. Vorvertrag mit Micarna
4. Ev. Cooperation mit Ökostrom Schweiz oder Sol-E-Suisse (Kaffeabfälle)
5. Detaillierte Planung
6. Anmeldung bei KEV
7. Arbeitsvertrag mit Schweizer Unternehmer
8. Einholung von Detailofferten
9. Verhandlungen mit EVU/ESTI, etc.
10. Baugesuch

10. Literaturübersicht

- [1] U. Baserga, K. Egger, A. Wellinger (1994). *Biogas aus Festmist, Entwicklung einer kontinuierlich betriebenen Biogasanlage zur Vergärung von Strohreichem Mist*. FAT-Berichte Nr. 451.
- [2] R. Braun, P. Weiland, A. Wellinger (2009). *Biogas from energy crop digestion*. IEA Bioenergy, Task 37.
Internet: http://www.iea-biogas.net/Dokumente/energycrop_def_Low_Res.pdf
- [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2009). *Biogas Messprogramm II – 61 Biogasanlagen im Vergleich*. Erarbeitet von Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- [4] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006). *Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiterer F+E Bedarf*. Gülzower Fachgespräche, Band 24.
- [5] A. Gronauer (2003). *Wissenschaftliche Begleitung einer Pilotanlage zur Feststoffvergärung von landwirtschaftlichen Gütern*. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, Freising (D).
- [6] T. Haupt (2005). *Die Trockenfermentation zur Behandlung von organischen Abfallstoffen – Potentiale einer zukunftsweisenden Technologie*. Seminarunterlagen Bundesversammlung 2005 – Müllverwertung, Bauhaus-Universität Weimar.
- [7] B. Liesch und C. Müller (2007). *Feststoffvergärung in der Schweiz*. Schlussbericht 2007, Bundesamt für Energie Schweiz.
- [8] Y. Membrez (1994). *Construction et exploitation de l'installation pilote chez M. P. Chabloz – Lully VD*. Im Auftrag vom Bundesamt für Energie, Bern.
- [9] J. Mumme, B. Linke, M. Heiermann (2008). *Zwei trockene Verfahren*. BIOGAS Journal 1/08, 44-47.
- [10] Mémento agricole 2009. Agridea – Développement de l'agriculture et de l'espace rural, Lausanne.
- [11] W. Rudolph (2010). *Biogas aus Stroh. Joule - Technik - Politik - Wirtschaft*, Ausgabe 2/2010.
- [12] W. Schäfer, M. Letho, F. Teye (2006). *Dry anaerobic digestion of organic residues on-farm – a feasibility study*. MTT Agrifood Research Reports 77, Finland.
- [13] W. Schäfer, L. Evers, M. Lehto, S. Sorvala, F. Teye, A. Ganstedt (2005). *Biogas aus Festmist – eine neue Technologie zur Schliessung des Nährstoff- und Energiekreislaufes auf dem Landwirtschaftlichen Betrieb*. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau - Ende der Nische, Kassel. Organic Eprints 3459.
- [14] A. Wellinger, U. Baserga, W. Edelmann, K. Egger, B. Seiler (1991). *Biogas Handbuch – Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Biogasanlagen*. Verlag Wirtz, Aarau.

Anhang I: Hersteller kontinuierlicher Trockenvergärungssysteme

a. Kompogas – CTU

Anlagen der Firma Kompogas wurden zur Vergärung von Bioabfällen ohne Zusatz von Gülle entwickelt. Das Verfahren funktioniert nach dem Prinzip der kontinuierlichen Vergärung im Pfpfenstrom (Abb. 7). Das Gärsubstrat wird bei Bedarf zerkleinert und gesiebt und wird dann in einen Zwischenspeicher geleitet. In diesem wird es während etwa 2 Tagen gelagert und erhitzt, bevor es dem Reaktor mittels eines Schneckenförderers zugeführt wird. Flüssigkeit aus dem Entwässerungsprozess wird zugefügt, bis ein Trockensubstanzgehalt

von ca. 28% erreicht ist. Eine Kolbenpumpe fördert das Substrat in den Fermenter (meist ein horizontaler Stahl- oder Betontank). Mit einem Wärmetauscher wird das Substrat von 25 auf 55 °C erhitzt. Im Fermenter wird es mit vergorenem Material gemischt und durchläuft diesen als Pfpfen. Eine langsam rotierende Paddelwelle sorgt für eine gleichmässige Entgasung und Konsistenz des Materials. Anschliessend wird das Substrat entwässert. Die Weiterverarbeitung des Restmaterials und der Flüssigkeit hängt vom Standort der Anlage ab. Mit Verweilzeiten von 15 bis 20 Tagen wird die Hygienisierung des Endprodukts sichergestellt.

CTU – ein Lizenznehmer von Kompogas – hat mit Erfolg solche Anlagen auch für die trockene Vergärung von Maissilage eingesetzt.

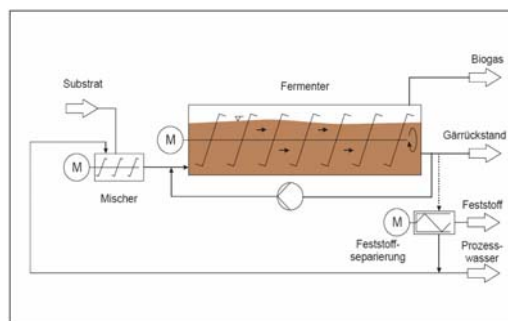


Abbildung 7: Schema des Verfahrens Kompogas [7]

b. Dranco

Dry Anaerobic Composting (Dranco) ist ein kontinuierliches Verfahren, mit Vergärung in einem vertikalen, siloartigen Fermenter ohne Rührwerk. Das Substrat wird in einem Vormischer aufgeheizt, danach wird es über eine Kolbenpumpe von oben in den stehenden, schlanken Fermenter beschickt (Abb. 8). Bei ca. 54 °C fliesst das Gärsubstrat durch Gravität vertikal nach unten. Um den Prozess biologisch stabil zu halten, werden bis zu 80 % des ausgefaulten Materials wieder in den Fermenter zurückgeführt.

Diese Rezyklierung durch eine externe Pumpe gewährleistet ebenfalls die Durchmischung des Substrats. Die Verweilzeit im Fermenter beträgt 15 bis 30 Tage. Das Dranco-Verfahren wird in Deutschland zum Beispiel für die trockene Co-Vergärung von NaWaRo und Hofdünger eingesetzt.

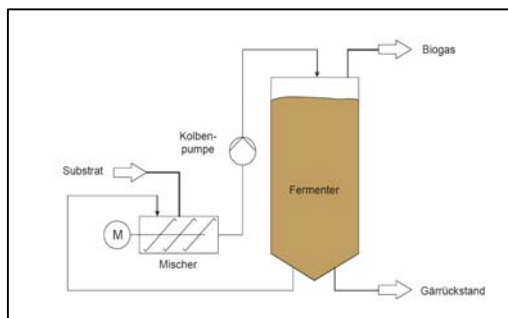


Abbildung 8: Schema des Verfahrens Dranco [7]

c. Anacom

Anaerobic Composting of Manure (Anacom) wurde an der Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) Tänikon entwickelt. Bei dem Verfahren wird der Festmist kontinuierlich vergärt wobei eine Vorbehandlung des Substrats nicht nötig ist. Das Verfahren besteht aus einem kubischen Stahltank als Fermenter, welcher mit einer Kolbenpresse (Maulwurf) mit Festmist beschickt wird (Abb. 9). In dem Beschickungsrohr wird das Substrat auf die erforderliche Gärtemperatur von rund 35°C

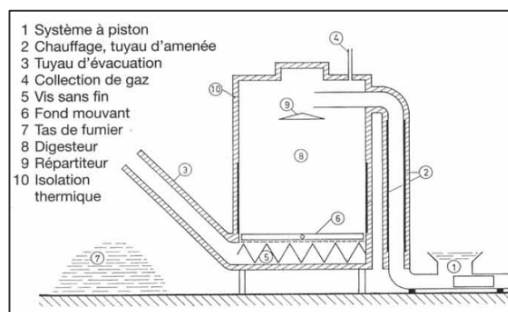


Abbildung 9: Schema des Verfahrens Anacom [1]

bzw. 55°C aufgewärmt, dann gelangt der Frischmist über einen Verteiler in den Gärbehälter. Durch das Austragen des vergorenen Materials im unteren Teil des Behälters bewegt sich das Substrat langsam nach unten (down-flow-Prinzip). Das Austragen des Materials erfolgt mit Hilfe eines Kratzbodens und einer Austragsschnecke. Zur Kompensation der Wärmeverluste ist der untere Teil des Fermenters mit einer Heizwand ausgerüstet.

d. Järna

Bei der Schwedischen Anlage Järna handelt es sich um eine zweistufige, kontinuierliche Feststoff-Vergärungsanlage. Über einen durchlöchernten Boden wird Urin und Mist getrennt. Der Mist wird über einen Fütterungskanal in oberen Teil des Hydrolyse-Reaktors eingeführt, welcher um ca. 30° geneigt ist (Abb. 10). Durch die Gravitation fließt der Mist nach unten und vermischt sich mit dem restlichen Substrat. Nach einer Verweilzeit von 22 bis 26 Tagen bei 38°C wird

das Substrat durch einen Austrag am Boden des Fermenters teilweise entleert. Der grösste Teil des entnommenen Substrates wird mit einer Schneckenpresse in eine flüssige und eine feste Phase separiert.

Das restliche Substrat wird zurück in den Fermenter geführt und dient als Impfmateriel. Das Festmaterial wird kompostiert und die Substratflüssigkeit wird in einen Methanreaktor gepumpt. Nach Ablauf der Verweilzeit von 15 bis 16 Tagen wird ein Teil der Flüssigkeit wieder in den Hydrolyse-Fermenter gepumpt, um die Fliesseigenschaften des Substrates zu verbessern. Die Restflüssigkeit wird gespeichert und bei Bedarf als Dünger eingesetzt.

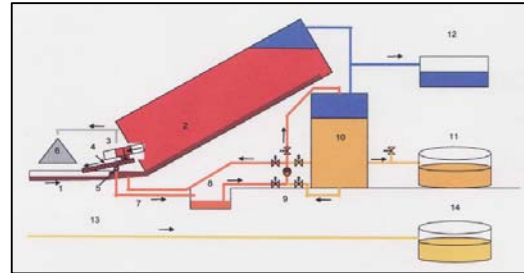


Abbildung 10: Schema des Verfahrens Järna [13]

e. Linde / STRABAG

Die Firma Strabag bietet ein ein thermo- oder mesophiles Verfahren an, das im liegenden Pfpfenstromfermenter mit Rechteckquerschnitt abläuft. Das organische Substrat wird mit einer kompakten Einspeisevorrichtung (Speicher für Aufbereitung) in den Fermenter geführt. Im Reaktor können Abfälle mit Trockensubstanzgehalten von 15 % bis zu 45 % behandelt werden. Der horizontal liegende Pfpfenstrom- Fermenter ist mit einem Rührwerk ausgerüstet, um das Absinken und Aufschwimmen von bestimmten Materialien zu verhindern (Abb.11). Das vergorene Material wird mit einer Zentrifuge entwässert.

Das Verfahren wurde Europaweit zur trockenen Vergärung von Gewerbeabfall, NaWaRo, Maissilage, Hausmüll und Gülle eingesetzt.

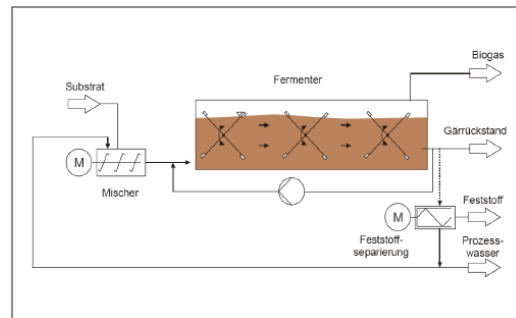


Abbildung 11: Schema des Verfahrens Linde [7]

Anhang II: Hersteller diskontinuierlicher Trockenvergärungssysteme

a. Bekon

Ein so genanntes Boxen- oder Garagenverfahren wurde von der Firma Bekon Energy Technologies GmbH & Co. entwickelt. Das diskontinuierliche, einstufige Verfahren ist für Biomasse mit einem TS-Gehalt über 25 % geeignet. Nach einer Animpfung mit bereits vergorenem Material wird das Substrat mit Radladern in den Fermenter geführt (Abb. 12).

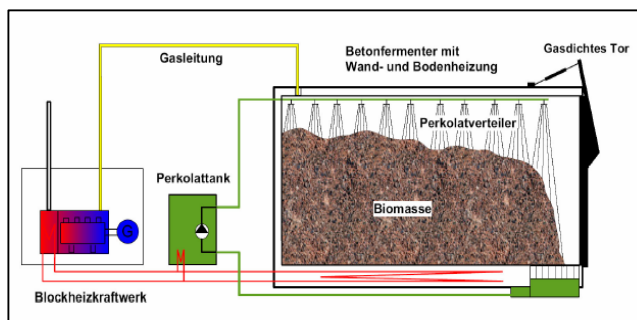


Abbildung 12: Schema des Verfahrens Bekon [6]

Der garagenförmig aufgebaute Gärbehälter wird mit einem gasdichten, hydraulisch betriebenen Tor verschlossen. Die Biomasse wird unter Luftabschluss vergoren, dabei erfolgt keine weitere Durchmischung und es wird kein zusätzliches Material zugeführt. Das aus dem Gärgut sickernde Perkolat wird über eine Drainagerinne abgezogen, in einem Tank zwischengespeichert und zur Befeuchtung wieder über dem Substrat versprüht. Der Gärprozess findet im mesophilen Temperaturbereich bei ca. 37°C statt, die Temperierung erfolgt mittels Boden- und Wandheizung. Der Gasraum über dem Gärsubstrat dient als Zwischenspeicher. Um eine kontinuierliche Gasproduktion zu bewerkstelligen können mehrere Gärbehälter zeitlich versetzt betrieben werden. Am Ende der Verweilzeit wird der Fermenterraum vollständig entleert und dann neu befüllt.

Die Bekon-Anlage wird mit einem leichten Überdruck von 20hPa betrieben. Dadurch ist gewährleistet, dass zu keinem Zeitpunkt ein explosionsfähiges Gas-Luft-Gemisch entstehen kann. Während dem Befüllen und Entleeren sorgt eine Absaugvorrichtung im hinteren Fermenterbereich dafür, dass dieser ständig mit Frischluft durchströmt wird.

b. Bioferm

Die Firma Bioferm GmbH entwickelte ebenfalls ein Boxen- oder Garagensystem. In Deutschland sind rund 12 Bioferm-Anlagen im landwirtschaftlichen Bereich im Einsatz oder in Planung (Angabe 2007). Das Prinzip der Bioferm-Technik ist vergleichbar mit jener der Firma Bekon. Bei der Einbringung in den Fermenter wird die Biomasse zunächst mit Methanbakterien (Perkolat) besprüht und anschließend im geschlossenen System vergoren (Abb. 13).

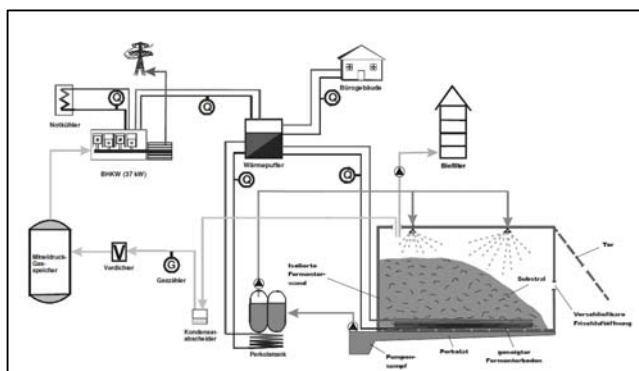


Abbildung 13: Schema des Verfahrens Bioferm [5]

Die von Bioferm GmbH entwickelten Anlagen werden standardmässig konzipiert. Sie enthalten mehrere Fermenterkammern, ein Gasspeicher, ein Technikcontainer und ein BHKW-Container. Die Fermenterkammern werden durch Stahltore mittels eines pneumatischen Schliessmechanismus gasdicht verschlossen. Im Boden ist eine Heizung zur Sicherung einer konstanten Prozesstemperatur (ca. 40°C) integriert. Auf der Deckenkonstruktion wird ein Gassack installiert. Der Gasspeicher dient zur Erhaltung des kontinuierlichen Betriebs des BHKW's während des Entleer- bzw. Füllvorgangs einer Fermenterkammer. Der zu wechselnde Fermenter wird belüftet und das Gas wird über einen Biofilter abgeblasen.

c. 3A

Das 3A-Verfahren ist ein Batch-Prozess analog dem Garageverfahren von Bioferm, der auf einer Kombination aus anaerober Vergärung und Kompostierung basiert. Das Verfahren durchläuft 3 Phasen: 1. aerob, 2. anaerob, 3. aerob. Das Substratgemisch liegt auf Spaltenböden, unter denen segmentweise Hohlräume zur Erfassung des Perkolats und zur Absaugung des Biogases angeordnet sind. Nach der Befüllung eines Segments mit Biomasse erfolgt zunächst eine Saugbelüftung, um durch den aeroben Stoffwechsel die für den anaeroben Abbau erforderliche Prozesstemperatur zu erreichen (Phase 1). Anschließend wird die Belüftung eingestellt und das benachbarte Segment befüllt und belüftet. Das erste Segment wechselt dadurch in den fakultativen Stoffwechsel über (Phase 2), dem eine strikt anaerobe Phase folgt (Phase 3), sobald das dritte Segment befüllt und belüftet wird. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis die gesamte Fermenterwanne mit Substrat gefüllt ist. Für die anaerobe Behandlung wird das Segment mit einer Folie gasdicht gegenüber der Atmosphäre verschlossen und mit Perkolatwasser beaufschlagt. Das gebildete Biogas wird segmentweise abgesaugt. Nach Beendigung des anaeroben Abbaus erfolgt erneut eine Belüftung, so dass ein Kompost entsteht. Das Prinzip der segmentweisen Behandlung ist in Abbildung 14 schematisch dargestellt. Das Verfahren ist nur im Labormassstab geprüft worden. Eine fertig geplante Demoanlage konnte noch nie umgesetzt werden.

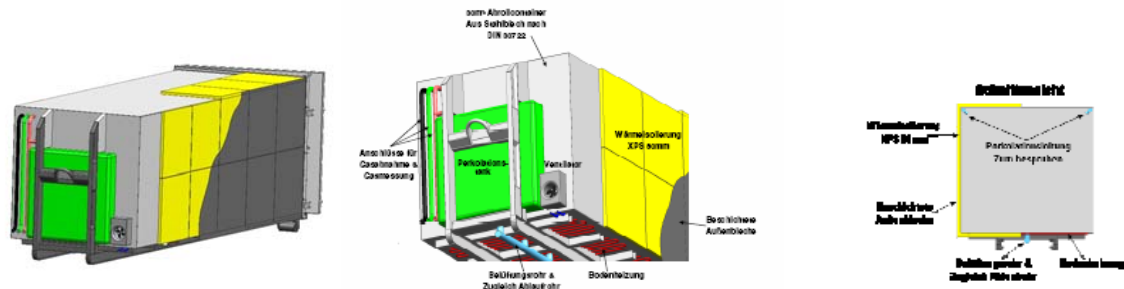


Abbildung 14: Schema des Verfahrens 3-A

d. LOOCK

Das Loock-TNS®-Verfahren (Trocken-Nass-Simultan Vergärung) wurde vom Ingenieurbüro Loock Consultants Hamburg entwickelt. Es wurde an der Versuchsanlage in Bergedorf getestet und bis heute in 3 Grossanlagen (Biogasanlagen in Pirow, Friedersdorf und Halle) im landwirtschaftlichen Bereich eingesetzt. Bei dem System handelt es sich um eine Kombination aus Fest- und Flüssigfermentation.

Die Anlagen sind mit hydraulisch verschliessbaren Toren, Belüftungstechnik zum Einblasen von Luft und einer Vorrichtung zur Perkolation der Prozessflüssigkeit ausgestattet. Neben der Feststoffvergärungsanlage steht eine konventionelle Flüssigvergärungsanlage. Der Austausch der Perkulationsflüssigkeit erfolgt über einen Prozesswasserkreislauf zwischen beiden Systemen. In Abbildung 15 ist die Funktionsweise des Verfahrens illustriert.

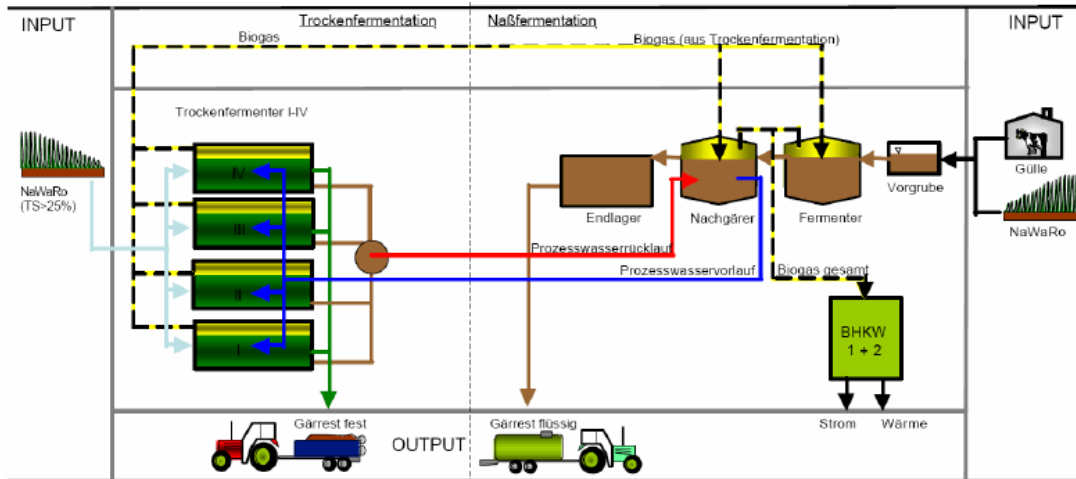


Abbildung 15: Schema des Verfahrens LOOCK, (Quelle: [7])

e. Anlage Lully

1991/1992 wurde in Lully (VD) von EREP eine Pilotanlage zur Feststoffvergärung gebaut. Diese besteht aus 4 Vergärungsbehältern von je 30 m³, welche von oben befüllt und zugedeckt werden. Über den Deckel wird das Substrat während der 6 Wochen Verweilzeit mit Perkulationsflüssigkeit besprüht und am Boden der Reaktoren kann die Prozessflüssigkeit über eine Rinne ablaufen. Ein Lagerbehälter von 15 m³ steht für die Perkulationsflüssigkeit (Gülle) zur Verfügung. Die Anlage ist schematisch in Abbildung 16 dargestellt.

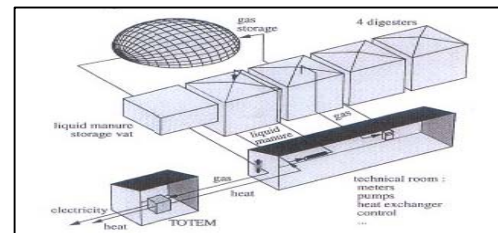


Abbildung 16: Schema der Anlage in Lully

Anhang III: Begleitmessungen

Ort/ Baujahr	Fermentereigenschaften (Volumen, Gärtemperatur, Verweilzeit, Trockensubstanz, Raumbelastung)	Substrate	Methanausbeute [l/kg oTS]
Dranco			
Niedersachsen D, 2006	900 m ³ 50 °C 29 d HRT 15.9 % TR 9,7 kg oTS/m ³ d	Maissilage (49%), Gersten GPS (10%), Schweinemist (7%), Sonnenblumen (13%), Roggen GPS (14%), Grassilage (6%), Rindermist (1%).	313
Bemerkungen: Die gute Methanausbeute dieser Anlage wird v.a. über die hohe Raumbelastung (9,7 kg oTS/m ³ d) erreicht. [3]			
Anacom (Pilotanlage)			
Tänikon CH, 1994	9.6 m ³ 32 / 50 °C 28 / 34 d HRT 16.5–19 % TR 4.4-8.7 kg oTS/m ³ d	Tretmist (Ochsenmist mit Weizenlangstroh)	153-184 / 138- 179 (Biogasausbeute: 265-317 / 265-345)
Bemerkungen: Die Anlage hat sich hinsichtlich Betriebssicherheit, Prozess-Stabilität und Energieertrag bewährt, wurde jedoch nicht weiterentwickelt. [1]			
Järna (Pilotanlage)			
Ytterneby S, 2003 (Messungen 2004)	71m ³ (53 m ³ TF +18 m ³ NF) 38 °C TF 22 d, NF 15 d HRT 15 % TR (TF) 7 kg oTS /m ³ d (TF)	Rinderkot (86%), Stroh (1%), Haferspels (13%)	TF: 71 NF: 96 Total: 162
Bemerkungen: Die durchschnittliche Gasproduktion liegt weit unter dem optimalen Wert. Die zweifache Erhitzung des Substrats führt zusätzlich zu einem hohen Energieverbrauch. [12]			
Linde			
2001	2500 m ³ mesophil 35 d HRT 35 TR 9.8 kg oTS /m ³ d	Maissilage, Grassilage, Ganzpflanzensilage, Körnergetreide, Lieschkolbensilage	320
Bemerkungen: Wie beim Dranco-Verfahren sind eine hohe Raumbelastung und eine gute Methanausbeute festzustellen. [3]			
Bioferm (Pilotanlage)			
Waldmünchen D, 2001 (Messungen 2002/2003)	52 m ³ 30-40°C 42-61 d HRT 20-55 % TR	Separate Vergärung von: Grassilage Rinderfestmist Landschaftspflegegrün Hühnermist Maissilage	97 116 96 84 116
Bemerkungen: Verzögerungen der Gasbildung bei Gras- und Maissilage (Versäuerung) und beim Hühnermist (hohe Ammoniumwerte) sind aufgetreten. Folglich muss viel Impfmateriel beigefügt werden (bis zu 85 %). Weitere Probleme: ungenügende Perkolatverteilung (→ Zonen mit geringer Vergärung), geringe Auslastung des Fermentervolumens durch Bauweise und hohe Impfmaterielanteile, grosse Sensibilität auf Temperaturschwankungen. Im Vergleich zu Literaturangaben (kontinuierliche Durchflussverfahren) wurden Methanerträge von lediglich 59 % erreicht. Weiter ergab eine Wirtschaftlichkeitsanalyse schlechte Resultate wegen den hohen Investitionskosten, was in Gegensatz zu den geringen Gaserträgen steht. [5] Messungen einer anderen Biofermanlage (Niedersachsen) haben bessere Ergebnisse der Methanausbeute geliefert: 273m ³ /kg oTR. Jedoch sind bei dieser Anlage erhebliche Probleme durch Zuwachsen der Perkolatleitungen beschrieben. [3]			

LOOCK (Pilotanlage)			
Pirow D (Messungen 2005)	4 * 150 m ³ (TF) + 2*1500 m ³ (NF) 21 d HRT 32 % TR	Maissilage 60 % FM Putenmist 13 % FM Impfmateri al 27 % FM	246 (Mittelwert) 300 (Maximum)
Bemerkungen: Die Methanerträge sind sehr zufrieden stellend. Durch mitgeführte Schwebstoffe im Prozesswasserkreislauf des Nachgärers wurde ein Film auf dem Substrathaufen im Trockenfermenter gebildet, der die Perkolation der Flüssigkeit durch das Substrat erheblich beeinträchtigte. Aus diesem Grund wurde einer der Reaktoren als Prozesswasserspeicher umgenutzt. [8]			
Anlage EREP: Lully (Pilotanlage)			
Lully	120 m ³ 30-35°C 45 d HRT 25-50 % TR	Schweinemist Rindermist Rasenschnitt Früchte- und Gemüseabfälle	141-221
Bemerkungen: Die Gasproduktion der Anlage hat die Erwartungen übertroffen. Auch mit sehr hohem Trockensubstanzanteil sind keine technischen Probleme aufgetreten. Eine Vorkompostierung zur Erhitzung der Substrate hat sich nur möglich erwiesen, wenn diese genug Strukturelemente erhalten.			

Tabelle 12: Begleitmessungen

Anhang IV: Anlagenbesuche

Bioferm, Tierpark Hellabrunn München (D)	
<i>Besuchsdatum</i>	21.05.2010
<i>Substrate</i>	Mist von den grasfressenden Tieren des Parks. Enthält viel Stroh, da häufiges ausmisten. Etwas mehr als 3000 t/Jahr. Lagerplatz nicht abgedeckt.
<i>Vergärung</i>	In 3 Boxen à ca. 100 m ³ , in einer davon befindet sich der Perkolattank von 18m ³ . Perkolatation wird 2 Tage vor dem Öffnen der Tore eingestellt. Einige Stunden vor dem Öffnen wird Luft eingeblasen, welche dann über einen Biofilter abgelassen wird (!). HRT 4 Wochen.
<i>Gärgut</i>	Wird an einen Biobauer der Region geliefert.
<i>Biogas</i>	Wird auf dem Dach der Anlage gespeichert, dann im 35 kWel-BHKW verwertet (läuft nicht durchgehend, da nicht genügend Biogas). Die Abwärme wird zur Beheizung der umliegenden Zoogebäude genutzt, der Strom ins Netz eingespielen. Bemerkung: es findet keine Gasreinigung statt.
<i>Investition</i>	1.2-1.5 Mio Euro
<i>Probleme</i>	- „Verstopfung“ der Gasleitungen durch Kondensat. Die Gasleitungen auf dem unebenen Gelände mussten neu verlegt werden und ein Kondensatfang eingebaut werden. - Ein Perkolattank von nur 1m³ war gebaut worden. Dieser musste durch einen grösseren ersetzt werden – aus Platzgründen musste dieser in einer der Boxen platziert werden → weniger Raum für die Vergärung.
<i>Bemerkungen</i>	Hohe Methanemissionen durch Luftspülung vor der Türöffnung (keine Fackel !)
<i>Sonstiges</i>	Seit kurzem werden täglich 200ml Spurenelemente in den Perkolattank gegossen. Seit dem sei die Biogasproduktion beträchtlich gestiegen. Die Biogasanlage wird vom Zoopersonal betreut, gehört aber der Stadt München. Der Zoo muss die Abwärme kaufen, ihr « Gewinn » ist einzig das ökologische Image.
Rückert, Familie Asum Dasing-Laimering (D)	
<i>Besuchsdatum</i>	21.05.2010
<i>Substrate</i>	Putenmist 8'000 t/a Maissilage 14'000 t/a
<i>Vergärung</i>	HRT 85 Tage
<i>Gärgut</i>	Jeder, der Substrate bringt, nimmt gleichviel Gärgut (in Bezug auf Nährstoffe) wieder mit; je nach Bedarf, flüssig oder fest.
<i>Biogas</i>	Biologische Entschwefelung im Gasspeicher, dessen Boden mit Gülle befüllt ist (wird alle 2 Wochen ausgewechselt). Wärme und Stromproduktion durch BHKW mit 526 kWel. Die Wärme wird zur Beheizung der Putenställe und zur Trocknung von Holzschnitzel und von Mais verwendet. Der Strom wird ins Netz gespielen (21.5 cte/kWh).
<i>Investition</i>	8 Mio Euro.
<i>Probleme</i>	Zu Beginn wurde das Prozesswasser rezykliert, was zu hohen Ammoniumwerten im Vergärer und einer Hemmung der Gasproduktion führte. Nun wird Frischwasser beigelegt und das Prozesswasser als Dünger verwendet (→ die Anlage gilt nun auch in Deutschland als Flüssiganlage). Mit Sand im Vergärer hatte er nie Probleme (Puten würden weniger Sand ausscheiden als Hühner...).
Extruder Fa. Lehmann, Padova (I)	
<i>Besuchsdatum</i>	31.05.2010
<i>Substrate</i>	Triticale Maissilage Total 50ha
<i>Vorbehandlung</i>	Das Substrat wird über einen Doppel-Extruder vorzerkleinert und gequetscht. Vorteil: Es wird schneller abgebaut und gibt gleich viel Gas bei einem rund 10% geringerem Substrateinsatz. Allerdings ist der Unterhalt des Extruders sehr

	aufwendig. Die einen Schnecken müssen alle 300 Stunden, die anderen alle 600 Stunden ersetzt werden. Der Landwirt hat einen Wartungsvertrag, der 1.2 €/kWh kostet.
<i>Vergärung</i>	CSTR, 2-stufig; HRT 65 Tage
<i>Biogas</i>	Wärme und Stromproduktion durch BHKW mit 990 kWel. Die Wärme wird zur Warmwasserproduktion und Beheizung des 500m entfernt liegenden Altersheim genutzt (eigene Fernwärmeleitung). Der Strom wird ins Netz eingespeist (28 cts/kWh).
<i>Investition</i>	Gesamtinvestition (mit Wärmeleitung) 3.6 Mio Euro, davon Extruder rund 120'000 €.
<i>Schlüsse (Hersteller)</i>	Der geringere Einsatz von NaWaRo erspart rund 10% der gesamten Substratkosten. Ein - im besten Fall – etwa gleich hoher Betrag für den Unterhalt und die Amortisation des Extruders und die Stromkosten muss für dessen Betrieb eingesetzt werden. Für die bestehende Anlage ergibt sich daher nicht zwingend ein Gewinn. Da dank der Vorbehandlung das Substrat schneller abgebaut wird, können aber zukünftige Fermenter kleiner gebaut werden, was zu einer deutlichen Kostenreduktion führt. Da zu erwarten ist, dass der Unterhalt des Extruders für den Betrieb mit strohhaltigem Hühnermist deutlich höher ist, ist es im Moment nicht möglich abzuschätzen, ob das Gerät wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Achse sollte aber weiter verfolgt werden.
Eisenmann, Biopower Nordwestschweiz, Ormalingen (CH)	
<i>Besuchsdatum</i>	16.06.2010
<i>Substrate</i>	Ein Drittel Hofdünger (Rindergülle, Hühnermist, Pferdemist), zwei Drittel Grüngut und industrielle Abfälle (dabei rund 1000t sterilisierte Schlachtabfälle pro Jahr) 6000 t/Jahr.
<i>Vergärung</i>	In dem liegenden Hauptfermenter verweilen die Substrate rund 60 Tage, im Nachgärer nochmals 22 Tage. Beide fahren mesophil mit einer Trockensubstanz von 12%.
<i>Gärgut</i>	Keine Separierung. Wird von Bauern als Dünger verwertet.
<i>Biogas</i>	Durchläuft einen Aktivkohlefilter und wird dann in einem BHKW (330 kW, Jenbacher) verwertet. Die Wärme wird in ein Fernwärmenetz gespiesen.
<i>Investition</i>	3.5 Mio CHF (inkl. Boden).
<i>Probleme</i>	Keine Angaben

Tabelle 13: Anlagenbesuche



Bau einer Biogasanlage in Belfaux (Schweiz)

PFLICHTENHEFT

Juni 2010

1. Projektbeschreibung

Die Familie Schenewey betreibt auf ihrem Hof in Belfaux eine Masthühnerzucht mit 10'000 Tieren. Der anfallende Mist soll in Zukunft in einer Biogasanlage verwertet werden. Der Rindermist eines Nachbarhofes und Abfälle aus der Fleischindustrie sollen ebenfalls mitvergärt werden, wobei letztere einer Hygienisierung unterzogen werden müssen.

Mit dem produzierten Biogas soll über ein BHKW Strom und Wärme hergestellt werden. Der Strom wird ins Netz eingespeist und die Wärme auf dem Hof zur Beheizung des Hühnerstalls, der Wohnung und eines Ateliers verwendet.

2. Grundlagen

2.1. Gärsubstrate

Die Gärsubstrate sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Substrat	Menge [t/Jahr]	Bemerkungen
Putenmist	300	Davon ca. 10 t Stroh, 290 t Hühnerkot
Rindermist	1'300	Hauptsächlich Festmist
Produktionsrückstände	300	Abfälle aus der Fleischverarbeitung (Hygienisierung)
TOTAL	1'900	

2.2. Standort

Der vorgesehene Standort für die Biogasanlage liegt in unmittelbarer Nähe des Hühnerstalls, auf dem Grundstück von Herrn Schenewey (650 M.ü.M.). Der Platz ist momentan nicht bebaut, jedoch auf leicht abfallendem Gelände.

3. Beschrieb der Biogasanlage

Die Biogasanlage besteht aus den folglich beschriebenen Anlagenteilen. Verbindungsleitungen (Strom, Kommunikation, Druckluft, Substrate) sind nicht explizit erwähnt, sind im Angebot jedoch zu beachten.

3.1. Substratlagerung und Aufbereitung

Die Substratlagerung ist nicht Teil des Pflichtenhefts. Die Aufbereitung soll getrennt von der Vergärung offeriert werden.

3.2. Substrateintrag

Die Substrate sollen jeweils in möglichst gleicher Zusammensetzung und homogen in die Vergärung eingeführt werden können.

3.3. Vergärung

Das Heizsystem sowie auch die Isolierung der Anlage sind Teil der Offerte. Die Planung kann auf folgende durchschnittliche Aussentemperaturen gestützt werden [°C]:

Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
-1	1	5	9	13	16	18	18	15	9	4	0

Der Hersteller soll die technischen Anwendungen der verwendeten Einrichtungen beschreiben. Die Statik und Dichtheit (Wasser, Gas) der Anlage müssen ausdrücklich garantiert werden.

3.4. Gärgutlager

Vorläufig ist keine Separierung des Gärguts vorgesehen. Ein Lager mit Speicherkapazität für 6 Monate muss vorgesehen werden.

3.5. Biogasverwertung

Das Biogas wird in einem BHKW verwertet (Teil der Offerte). Die nötige Aufbereitung des Biogases ist ebenfalls der Offerte.

3.6. Kontrollsystem

Ein einfaches Kontrollsystem zur Überwachung und Steuerung aller elektrischen Geräte muss angebracht werden.

3.7. Verschiedenes

Die folgenden Elemente müssen ebenfalls im Angebot enthalten sein:

- Schlosserei: Leitern, Treppen und Plattformen
- Blitzableiter
- Sicherheitsschilder
- Analysegeräte (Biogas, Substrate und Gärgut) mit Kosten sollen empfohlen werden

4. Unterhalt und Garantieleistungen

Der Hersteller soll einen Unterhaltsplan erstellen mit einer Schätzung der jährlich anfallenden Kosten. Garantieleistungen für Anlageteile sollen genannt werden.

Das Abnahme- und Prüfverfahren der Anlage wird zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt.

5. Inhalt des Angebots

Die Antwort des Herstellers auf diese Ausschreibung soll folgende Elemente beinhalten:

- Massenbilanz gemäss Tabelle 1
- Energiebilanz der Anlage, inkl.: Bruttogasproduktion (Nm^3/Jahr und kWh/Jahr), monatlicher Wärme- und Stromverbrauch (kWh/Monat)
- Offerte für die Planung, den Bau (Auflistung pro Kostenstelle), und die Inbetriebnahme
- Referenzliste.

Anhang VI: SwissEcoSystems – Anlagekonzept und Budget-Preise

Die System-Varianten:

Variante	Skizze
E500-P1	
E500-P2	
E500-P3	
E500-P4	
E500-P5	
E500-P6	
E500-Z-NG	
E500-Z-HY	

Die EcoGas⁵⁰⁰ als Ausbau-Variante E500-P6:

Fakten, Kenndaten und Inhalt unserer Lieferung

Basis-Produkt / Variante	EcoGas ⁵⁰⁰ / E500-P6
Herstellerin	SwissEcoSystems GmbH, Bülach ZH
Bau	Als GU, 2 Monate, TISG- und SUVA-Konform
Flüssiglager / Mischgrube	63m ³ / 195m ³
Fermenter	Aus Edelstahl 490m ³ , Doppelfolien-Gasspeicher
BHKW	60kW _{el} / 90kW _{th} , im Technik-Container
Halle und Gülletechnik	Halle 8x12m Pumpe mit 20m ³ pro Stunde, doppelter Steinfang, pneumatische Schieber
Steuerung	EcoGas ^{Logis} -Steuerung mit TouchScreen, Gärraum-Videoüberwachung, 5 verschiedene Betriebsmodi
Ausbaubare Komponenten	Substratwärmetauscher, Biofilter, geschlossene Halle, Hochdruckreiniger, Gastroabfallverarbeitung, Gasspeichererweiterung, thermophiler Betrieb, garantierte Verweilzeit und vieles mehr...
IBN	IBN in 72h möglich, Abnahme, Schulung, 12 Mt. Biotechservice

Budget-Preise der Gesamtanlage:

Legende	geschätzt	Alle Preise in CHF
Teilpositionen	E500-P6	Beschreibung
EcoGas E500-P6:	789'271.-	Inkl. Baugesuch, Bewilligungen, Abnahmen, Aushub Ohne Schnittstellen
Netzanbindung (100m):	25'000.-	
Wärmeanbindung (400m):	45'000.-	
Asphaltplatz (5*12m):	9'000.-	
Güllebodenleitung:	0.-	
Gülleanbindung:	10'000.-	
Neues Winterlager als Nachgärer:	0.-	1'000m ³ Nutzvolumen als Nachgärer
Summe EK und VK	878'271.-	
Inkl. 5% Unvorhergesehenes	922'185.-	



Anhang VII: Richtofferte Biogaskontor

22.10.2010

Seite 1

Mengen- und Energiebilanz für Biogasanlage

Schnell Sisu 40 kW

NovaEnergie Arthur Wellinger	Telefon: 0041 52 365 4310
Chatelstr. 21	Fax: 0041 52 365 4320
CH8355 Aadorf	Mobil:
Projekt Schenewey	E-mail:

Tierbestand	Großvieheinheiten	173				
	Gülmengen pro Tag	8,26	kg/d	pro Jahr	3013 t	91%
Biomasse	Nachwachsender Rohstoff von ca.	0 ha				
	161 Kg oTS/d	822 kg/d		pro Jahr	300 t	9%
Gesamtmenge Gülle und Nawaro					3313 t	

Fermenter	ø Durchmesser	Höhe	Brutto	Netto		
Gärbehälter 1	14	4	616 m3	539 m3 mit Betondecke	539 m3	Neu
Gärbehälter 2	0	0	0 m3	0 m3	0 m3	
	0	0	0 m3	0 m3	0 m3	
gasdicht	Summe		616 m3		539 m3	

BHKW-Leistung	Laufzeit	Verweildauer im Gärraum	59 Tage
40 kW elektr.	78%	Raumbelastung	1,6 kg/m3
46 kW therm.	18,7 h/d	Methangasertrag pro Tag	200 m3/Tag
114 kW FWL	6824 h/a	Pro Jahr	73.307 m3/Jahr

Substratmengen			
Inputsumme Gärsubstrat		Gesamtjahr	3313 m3
Abbau an Gärsubstrat durch Gas- und Wasserentzug	m³ pro Jahr	ca. -4%	-147 m3
Outputsumme Gärsubstrat	Gesamtjahr	3167 m3	Winterhalbjahr Sept- März 1583 m3
Regenwassermenge von Fahrsilofläche	0 m²	50% Flächenanteil	0 m3
Lagermenge im Winterhalbjahr m³			1583 m3

Güllelager	ø Durchmesser	Höhe	Brutto	Netto		
Nachgärbeh.	0	6	0 m3	0 m3 mit Folienhaube	100%	0 m3
Lager gasdicht	18	6	1527 m3	1476 m3 mit Betondecke		1476 m3
Lager neu	0	0	0 m3	0 m3		0 m3
Lager1 vorhanden	0	4	0 m3	0 m3 mit Folienhaube	vorhanden	0 m3
Lager2 vorhanden	0	5	0 m3	0 m3 offen	vorhanden	0 m3
						1476 m3
Lagerraum vorhanden für:		170 Tage	zusätzlich benötigtes Endlagervolumen			108 m3
Endlagerreserve:						0 m3

Fahrsilo	Lagerdauer 12 Monate	214 m3	Fahrsilobedarf	0 m3
	vorhandenes Fahrsilovolumen	300 m3	Fahrsiloreserve	86 m3

Input Monat	Raumbelastung kg oTS/m²d		Substrat,kg	org. TS, kg	Wassermenge in Liter zur Verdünnung auf		Gesamt kg
					oTS-Gehalt%	35,0%	
Januar	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
Februar	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
März	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
April	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
Mai	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
Juni	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
Juli	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
August	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
September	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
Oktober	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
November	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
Dezember	1,62		9.077	871	9,6%	0	9.077
		pro Jahr	3313 t	318 t	10%	0 m³/a	3313 t

BHKW							
Schnell Sisu	40 kW	Zündölanteil	6%	Elektr. Wirk.	35%	therm. Wirk.	40%
Laufzeit	18,7 h						
Monat		Methan m³/d	Bruttoenergie kWh	Elektr. Energ. kWh	Wärme kWh	Zündöl Liter	
Januar		200	64.988	22.746	25.995	390	
Februar		200	64.988	22.746	25.995	390	
März		200	64.988	22.746	25.995	390	
April		200	64.988	22.746	25.995	390	
Mai		200	64.988	22.746	25.995	390	
Juni		200	64.988	22.746	25.995	390	
Juli		200	64.988	22.746	25.995	390	
August		200	64.988	22.746	25.995	390	
September		200	64.988	22.746	25.995	390	
Oktober		200	64.988	22.746	25.995	390	
November		200	64.988	22.746	25.995	390	
Dezember		200	64.988	22.746	25.995	390	
Monatsdurchschnitt		6.109	64.988	22.746	25.995	390	
Jahressumme		73.307	779.859	272.951	311.944	4.679	

Gärbehälter 1	Oberfläche	535 m2	1	Beheizt ja=1/nein=0	
Gärbehälter 2	Oberfläche	1 m2	0		
0	Oberfläche	1 m2	0		
Lager gasdicht	Oberfläche	915 m2	0	Summe beheizte Flächen	535 m2

Isolierung:		Leitwert:		0,045 W/mK		Dicke:		8 cm	
		Gärtemperatur		42 °C					
		durchschnittl. Prozeßenergieanteil		27%		Wärme-verluste		Roh- Gülle- temp.:	
Monat		Temp.diff.: K		kWh/Tag				Aufheiz- energie kWh/Tag	Prozeß- energie in kWh
Januar		50 °K		361		4 °C		400	762
Februar		48 °K		347		5 °C		390	737
März		43 °K		311		6 °C		379	690
April		37 °K		267		10 °C		337	604
Mai		29 °K		209		12 °C		316	526
Juni		25 °K		181		16 °C		274	455
Juli		25 °K		181		19 °C		242	423
August		25 °K		181		20 °C		232	412
September		31 °K		224		18 °C		253	477
Oktober		37 °K		267		15 °C		285	552
November		43 °K		311		10 °C		337	648
Dezember		46 °K		332		6 °C		379	712

Wärmeenergieverbrauch für Hausheizung und Warmwasser

Jahres-wirkungsgrad: der vorhandenen Heizungsanlage 75%	Wohnungen	Wohnhaus m Hof	Stall am Standort Hühner	Mastschwein e	Wohnhaus m Hof	Atelier	Summen
Wohnfläche/Heizfläche qm	250	0	600	0	0	300	
Wärmebedarf W/qm	60	200	38	4,3	60	74	
Heizungswärmebedarf kW	15	0	23		0	22	60
Vollheizstunden/Jahr: h/a	1.700		5.000	3	1.700	1.700	
Heizenergieverbrauch kWh/a	25.500	0	114.000	0	0	37.740	177.240
Warmwasserbedarf							
Personen im Haus:	0	0	0	0	0	0	
Kopfverbrauch	50	50	50	50	50	50	
Warmwasserverbrauch Stall Liter	0		0		0		
Warmwasserenergieverbr kWh	0	0	0	0	0	0	0
Gesamtwärmebedarf netto kWh/a	25.500	0	114.000	0	0	37.740	177.240
Gesamtwärmebedarf brutto kWh/a	34.000	0	152.000	0	0	50.320	236.320
Heizöläquivalent Liter/a	3.400	0	15.200	0	0	5.032	23.632

Verteilung des Wärmeverbrauchs: Monat	Verteilung %	Verfügbare Energie (Gärbehälter- heizenergie bereits abgezogen) kWh/m	Bedarf für Externe Wärmenutzer, siehe oben kWh/m	Differenz Minus = Überschuß kWh/m	Restbed. kWh/m
Januar	11	2.766	19.496	16.730	16.730
Februar	10	3.528	17.724	14.196	14.196
März	9	4.951	15.952	11.000	11.000
April	9	7.559	15.952	8.393	8.393
Mai	7	9.964	12.407	2.443	2.443
Juni	6	12.131	10.634	-1.496	0
Juli	5	13.095	8.862	-4.233	0
August	6	13.417	10.634	-2.782	0
September	8	11.452	14.179	2.727	2.727
Oktober	8	9.166	14.179	5.013	5.013
November	10	6.237	17.724	11.487	11.487
Dezember	11	4.290	19.496	15.206	15.206
Summen:	100	98.556	177.240	78.684	87.195

Wärmeenergie gedeckt durch Biogas:	90.045 kWh/a
Anteil an Jahreswärmebedarfs	51%
Primärenergie: (Jahreswirkungsgrad)	120.060 kWh
das entspricht an Heizöl	12.006 Liter
das entspricht an Flüssiggas in kg	9.380 kg
das entspricht an Flüssiggas in Liter	18.384 Liter
das entspricht an Holz:	71 Festmeter

Düngemehrwert der Gülle bzw. des Festmists von	173 GV
Düngewertverbesserung bei Gülle als Ausgangssubstrat:	0 €/GV
Gesamtdüngewertverbesserung:	0 €

Ertrag aus Stromerzeugung:

Verteilung des Stromertrages:	tägl. Laufzeit	Leistung	monatl. Prod.
Monat	h	kW	kWh
Januar	18,7	40	22.746
Februar	18,7	40	22.746
März	18,7	40	22.746
April	18,7	40	22.746
Mai	18,7	40	22.746
Juni	18,7	40	22.746
Juli	18,7	40	22.746
August	18,7	40	22.746
September	18,7	40	22.746
Oktober	18,7	40	22.746
November	18,7	40	22.746
Dezember	18,7	40	22.746
Durchschnitt	18,7	40	22.746
Summe			272.951

Eigenverbrauch der Biogasanlage:

Rühren	3,00%	8.189	
Pumpe Dosierer	2,00%	5.459	
Heiz, GasLüftung	3,00%	8.189	
Gaskühlung	1,00%	2.730	
Summe Eigenverbrauch	9,00%	24.566	24.566 kWh/a

eingespeist werden mit Grundtarif **248.385 kWh/a**

	Grundtarif 2011					Summe Boni	
0 – 150 kW	11,44					0,00	Cts/kWh
150 - 500 kW	9,00					0,00	Cts/kWh
über 500 kW	8,09					0,00	Cts/kWh

2009

Erlös aus Grundtarif 248.385 11,44 Cts/kWh 28.410 **€/a**

Stromertrag aus Nebenprodukten, kein Navarobonus

Art	Frischmasse Tonnen	Ertrag kWh/toFM	Strommenge kWh/a	
	0	0	652	0 kWh/a

eingespeist werden mit Navarobonus und Güllebonus **248.385 kWh/a**

	Grundtarif 2011	Navaro-bonus	Gülle-bonus	Bimsch erfüllt (Formaldehyd)	Landschaft-Pflege Bonus	Summe Boni	
0 – 150 kW	0,00	6,86	3,92	1	0	11,78	Cts/kWh
150 - 500 kW	0,00	6,86	0	1	0	7,84	Cts/kWh
über 500 kW	0,00					0,00	Cts/kWh

2009

Erlös aus Bonusvergütung 248.385 11,78 Cts/kWh 29.263 **€/a**

Gesamtarbeitspreis in € pro Jahr:**57.672 €/a**

Arbeitspreise in Ct/kWh: Durchschnitt:

23,22 Cts/kWh

Mehrwertsteuer

0 Bei Vorsteuerabzug

0 €/a

Jährlicher Stromertrag, gesamt**57.672 €/a**

Investitionskosten

Beträge ohne MwSt.

NovaEnergie
 Chatelstr. 21
 CH8355 Aadorf

				Technische Einrichtung	Bauliche Einrichtung	Summe	Montage falls nicht bereits in Bauteilpreis enthalten
BHKW Grundpreis	Schnell Sisu 40 kW			39.000	0		€
Gasverdichter				-			€
Gasstrecke				1.900			€
Filter/Gaskühl				1.100			€
Wärmeauskopplung				1.550			€
Abgas-Wärmetauscher				enthalten			€
Abgasanlage und Abgasschalldämpfer				1.000			€
Heizungsverteiler und Ausdehnungsgefäß				2.000			€
Lüftungsanlage mit Schalldämpfern				1.000			€
Einbindung des BHKW und Inbetriebnahme				3.000			€
Kraftwärme-Anlage Summe						50.550	€
Gasfackel, Gasbrenner, manuell				3.000	0		€
Substratpumpe Rohgülle	Kreiselpumpe in Vorgrube			5.000	2.000		0 €
Substratpumpe							0 €
Güllerohre	PEHD geschweißt			0	6.000		0 €
Schiebertechik Substrat manuell				0	4.000		0 €
Überlaufkanal	Schwerkraftfluß	1 Anzahl		0	1.800		0 €
Ausrüstung für Gärbehälter	Behälter mit Betondecke			0	7.500		0 €
Ausrüstung für Lager gasdicht	Behälter mit Folie			0	7.600		0 €
Gasrohre	Erdleitungen PEHD geschweißt			0	6.000		0 €
Gasrohre	Edelstahl oberirdisch				2.000		0 €
Vorentschwefelung mit Luftdosierung		1 Stück		0	700		0 €
Elektroausrüstung für Gär- und Nachgärbehälter				0	2.500		€
Lieferung und Montage durch Biogaskontor Köberle GmbH						48.100	€
Dosiertechnik für Feststoffe	1,2 d	2 m3		14.000	3.000		0 €
Radlader, Teleskoplader				0	0		€
Rührwerke in Gärbehälter	1 REMA	1 Behälter		14.000	0		0 €
Rührwerk in Nachgärbehälter	1 SUMA FR	1 Behälter		15.000	0		0 €
Rührwerk in Güllelager	offen	0 Behälter		0	0		0 €
Rührwerke, Pumpen, Fahrzeuge						46.000	€
Gärbehälter 1	mit Betondecke	616 cbm		0	27.092		0 €
	Isolierung Boden	1 Behälter 170 m²		0	2.206		0 €
Isolierung Wand über Erdgleiche	1 Behälter	0 m²		0	0		0 €
Isolierung Wand unter Erdgleiche	1 Behälter	271 m²		0	3.529		0 €
	Decke-Überbeton	0 Behälter 0 m²		0	0		0 €
	Deckenisolierung	1 Behälter 158 m²		0	1.584		0 €
	Innen-Schutzfolie Decke	1 Behälter 158 m²		0	2.692		0 €
	Innen-Schutzf. 1m Wand	1 Behälter 44 m²		0	748		0 €
	Verkleidung außen	1 Behälter 88 m²		0	1.662		0 €
	Montage	1 Behälter		0	10.000		0 €
	Leckerkennung	1 Behälter 227 m²		0	4.086		0 €
						53.598	

Nachgärbeh.	mit Folienhaube	0 cbm	0	0	0€
	Isolierung Boden	1 Behälter	8 m²	0	0€
	Isolierung Wand	1 Behälter	8 m²	0	0€
	Decke-Überbeton	1 Behälter	0 m²	0	0€
	Deckenisolierung	1 Behälter	0 m²	0	0€
	Innen-Schutzfolie Decke	1 Behälter	0 m²	0	0€
	Innen-Schutzf. 1m Wand	1 Behälter	0 m²	0	0€
	Verkleidung außen	1 Behälter	0 m²	0	0€
	Montage	1 Behälter		0	0€
	Leckerkennung	1 Behälter	7 m²	0	0€
					0
Lager gasdicht	mit Betondecke	1527 cbm	0	44.276	0€
	Isolierung Wand	1 Behälter	347 m²	0	2.775
	Dämmasphalt	1 Behälter	254 m²	0	0
	Deckenisolierung	1 Behälter	254 m²	0	0
	Innenbeschichtung 1m Wand	1 Behälter	57 m²	0	961
	Verkleidung außen	1 Behälter	113 m²	0	2.114
	Montage	1 Behälter		0	6.000
	Leckerkennung	1 Behälter	346 m²	0	6.234
					62.360
Lager neu	mit Betondecke	0 cbm	0	0	0€
					0
Fahrsilo mit Erdarbeiten	26 €/cbm	0 m3	0	0	0€
Vorgrube	vorhanden	50 m3	0	8.000	0€
Sickersaftbehälter		0 m3	0	0	0€
Beton-Pumpenraum zw. Behältern	geschätzt		0	0	0€
BHKW-Gebäude massiv	geschätzt		0	20.000	0€
Gasspeicher-Doppelfolienhaube	18 m	440 m3	12.000	13.000	0€
Foliensack in Schutzraum		0 m3	0	0	0€
Stahlsilo für Gasspeicher		0 m3	0	0	0€
Bauliche Einrichtungen	Summe			53.000	€
Wegebau, Eingrünung	geschätzt		0	4.000	0€
Erdarbeiten Rohrleitungsgräben	geschätzt		0	2.000	0€
Entwässerungsschächte Gasleitung	geschätzt		0	4.000	0€
Erdarbeiten Behälter	geschätzt		0	20.000	0€
Außenanlagen	Summe			30.000	€
Wärmeleitung BHKW-Gärtank	50 m	38 €/m	0	1.900	0€
Wärmeleitung Haus, Stall	150 m	40 €/m	0	6.000	0€
Wandheizung Gärbehälter	1 Behälter		0	8.000	0€
Wandheizung Nachgärbehälter			0	0	0€
Heizungsanschluß Wärmenutzer			0	6.000	€
Zündöllager	4.679 l		0	6.000	0€
Wärmeanschluß und Zündöl	Summe			27.900	€
Anlagensteuerung			0	12.000	€
Elektroinstallation			0	20.000	€
Waage für Achslast/Fahrzeuge			0	0	€
Anschlußerweiterung Netz	Trafo und Kabel		0	10.000	€
Elektroinstallation	Summe			42.000	€

Umweltgutachter, Basis-Gutachten	0	0		€
Planung und Baubetreuung, Betreiberunterstützung	0	12.000		€
Architekt mit Bauleitung	0	7.000		€
Baugenehmigung	0	4.500		€
Gutachten Lärm Geruch	0	0		€
Sicherheits + Gesundheitskoordinator SiGeKo	0	1.500		€
Montage Lohnkosten/Fremdlöhne/Eigenleistung	0	10.000		€
Sicherheitsdokumentation, Abnahme	0	2.500		€
Nebenkosten	Summe		37.500	€
Gesamtkosten netto	113.550	337.458	451.008	0 €
Mehrwertsteuer 0 Bei Vorsteuerabzug	0	0	0	€
Gesamtkosten brutto	113.550	337.458	451.008	€

Kostenaufstellung auf der Basis von konkreten Angeboten (gekennzeichnet mit A) und Erfahrungswerten von realisierten Anlagen. Verschiebungen innerhalb einzelner Posten sind möglich. Eine Gewähr besteht nicht.

Erwin Köberle 22.10.10

Statische Wirtschaftlichkeitsrechnung:

	Technische Einrichtung	Bauliche Einrichtung	
Bruttosumme	113.550	337.458 €	
Nettosumme (ohne Mehrwertsteuer):	113.550	337.458 €	
Zuschuß: Diversifizierung Land BW			
berechneter Zuschuß:	0%	0	0 €
Verbleibende Investitionskosten:		451.008 €	

0%

Kosten				
		AfA	Investition	Kosten
Abschreibung				
Technik (Abschreib.)	8 Jahre	13%	113.550	14.194 €
Bauliche Anlagen (Abschreib.)	20 Jahre	5%	337.458	16.873 €
Abschreibungskosten			451.008	31.067 €
Zinsansatz vom 1/2 Neuwert:		5,50%	225.504	12.403 €
Zinsverbilligung, ohne Mwst.		0,00%	225.504	0 €
Versicherung				1.000 €
Wiederkehrende Prüfungen				400 €
Umweltgutachter, jährlich				0 €
Arbeitszeit	1 Stunden/d à	19 €/h		6.935 €
Wartungskosten BHKW				4.000 €
Wartungskosten Gärtechnik	3,00%			3.407 €
Zündölmenge (Biodiesel, etc.)		150 Cts/L		7.019
Aufwand für Maissilage	1607€/ha	29 €/Tonne		0 €
Aufwand für Maiszukauf	1897€/ha	34 €/Tonne		0 €
Aufwand für Grassilage	849€/ha	33 €/Tonne		0 €
Aufwand für GPS	1198€/ha	46 €/Tonne		0 €
Aufwand für Klee gras	1301€/ha	43 €/Tonne		0 €
Aufwand für Gersten-GPS	688€/ha	28 €/Tonne		0 €
Aufwand für CCM	1604€/ha	94 €/Tonne		0 €
Aufwand für Produktionsrücks	0€/ha	0 €/Tonne		0 €
Aufwand für D	950€/ha	34 €/Tonne		0 €
Aufwand für Sonnenblumen	1239€/ha	41 €/Tonne		0 €
Aufwand für D	238€/ha	30 €/Tonne		0 €
Transportk. Anlieferung Gülle	3013 to	2 €/Tonne		6.026 €
Transportk. Ausbringen Nawaro	300 to	0 €/Tonne		0 €
jährliche Kosten insgesamt		Summe		72.256 €

Nutzen:				
Stromertrag, ohne MwSt.:		40 kW Leistung		57.672 €
Wärmeertrag:	50 Cts/L	12006 Liter Heizöl		6.003 €
KWK-Bonus	0 Cts/kWh	177240 kWh	K-W-Faktor 0,88	0 €
Dungwertverbesserung				0 €
Gesamterträge pro Jahr:				63.675 €

Überschuß	-8.581 €
Vergütung für Arbeitszeit	6.935 €
Gesamterlöse	-1.646 €

CO2-Bilanz			
Wärme (Heizöl)	2,9	kg / L	34,8 to
Strom	0,9	kg / kWh	0,0 to
Zündöl (Heizöl)			-1,7 to
Gesamt-CO2-Einsparung			33,1 to/ Jahr

a. RotaCut

Als Nass-Zerkleinerer mit integriertem Schwergutabscheider ist der RotaCut bei Problemen mit Grob- und Faserstoffen, sowie bei Fremdkörpern in Pumpmedien geeignet. Diese werden abgeschieden, Grob- und Faserstoffe zerkleinert und das Medium gleichzeitig homogenisiert. So hält der RotaCut Fremdkörper aus Rohrsystemen fern, verhindert Verzopfungen und Verstopfungen und gewährleistet einen reibungslosen Betrieb.



Die auswechselbaren Schneidmesser aus Messerstahl sind im 4-flügeligen differentialgeteilten Messerrotor angeordnet und werden im RotaCut-Schneidkopf selbstnachstellend gegen das Schneidsieb gedrückt. Das aus gehärtetem Spezialstahl gefertigte Schneidsieb ist beidseitig verwendbar. Der ständige Kontakt von Messer und Schneidsieb gewährleisten höchste Effizienz in Funktion und Wirtschaftlichkeit. Die Wellenabdichtung zwischen Getriebemotor und Schneidkopf wird durch eine Gleitringdichtung mit Ölvorlage gewährleistet.

b. Drehkolbenpumpe Typ VX136-70Q

Drehkolbenpumpen kommen zum Einsatz, wenn robuste und leistungsfähige Pumpentechnik gefragt ist. Auch Medien mit hohem Feststoffanteil können damit gepumpt werden ohne Verstopfungen zu riskieren.

- Pumpe in Quick-Service-Ausführung mit einseitiger Wellenlagerung für einen schnellen Zugriff auf den Pumpenfördererraum durch Entfernen des stirnseitigen Abschlussdeckels.
- Selbstansaugend, trockenlaufunempfindlich, pulsationsfreie Förderung, drehrichtungsunabhängig
- Fördermenge: 15.00 m³/h
- Antriebsleistung: 2.1 kW



c. BioCrack

Beim BioCrack Verfahren wird die Zellwand der organischen Substanzen u.a. durch das Anlegen eines elektrischen Feldes (Hochspannung) destabilisiert. So behandeln erzielen Biogasanlagen einen bis zu 18% erhöhten Gasertrag. Auf Kläranlagen eingesetzt, reduziert das BioCrack System das Faulraumvolumen um bis zu 21% bzw. verringert die zu entsorgenden Feststoffmassen um bis zu 21%. Gleichzeitig wird auch hier der Gasertrag gesteigert. Bei den Einsatzbereichen ist gewährleistet, dass der Energieeinsatz unter dem Ertragszuwachs liegt, so dass die Effizienz der gesamten Anlage gesteigert wird.

- Leistungsbedarf je Röhre = 35 W
- Druck max. 5 bar
- Edelstahlrohr; innen DN 150, Innenelektrode aus PE, Länge ca. 1.5 m
- Elektr. Anschlussspannung 220 V, 50 Hz
- Hochspannung 10 – 100 KV

