



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

# KLEIN-BIOGASANLAGEN IN DER LAND- WIRTSCHAFT

## Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

**Fabian Reutlinger und Mathias Spicher, Genesys Biogas AG**

Balierestr. 29, 8500 Frauenfeld, reutlinger@genesys.ch, www.genesys.ch

**Hanspeter Jörg, Biogasanlagenbetreiber**

Käsereistr. 11, 8505 Pfyn, h.joerg@polarsano.ch

## **Impressum**

Datum: 7. Dezember 2007

**Im Auftrag des Bundesamt für Energie**, Forschungsprogramm Biomasse

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

BFE-Projektleiter: Bereichsleiter, [bruno.guggisberg@bfe.admin.ch](mailto:bruno.guggisberg@bfe.admin.ch)

Projektnummer: 101999

Bezugsort der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)

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

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	2
Résumé .....	2
Abstract .....	2
1. Ausgangslage .....	3
2. Ziel der Arbeit .....	5
3. Material und Methoden .....	6
4. Ergebnisse und Diskussion .....	7
4.1. Analyse bestehender Anlagen .....	7
4.2. Auslegung und Wirtschaftlichkeit von standardisierten Kleinbiogasanlagen.....	11
4.3. Potential zur Modernisierung bzw. Wiederinbetriebnahme bestehender anlagen .....	24
5. Schlussfolgerungen .....	27
Referenzen .....	28

## Zusammenfassung

Vorliegende Studie untersucht die Realisierbarkeit von landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlagen in der Schweiz. Im Rahmen dieser Studie wurde eine standardisierte Kleinbiogasanlage entworfen, welche den heutigen Ansprüchen genügt. Diverse bestehende Anlagen, welche hauptsächlich in den 70er- und 80er-Jahren gebaut wurden, sind im Rahmen dieser Studie besichtigt und technisch analysiert worden. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung der entworfenen Kleinbiogasanlage wurde durchgeführt.

Es hat sich gezeigt, dass die Rahmenbedingungen für Kleinbiogasanlagen nach wie vor sehr schlecht sind. Nur eine deutliche Erhöhung der Stromeinspeisegebühren könnte einen rentablen Betrieb der Anlagen ermöglichen. Gaseinspeisung ins Erdgasnetz und ausschliessliche Wärmeproduktion sind heute bei Kleinanlagen wirtschaftlich kaum realisierbar.

Viele Betreiber von bestehenden Kleinbiogasanlagen wurden befragt. Es hat sich gezeigt, dass nur sehr wenige ehemalige Betreiber von stillgelegten Anlagen eine Wiederinbetriebnahme ihrer Anlage für technisch möglich halten und diese wenig Interesse daran haben. Viel eher sind sie am Neubau einer Biogasanlage interessiert. Von den Anlagen, welche heute noch in Betrieb sind, möchte kaum ein Betreiber die Anlage in näherer Zukunft stilllegen. Diverse Betreiber erwägen jedoch den Ausbau ihrer bestehenden Kleinbiogasanlage.

## Résumé

L'étude présente évalue la viabilité des installations agricoles de biogaz de petite puissance en Suisse. Dans le cadre de cette étude, une installation standardisée de petite puissance a été projetée. Cette installation veut satisfaire les prétentions d'un exploitant moderne. Plusieurs installations, qui ont été construites dans les années soixante-dix et quatre-vingt, ont été visitées et analysées du point de vue technique. Un calcul de rentabilité de l'installation de biogaz de petite puissance a été effectué.

On a pu constater que la situation cadre pour des installations de petite puissance est toujours très mauvaise. Sans une augmentation importante des tarifs de rémunération pour l'alimentation du réseau électrique, une exploitation rentable des installations n'est pas possible. L'injection directe du biogaz dans le réseau de gaz et la production unique de chaleur ne sont aujourd'hui presque pas réalisables par rapport à sa rentabilité.

Beaucoup d'exploitants d'installations existantes de biogaz de petite puissance ont été interrogés. On a pu constater qu'une minorité des anciens exploitants d'installations abandonnées ont l'impression que leur installation peut être remise en marche. L'intérêt pour l'assainissement des installations abandonnées est très petit. Les anciens exploitants sont plutôt intéressés à construire une nouvelle installation. Les exploitants des installations qui sont encore en marche ne prévoient pas l'arrêt de leur installation dans les prochaines années. Plusieurs exploitants envisagent de moderniser leur installation existante de petite puissance.

## Abstract

The aim of this study is to examine the feasibility of smaller, agricultural biogas plants in Switzerland. An integral part of this survey was the designing of a standardised small biogas plant, according to the state of the art. Several existing plants - which have mainly been built in the 70s and 80s - have been accounted for in this survey and were technically analysed. A calculation of the profitability of the projected biogas plants has been carried out.

The survey showed that the general conditions for smaller plants are still rather poor. Only a considerable rise of the feed-in tariff of the produced green power would allow a profitable operation of such plants. The purification of biogas to supply into the natural gas grid as well as using the biogas exclusively for the production of heat, are barely profitable for such plants at present.

Many operators of existing, smaller agricultural plants have been interviewed. The survey showed that only few former operators of disused plants do believe that a reconnection of their plant is technically possible. Most of them do not take stock in such a reconnection but are interested in a new biogas plant. The operators of plants which are in use generally do not intend to shut down their plant in the near future. Most of the operators do - on the contrary - consider an extension or renewal of their existing agricultural biogas plant.

## 1. Ausgangslage

Anfang des 20. Jahrhunderts wurden in Deutschland erstmals Kläranlagen mit einer anaeroben Prozessstufe erstellt. In der Nachkriegszeit wurde auch die Landwirtschaft als möglicher Lieferant für Biogas entdeckt und in der Folge erste Anlagen erstellt. Aufgrund des tiefen Erdölpreises in den 60er Jahren kam aber die Entwicklung in Europa zum Stillstand. In China und Indien wurde die Entwicklung einfacher Biogasanlagen weiter vorangetrieben. In China wurden rund 5 Millionen Kleinstanlagen erstellt, in Indien rund 3 Millionen und in Nepal sind es bereits über 100'000 Anlagen. Viele dieser Anlagen sind sehr klein und besitzen ein Fermentervolumen von nur 6 bis 10 m<sup>3</sup>. [1]

Nach der Energiekrise 1973 erschien die Biogasgewinnung auch in Europa wieder in einem neuen Licht. Ende der 70er Jahre und in den 80er Jahren wurden in der Schweiz viele landwirtschaftliche Biogasanlagen gebaut. Dabei hat es sich vorwiegend um Anlagen für 50 bis 200 Grossvieheinheiten gehandelt. Schon damals waren die Energiepreise relativ hoch und man rechnete mit einer Energiepreissteigerung von ca. 5 % jährlich. Es wurden damals über 120 Biogasanlagen realisiert und betrieben. Meist waren es reine Hofdüngeranlagen. Zu diesem Zeitpunkt war die Schweiz weltweit führend in Biogasanlagenbau und -forschung. Durch sinkende Energiepreise erwiesen sich in der Folge vieler dieser Anlagen als unwirtschaftlich. Notwendige Reparaturen wurden nicht mehr ausgeführt und viele Anlagen wurden stillgelegt. Ein weiterer Grund für Stilllegungen waren grundlegende Mängel an den Anlagen wegen fehlender Erfahrung beim Bau. Häufig lohnte sich ein grösserer Umbau aus oben erwähnten Gründen nicht.

Ende der 80er Jahre und in den 90er Jahren wurden noch einige Anlagen gebaut, meist in Käsereien, welche die Energie optimal nutzen konnten, oder in der Landwirtschaft, um die Geruchsbelästigung durch die ausgebrachte Gülle zu reduzieren. Gleichzeitig wurde aber auch die Vergärung von Co-Substraten (organische Abfallstoffe) interessant und einige Kantone garantierten einen Minimalpreis für die eingespeiste Elektrizität. Dies machte Biogasanlagen wieder interessanter und es entstanden einige Anlagen, welche Co-Substrate vergärten, das Gas in Blockheizkraftwerken verwerteten und die Elektrizität ins öffentliche Netz einspeisten. Allerdings hatten diese Betriebe oft ein Problem, die anfallende Wärme sinnvoll zu nutzen. So wurden teilweise Wärmetauscher installiert, um die überschüssige Wärme an die Umwelt abzugeben, was ökologisch fragwürdig ist.

Parallel zur landwirtschaftlichen Vergärung entwickelte sich in der Schweiz auch die industrielle Feststoffvergärung. Anfang der 90er Jahre gingen die ersten Anlagen in Betrieb. Diese unterschieden sich von landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlagen entscheidend. Sie basierten nicht auf landwirtschaftlichen Substraten und die verarbeiteten Substratmengen und die Investitionskosten waren bedeutend höher. Industrielle Anlagen werden auch heute noch gebaut.

Beim Bau von neuen landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird heute wieder vermehrt darauf geachtet, dass die anfallende Überschusswärme genutzt werden kann. Durch die aktuell hohen Erdölpreise macht dies auch aus wirtschaftlichen Gründen Sinn. Auch heute werden fast alle landwirtschaftlichen Anlagen mit BHKW ausgerüstet. Die Wärme kann zur Hygienisierung von Speiseabfällen, zur Kompostierung des Gärgutreststoffs, für das Wohnhaus oder für einen Fernwärmeverbund genutzt werden. Es ist ebenfalls möglich das Biogas zu Erdgasqualität aufzubereiten und es danach ins öffentliche Gasnetz einzuspeisen. Die erste landwirtschaftliche Biogasanlage mit Gasaufbereitung wurde im Jahr 2007 durch die Genesys Biogas AG erstellt. Die Kosten für eine Gasaufbereitungsanlage sind sehr hoch, wodurch die Gaseinspeisung nur für sehr grosse Biogasanlagen eine Alternative darstellt.

Der Trend geht heute zu immer grösseren Anlagen mit höherer elektrischer Leistung. Diese verarbeiten neben landwirtschaftlichen Produkten grosse Mengen an Co-Substraten und müssen teilweise sogar aus raumplanerischen Gründen in die Industriezone ausweichen. Die hohen Investitionskosten können in der Regel nicht mehr von einem durchschnittlichen schweizerischen Landwirtschaftsbetrieb getragen werden. Daher muss die Finanzierung immer häufiger durch Banken oder Contractors sichergestellt werden. Dadurch begibt sich der Landwirt in eine unternehmerische Abhängigkeit. Die grossen verarbeiteten Stoffmengen bedingen grosse Transportdistanzen für Substrate, aber nicht zuletzt auch für die Endprodukte nach der Vergärung. Gerade auch in Bezug auf die Nährstoffbilanz eines Landwirtschaftsbetriebs ist eine grosse Zufuhr an Co-Substraten problematisch.

Kleinere Anlagen wurden in den letzten Jahren kaum mehr gebaut. Doch es gibt nach wie vor viele landwirtschaftliche Betriebe, welche Interesse haben an kleineren Biogasanlagen. Die Gründe dafür sind vielfältig.

Die vorliegende Studie versucht die Rahmenbedingungen aufzuzeigen, unter welchen Kleinbiogasanlagen erfolgreich betrieben werden können. Wichtig ist dabei nicht nur die Rentabilität, sondern nicht zuletzt auch ein technisch problemloser Betrieb der Anlage.

## **2. Ziel der Arbeit**

Durch den Bau von Kleinbiogasanlagen kann das riesige Energiepotential in Hofdüngern genutzt werden. Vorliegende Untersuchungen orientieren sich am aktuellsten Stand der Technik und beziehen die in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen mit ein. Es wird eine Standardanlage berechnet und deren Investitionskosten werden abgeschätzt. Die Studie soll aus dieser Kostenschätzung die Energiepreise errechnen, welche einen kostendeckenden Betrieb dieser Anlagen gewährleisten können. Durch eine Standardisierung der Anlage könnten die Kosten in Zukunft eventuell gesenkt und die Realisierbarkeit von Kleinanlagen erhöht werden.

Es werden ausschliesslich landwirtschaftliche Anlagen betrachtet. Industrielle Kleinbiogasanlagen sind nicht realistisch, da die Kosten deutlich über jenen von landwirtschaftlichen Anlagen liegen. Die Anlagen sollen mit möglichst geringen Mengen an Co-Substraten betrieben werden. Dadurch ist die Anlage wirtschaftlich weniger abhängig, es fallen weniger Transporte an und die Investitionskosten sind tiefer, da kein Feststoffeintrag und keine Separierung bzw. Kompostierung benötigt wird. Da sich dadurch die Endproduktmengen nur wenig erhöhen, kann in der Regel auf das Erstellen von neuen Endlagern verzichtet werden. Sämtliche Nährstoffe sollen auf den betriebseigenen Flächen eingesetzt werden können.

Ausserdem soll diese Studie die Möglichkeiten und das Potential zur Wiederinbetriebnahme und Modernisierung von alten stillgelegten Anlagen aufzeigen.

### 3. Material und Methoden

Um bestehende Kleinanlagen und deren Konzeption zu analysieren wurden im März und im April 2007 von Hanspeter Jörg zehn Landwirtschaftsbetriebe mit Biogasanlagen kontaktiert und gezielt befragt. Auf den meisten der Betriebe wurden Besuche vorgenommen, um die Situation genauer besprechen zu können. Da eine relativ geringe Anzahl an Betrieben besucht werden konnte und die Anlagen sehr grosse bauliche und konzeptionelle Unterschiede aufwiesen, war eine statistische Auswertung dieser Daten nicht möglich.

Aufgrund der Erkenntnisse aus obengenannter Umfrage wurde versucht eine moderne Kleinanlage zu konzeptionieren. Um die Kosten dieser zu schätzen wurden diverse Lieferanten von Komponenten angegangen, um den Stand der Technik, die Verfügbarkeit und die Preise der möglichen Komponenten abschätzen zu können. Aufgrund der technischen Parameter und der Preise wurden darauf zwei unterschiedliche Kleinbiogasanlagen ausgelegt, die den heutigen Ansprüchen genügen sollen. Die beiden Anlagen unterscheiden sich vorwiegend im Fermentervolumen.

Um die Wirtschaftlichkeit der beiden Anlagentypen zu errechnen bzw. um den Preis des Biogases abzuschätzen wurden zwei verschiedene Musterbetriebe entworfen. Für beide Musterbetriebe wurde jeweils eine Biogasanlage mit und eine Biogasanlage ohne Co-Substrate durchgerechnet. Daraus ergaben sich vier Musterbiogasanlagen. Für diese vier Musteranlagen wurden die Nutzungsmöglichkeiten des produzierten Biogases untersucht. Für die Stromproduktion mittels BHKW wurde der minimale Strompreis berechnet, der notwendig ist, um eine Rentabilität der Anlage gewährleisten zu können. Insgesamt wurden für die vier Musteranlagen mit Stromnutzung sechs Varianten untersucht.

Es wurden die Möglichkeiten zu einer Senkung der Stromgestehungskosten diskutiert. Dabei spielt insbesondere das Potential zur Senkung der Investitionskosten durch Standardisierung der Kleinanlagen (Serienproduktion) eine entscheidende Rolle.

Es wurden Gaseinspeisung, direkte Gasnutzung vor Ort und Wärmeproduktion diskutiert und die Wärmeproduktionskosten der vier Musteranlagen berechnet. Es wurde ein Gasnetzbetreiber kontaktiert, um die Möglichkeit einer direkten Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz besser abschätzen zu können.

Eine Möglichkeit zur Unterstützung durch die Stiftung Klimarappen und die Stiftung myclimate wurde abgeklärt. Die Stiftung myclimate wurde telefonisch kontaktiert und ein Kauf von Emissionsreduktionen durch Kleinbiogasanlagen besprochen.

Es wurden zwei Stromnetzbetreiber telefonisch kontaktiert und befragt, wie sie die Chancen für Kleinbiogasanlagen-Strom auf dem Markt schätzen.

Mittels einer Telefonumfrage wurde eine grössere Stichprobe an Betreibern von bestehenden Kleinbiogasanlagen angegangen. Die Stichprobe wurde zufällig aus einer Liste von Anlagenbetreibern ausgewählt, die der Genesys Biogas AG vorlag. Diese Telefonumfrage wurden in den Monaten September und Oktober 2007 durchgeführt. Es wurde zwischen stillgelegten Anlagen und solchen, die noch in Betrieb sind, unterschieden. Bei stillgelegten Anlagen wurde die Möglichkeit einer Wiederinbetriebnahme bzw. das Interesse an einem allfälligen Neubau erfragt. Zum Abklären des Interesses an einem Ausbau, einer Modernisierung bzw. an einem möglichen Neubau der Anlage, wurden Anlagenbetreiber angegangen, deren Anlage noch in Betrieb ist.

Die statistischen Auswertungen wurden mit R (Version 2.5.1, R Foundation for statistical computing, 2007) durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt. Für die Feststellung der signifikanten Effekte wurde der Kruskal-Wallis-Test angewandt, da keine Normalverteilung vorausgesetzt werden konnte und die Anzahl der Stichproben ungleich war.



## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1. ANALYSE BESTEHENDER ANLAGEN

In einer ersten Befragung wurden zehn Betriebe besucht. Bei den Besuchen wurde das Hauptaugenmerk auf die technischen Komponenten der Anlagen gelegt. Die Betreiber wurden dabei ausführlich über ihre Anlagen befragt.

Aus diesen Daten wurde die Musteranlage ausgelegt, welche in Kapitel 4.2 genauer beschrieben ist. In einer zweiten Befragung wurde versucht das Potential zur Modernisierung und Wiederinbetriebnahme bestehender Anlagen abzuschätzen bzw. Gründe für eine Stilllegung bestehender Anlagen zu finden. Die Resultate dieser Umfrage sind in Kapitel 4.3 beschrieben.

Im Folgenden soll auf die einzelnen Komponenten kurz eingegangen werden. Aufgrund der geringen Anzahl der Besuche und den grossen Unterschieden zwischen den einzelnen Anlagen ist eine statistische Auswertung der Daten nicht möglich.

#### 4.1.1. Vorgrube

Bei den Anlagen aus den 70er und 80er Jahren wurden Vorgruben von sehr unterschiedlichen Volumina erstellt. Es wurden kleine Vorgruben von ca. 10 m<sup>3</sup> bis zu grossen Vorgruben von ca. 150 m<sup>3</sup> installiert. Natürlich ist es aus ökonomischen Gründen sinnvoll eine möglichst kleine Vorgrube zu erstellen, um die Investitionskosten tief zu halten. Trotzdem hat es sich in der Praxis gezeigt, dass es sinnvoll ist die Vorgrube derart zu dimensionieren, dass die Mischung in der Vorgrube reicht, um den Fermenter während einer Woche zu beschicken. Dadurch kann die Zusammensetzung der Substratmischung konstant gehalten werden, was sich positiv auf die Vergärung auswirkt. Insbesondere bei der Zugabe von Co-Substraten sind grosszügig dimensionierte Vorgruben sinnvoll. Auch hilft eine grosse Vorgrube den Arbeitsaufwand des Anlagenbetreibers zu reduzieren, indem er weniger regelmässig anmischen muss. Dadurch werden Biogasanlagen auch für landwirtschaftliche Betriebe interessant, deren Betriebsleiter einem Nebenerwerb nachgeht und ganze Tage vom Betrieb abwesend ist.

Ein Motiv für den Bau einer kleinen Vorgrube war oftmals der Verzicht auf die Annahme von Co-Substraten. Die Hofdünger fallen kontinuierlich an, wodurch die Vorgrube kein Stapelvolumen für grössere Lieferungen beinhalten muss. Allerdings hat es sich gezeigt, dass viele Betreiber von kleinen Biogasanlagen trotzdem beschränkte Mengen von Co-Substraten angenommen haben. Die Annahme der Co-Substrate hat nicht nur den Gasertrag der Anlage erhöht, sondern auch durch die Entsorgungsgebühren, einen angenehmen Nebenverdienst generiert. Für die Annahme von Co-Substraten sind eine grosszügige Dimensionierung der Vorgrube und ein Einwurfschacht zu empfehlen. Eine Verschlussklappe für den Einwurfschacht hilft die Geruchsemissionen zu verringern und ist insbesondere bei der Annahme von geruchsintensiven Stoffen wie Darm- oder Panseninhalt zu empfehlen.

In der Regel wurden für Vorgruben eckige Unterflurbehälter gewählt. Diese sind einfach zu erstellen und oftmals konnte vom Anlagenbetreiber viel Eigenleistung erbracht werden. Problematisch ist oftmals die Rührleistung in den Ecken, vor allem wenn diverse unterschiedliche Substrate in der Anlage verarbeitet werden sollen. Ein Ausfüllen bzw. Abrunden der Ecken könnte dieses Problem entschärfen. Inzwischen werden immer häufiger auch runde Unterflurbehälter erstellt. Diese sind heute nicht mehr bedeutend kostenintensiver als eckige Behälter, doch kann beim Bau weniger Eigenleistung erbracht werden. Trotzdem sind sie für Biogasanlagen eine Alternative zu herkömmlichen, eckigen Vorgruben, da die Rührleistung entscheidend besser ist.

Das Durchmischen der Vorgrube war in den 70er und 80er Jahren eine häufige Kinderkrankheit von Biogasanlagen. Entsprechend musste regelmässig bereits nach kurzer Betriebszeit, die Vorgrube mit einem leistungsstärkeren Rührwerk aufgerüstet werden. In gewissen Fällen wurden gar zwei Rührwerke installiert, um auch Substrate mit hohem Trockensubstanzgehalt wie Hühnermist einarbeiten zu können. In der Regel ist es aber wohl empfehlenswert auf derartige Substrate zu verzichten und dafür auch mit einer geringeren Rührleistung ein problemloses Vermischen der Substrate in der Vorgrube zu erreichen.

Für die Annahme der Substrate hat es sich bewährt die Zufahrt zur Vorgrube genügend gross zu dimensionieren, damit auch kleine Lastwagen direkt zur Vorgrube gelangen können.

#### 4.1.2. Beschickung Fermenter (insb. Pumpe)

Für die Beschickung des Fermenters ist der Einbau einer Pumpe zu empfehlen. Auf einzelnen Anlagen wurde die Vorgrube über dem Fermenter erstellt und versucht den Fermenter durch freien Einlauf ohne Pumpe zu beschicken. In diesen Beschickungsleitungen kam es regelmässig zu Verstopfungen,

wodurch Pumpen nachgerüstet werden mussten. Bei der Dimensionierung der Beschickungsleitung sollte ein genügender Durchmesser gewählt werden, um Verstopfungen zu vermeiden.

Es kamen verschiedene Pumpentypen zum Einsatz. Zu nennen sind unter anderen folgende Typen:

- Schneckenpumpe
- Drehkolbenpumpe
- Zentrifugalpumpe
- Tauchschneidpumpe
- Schnetzlerpumpe

Schneckenpumpen und Drehkolbenpumpen haben sich in der Regel als sehr problemlos erwiesen. Bei beiden kommt es kaum zu Verstopfungen und sie sind unempfindlich auf weiche Feststoffe. Bei der Schneckenpumpe ist allerdings zu beachten, dass sie relativ geringe Fördermengen aufweist. Die Drehkolbenpumpe saugt dafür schlecht an und die Erstellung eines Pumpenschachts ist für eine Kleinbiogasanlage aus Kostengründen nicht zu empfehlen. Zentrifugalpumpen haben nach Angaben von Praktikern Probleme mit Feststoffen und sind daher eher nicht zu empfehlen. Tauchschneidpumpen und Schnetzlerpumpen sind relativ teuer, können aber dafür nicht nur für die Beschickung, sondern auch für das Mischen der Vorgrube verwendet werden.

#### **4.1.3. Fermenter**

Heute werden Fermenter in Deutschland wie in der Schweiz überwiegend stehend, rund, oberirdisch und aus Beton erstellt. Es gibt einige Hersteller, welche runde Unterflurbehälter oder Stahlbehälter verwenden. Andere Fermentersysteme sind heute eher unüblich.

Früher wurden viele verschiedene Fermentertypen erstellt. Diese unterschieden sich vor allem in folgenden Punkten:

- Bauart: oberirdisch oder unterirdisch
- Form: rund oder viereckig (teilweise wurden auch achteckige oder ovale Behälter erstellt)
- Lage: stehend oder liegend (vor allem für runde Behälter relevant)
- Baumaterial: Stahl, Email, Kunststoff, Beton, Holz etc.

Bei der Bauart hat sich eigentlich keine der beiden Formen durchgesetzt und es kann aus den Befragungen mit Betreibern auch keine klare Aussage gemacht werden. Heute werden viele Fermenter oberirdisch erstellt, da der Gasspeicher direkt über dem Behälter installiert wird und dies bei unterirdischen Behältern problematisch sein kann. Soll der Gasspeicher aber extern erstellt werden, ist gegen einen unterirdischen Behälter an sich nichts einzuwenden. Es gibt diverse eckige, unterirdische Fermenter, welche bereits über zwanzig Jahre in Betrieb sind und nach wie vor funktionieren, obwohl sie eigentlich sehr einfach konzipiert wurden. Bei unterirdischen Behältern ist zu beachten, dass bei Verzicht auf eine Isolierung unbedingt eine Sickerleitung zu erstellen ist, um Wasser schnell abzuleiten. Ansonsten kann es zu Problemen mit der Fermentertemperatur kommen.

Bei der Form sind runde Behälter aus rührtechnischen Gründen gegenüber eckigen Behältern zu bevorzugen. Bei Betonfermentern waren früher eckige Behälter relativ verbreitet, da dadurch mehr Eigenleistung möglich war oder lokale Unternehmen den Behälter erstellen konnten. Bei runden Betonbehältern muss in der Regel auf professionelle Behälterbauer zurückgegriffen werden. Bei runden, überhohen, stehenden Behältern kann die Rührwirkung ungenügend sein. Behälter mit grösserem Durchmesser und geringerer Höhe sind daher zu bevorzugen.

Die meisten Behälter wurden stehend erbaut. Doch stellen liegende, runde Stahlfermenter eine gute Alternative zu stehenden Behältern dar. In diesen kann eine sehr gute Rührleistung gewährleistet werden.

Von der früheren Vielfalt an Materialien für den Fermenterbau sind hauptsächlich Beton und Stahl übriggeblieben, wobei ein sehr grosser Anteil der Fermenter in Deutschland und der Schweiz in Beton erstellt werden. Holzfermenter sind nur sehr wenige erstellt worden und stellen ein Nischenprodukt dar. Sie sind aus ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll und relativ günstig. Kunststoff war in den 70er und 80er Jahren ein beliebter Baustoff für die Erstellung von Fermentern. Er hat sich damals durch eine leichte Bauweise und relativ günstige Preise bewährt. Aus heutiger Sicht sind vor allem die relativ starken Einschränkungen des Fermentervolumens problematisch, da diese selbst für Kleinanlagen relativ gering sind. In Zukunft werden Kunststofffermenter wohl kaum mehr erstellt werden; den-

noch werden noch eine ganze Weile Kunststofffermenter auf bestehenden Biogasanlagen in Betrieb bleiben.

Stahlfermenter sind auch heute noch aktuell. Es gibt diverse Anbieter, welche nach wie vor Fermenter aus Edelstahl anbieten. Bedenken gibt es vor allem im Zusammenhang mit den steigenden Stahlpreisen. Liegende Stahlbehälter wurden in den letzten Jahren auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen kaum mehr eingesetzt. Doch haben sich diese in der Vergangenheit relativ gut bewährt und es spricht nichts gegen liegende Stahlbehälter, welche sich insbesondere durch eine gute Durchmischung der Substrate auszeichnen.

Betonfermenter werden auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen weitaus am häufigsten eingesetzt. Auch Stahlbeton ist in den letzten Jahren durch steigende Stahlpreise deutlich teurer geworden. Die Erstellung von runden Betonbehältern ist in der Landwirtschaft inzwischen weit verbreitet und preislich können die runden Behälter problemlos mit eckigen Behältern konkurrenzieren. Runde Betonbehälter können ober- oder unterirdisch erstellt werden.

#### **4.1.4. Fermenterrührwerk**

Vorausgeschickt werden muss, dass die Rührwerktypen von den verschiedenen Anbietern nicht immer gleich benannt werden. Teilweise werden ähnliche Rührwerke völlig unterschiedlich bezeichnet. Zusätzlich kursieren diverse registrierte Produktnamen, was zusätzlich zur Verwirrung beiträgt. Der Autor vorliegender Untersuchung hofft, dass die verwendeten Bezeichnungen verständlich sind.

Dadurch dass früher viele verschiedene Fermentertypen gebaut wurden, kamen auch diverse Rührwerke zum Einsatz, da die einen besser für eckige Fermenter, andere besser für hohe Fermenter und wieder andere besser für liegende Fermenter geeignet waren.

Die meisten langjährigen Betreiber berichten von Problemen mit Fermenterrührwerken, insbesondere in der Anfangsphase. In der Regel wurden erst relativ leistungsschwache und wenig stabile Rührwerke eingebaut, um Kosten zu sparen, welche danach durch stabilere leistungsstärkere Rührwerke ersetzt werden mussten.

Bei liegenden Fermentern haben sich Stachelrührwerke sehr bewährt. Diese vermeiden Schwimmdecken trotz ihrer tiefen Leistung zuverlässig. Durch die tiefe Leistung der Motoren kann Energie eingespart werden, welche dadurch für den Verkauf zusätzlich zur Verfügung steht. Generell scheinen liegende Fermenter bezüglich Rührens gut geeignet zu sein.

Bei stehenden Fermentern haben sich Haspelrührwerke, Propellerrührwerke und Tauchmotorrührwerke bewährt. Alle weisen allerdings bedeutend höhere Leistungen und einen entsprechend höheren Stromverbrauch auf als Stachelrührwerke. Haspel- und Propellerrührwerke eignen sich vor allem bei Behältern mit Betondeckel, da sie ansonsten nicht verankert werden können. Für das Kompaktsystem mit Gasspeicher direkt über dem Gärbehälter sind sie wenig geeignet.

Bei Tauchmotorrührwerken (welche auch Tauchpropeller bzw. Schiffschrauben genannt werden) ist vor allem auf eine günstige Positionierung zu achten. In der Regel sind zwei Rührwerke zu empfehlen, wobei eine dem Aufbrechen der Schwimmschicht dienen sollte und eine zweite für die Durchmischung sorgt. Bei Installation von zwei Rührwerken kann die Leistung der Rührwerke reduziert werden.

Preislich ist zu beachten, dass insbesondere Haspelrührwerke relativ günstig sind. Propeller- und Tauchpropellerrührwerke sind teurer, aber ebenfalls empfehlenswert für Kleinbiogasanlagen.

Es gibt diverse weitere Rührwerktypen wie etwa Tangentialrührwerke, welche bis vor ein paar Jahren regelmässig in Biogasanlagen eingesetzt worden sind. Diese haben sich oft als zu wenig stabil erwiesen und die Wartung dieses Rührwerktyps ist aufwändig. In modernen Biogasanlagen ebenfalls eingesetzt werden unter der Bezeichnung "Rührgigant" Tauchmotorrührwerke, welche auf schwenkbaren Rohren befestigt sind.

Es hat sich gezeigt, dass Umpump- bzw. Umspühsysteme für Biogasanlagen wenig geeignet sind.

#### **4.1.5. Gasspeicher**

Bezüglich Gasspeichers ist relativ wenig zu bemerken. Gasspeicher werden bei langjährigen Anlagenbetreibern kaum diskutiert. Daraus ist zu schliessen, dass wenige Probleme aufgetreten sind.

Bei den älteren Anlagen wurden in der Regel externe Gasspeicher verwendet, teilweise wurde sogar ganz auf Gasspeicher verzichtet. In den 90er Jahren kam das sogenannte Kompaktsystem auf, bei welchem der Gasspeicher direkt über dem Gärbehälter angebracht ist (Gasballon). Durch das Kompaktsystem können in der Regel Kosten pro Gasspeichervolumen eingespart werden. Es eignet sich

aber vor allem bei oberirdischen runden Behältern, welche einen genügenden Durchmesser aufweisen. Die Erfahrungen mit Gasballonen sind sehr zufriedenstellend. Auch externe Gasspeicher aus Kunststoffgewebe haben sich bewährt. Diese können im Freien oder in Gebäuden untergebracht werden. Bei der Installation im Freien sind die Bestimmungen bezüglich Brandschutzes mit den Behörden zu klären und es ist zu beachten, dass nicht alle angebotenen Gasspeicher UV-beständig sind.

#### **4.1.6. Gasnutzung (insb. Gasbrenner und BHKW)**

Währenddessen früher viele Biogasanlagen mit Gasbrennern ausgerüstet wurden, wird das Gas in fast allen neu erstellten landwirtschaftlichen Anlagen in einem BHKW genutzt und daraus Strom und Wärme produziert. Wobei das Hauptprodukt und die Haupteinnahmequelle der Strom darstellt, welcher als Ökostrom vermarktet werden kann. Derzeit ist die erste landwirtschaftliche Anlage mit Gaseinspeisung der Schweiz im Bau. Gaseinspeisung wird voraussichtlich auch in Zukunft für Kleinbiogasanlagen kaum an Bedeutung gewinnen, da die Erdgaspreise nach wie vor sehr tief sind und die Gasnetzbetreiber wenig Interesse an Biogas aus Kleinanlagen zeigen (siehe Kapitel 4.2.2).

In den 70er und 80er Jahren wurde mit einem weiteren Anstieg der Preise für fossile Energiequellen gerechnet. So wurden viele Biogasanlagen mit Gasbrennern ausgerüstet, um Wärme zu produzieren. Obwohl die Erdöl und Erdgas-Preise derzeit sehr hoch sind, können Biogasanlagen kaum mit anderen Energieträgern konkurrenzieren (siehe Kapitel 4.2.4). Aus wirtschaftlichen Gründen spricht heute wenig für die Installierung eines Gasbrenners, obwohl Gasbrenner bedeutend tiefere Investitionen aufweisen und im Betrieb in der Regel relativ problemlos sind. Bei der Nutzung des Biogases in einem Gasbrenner kann auf eine Entschwefelung verzichtet werden.

Blockheizkraftwerke waren in den 80er Jahren noch sehr wenig ausgereift. Meistens zum Einsatz kamen sogenannte Totems mit sehr tiefer elektrischer Leistung und hohem Wartungsaufwand. Heute präsentiert sich die Situation völlig anders. Moderne BHKW erreichen elektrische Wirkungsgrade von 32 - 40 % und der Wartungsaufwand hält sich in Grenzen. Da sich gleichzeitig die Rahmenbedingungen für die Ökostromproduktion entscheidend verbessert haben, kommt heute für Kleinbiogasanlagen eigentlich nur noch die Gasverwertung im BHKW in Frage, obwohl die Investitionen in ein BHKW relativ hoch sind.

Mikroturbinen sind nicht zu empfehlen, da diese tiefe Wirkungsgrade aufweisen.

#### **4.1.7. Co-Substrate in Kleinbiogasanlagen**

Prinzipiell spricht nichts gegen die Annahme von Co-Substraten in Kleinbiogasanlagen. Wichtig ist allerdings, dass die Co-Substrate in geringen und möglichst regelmässigen Mengen anfallen. Falls viele trockene Hofdünger vorhanden sind wie Pferdemist oder Hühnermist, sollte auf trockene Co-Substrate wie Getreideabgang verzichtet werden. In Kleinbiogasanlagen ist aus Kostengründen der Einsatz von teurer Pump- und Rührtechnik nicht empfehlenswert, wodurch trockene Substratmischungen zu Problemen führen können. Dabei sind insbesondere Schwimmschichten durch ungenügende Rührleistung im Fermenter und Verstopfungen in der Beschickungsleitung bzw. im Auslauf zu nennen.

Nach Angaben von langjährigen Betreibern von Kleinbiogasanlagen ist es in den letzten Jahren schwieriger geworden an geeignete Co-Substrate zu kommen. Zudem haben die Entsorgungsgebühren abgenommen, da die grössere Konkurrenz unter den Abnehmern die Preise in die Tiefe treibt. Eine Annahme von Co-Substraten macht in der Regel nur Sinn, wenn diese auch gut bezahlt werden; es sei denn, es handle sich um energiereiche Substrate wie Glycerin oder Speisefett.

#### **4.1.8. Auslauf / Transport ins Endlager**

In Diskussionen mit langjährigen Betreibern von Kleinbiogasanlagen wurden immer wieder Probleme mit dem Auslauf für das Gärgut aus dem Fermenter erwähnt. In der Regel werden für Kleinbiogasanlagen für den Auslauf keine Pumpen verwendet, um Kosten zu sparen. Bei Überlaufen ist darauf zu achten, dass der Auslauf genügend gross dimensioniert ist, da ansonsten regelmässig Verstopfungen auftreten können. Es gibt Anlagen, welche alleine wegen Problemen mit dem Auslauf stillgelegt worden sind. Daher sind genügend grosse Ausläufe zu empfehlen. Grössere Ausläufe erhöhen die Kosten für eine Biogasanlage nur unwesentlich, erhöhen die Betriebssicherheit der Anlage aber entscheidend. Allerdings muss beachtet werden, dass Anlagenbetreiber selbst bei Auslaufrohren mit 250 mm Durchmesser bereits Verstopfungen beobachtet haben. Verstopfungen können auch bei grosszügiger Dimensionierung nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

#### **4.1.9. Aufwand zur Wiederinbetriebnahme stillgelegter Anlagen**

Die stillgelegten Anlagen wurden vor Ort beurteilt und die Möglichkeit zur Wiederinbetriebnahme kurz abgeschätzt. Die untersuchten, stillgelegten Anlagen waren sehr unterschiedlich, wodurch allgemeine

Aussagen relativ schwierig sind. Der Aufwand zur Wiederinbetriebnahme stillgelegter Anlagen soll anhand folgender Beispiele exemplarisch dargestellt werden:

- Anlage 1: Die Anlage wurde aufgrund der Aufgabe der Käserei und des Maststalles im Jahre 2006 stillgelegt. Damit fehlen der Anlage die Substratgrundlagen. Es ist davon auszugehen, dass einzelne Komponenten der Anlage auf anderen Anlagen weiterverwendet werden können.
- Anlage 2: Die Anlage wurde in zwei Schritten innerhalb der letzten drei Jahre stillgelegt. Die Anlage hat während ihrer ganzen Betriebszeit technische Probleme aufgewiesen. Einer der beiden Fermenter weist einen Riss auf und ist daher nicht mehr dicht. Eine Wiederinbetriebnahme scheint unmöglich. Es können aber einzelne Komponenten an andere Betriebe verkauft werden.
- Anlage 3: Die Anlage ist seit längerer Zeit ausser Betrieb und hat nie wirklich funktioniert. Als technische Probleme sind ungenügende Rührtechnik, falsche Dimensionierung der Beschickung sowie des Auslaufs und technische Mängel an der Gasleitung zu nennen. Eine Wiederinbetriebnahme ist wahrscheinlich weder technisch sinnvoll noch möglich. Zudem hat der Betriebsleiter vor kurzem eine neue grosse Biogasanlage realisiert und verarbeitet die anfallenden Substrate in dieser.
- Anlage 4: Die Anlage wurde vor ca. 25 Jahren erbaut und über mehrere Jahre betrieben. Es ist den Betreibern während der gesamten Betriebszeit nie gelungen, ein brennbares Gas zu erzeugen. Der Grund dafür konnte nicht festgestellt werden. Um die Anlage zu revidieren, wären voraussichtlich grössere Investitionen notwendig.
- Anlage 5: Die Betreiber haben die Anlage 2002 stillgelegt und zwar da vorübergehend die Substrate fehlten, die beiden Totems gleichzeitig versagten und der Sanierung des Stalls Priorität eingeräumt wurde. Die Betreiber wären sehr an einer Wiederinbetriebnahme der Anlage interessiert, es fehlt aber an Arbeitskapazität, um diesen Plan umzusetzen.

Es ist dem Verfasser der Studie bewusst, dass aus diesen Beispielen keine allgemeinen Aussagen gemacht werden können. Doch zeigen diese Beispiele die Problematik von Kleinbiogasanlagen und der Wiederinbetriebnahme von stillgelegten Kleinbiogasanlagen sehr deutlich.

## **4.2. AUSLEGUNG UND WIRTSCHAFTLICHKEIT VON STANDARDISIERTEN KLEINBIOGAS-ANLAGEN**

### **4.2.1. Welche Biogasanlagen wurden in vorliegender Studie untersucht?**

Die Biogasanlagen, welche in den 70er, 80er und 90er Jahren erstellt wurden, wiesen in der Regel relativ tiefe Fermentervolumina und geringe Substratmengen auf. Es sind kaum Anlagen mit Fermentergrössen von mehr als 300 m<sup>3</sup> erstellt worden. Die meisten Anlagen wiesen eine Fermentergrösse von weniger als 200 m<sup>3</sup> auf.

Von den landwirtschaftlichen Biogasanlagen, welche in den letzten Jahren erstellt worden sind, weist keine ein Fermentervolumen von weniger als 300 m<sup>3</sup> auf. Tendenziell haben die Fermenter immer häufiger ein Volumen von mehr als 500 m<sup>3</sup>.

In vorliegender Studie wurden Betriebe mit 100 bis 200 GVE exemplarisch betrachtet. Derart grosse Betriebe sind in der Schweiz selten. Nach der Taschenstatistik 2007 der Schweizer Landwirtschaft [2] besitzt der durchschnittliche Schweizer Milchviehbetrieb weniger als 20 Milchkühe. Es ist also in der Regel davon auszugehen, dass selbst Kleinbiogasanlagen nur selten von einem einzelnen Betrieb erstellt werden können. Vielmehr bieten Biogasanlagen die Möglichkeit zur überbetrieblichen Zusammenarbeit, beispielsweise in Form einer Betriebszweiggemeinschaft.

Für vorliegende Studie wurden folgende Musterbetriebe bzw. Musterbetriebsgemeinschaften betrachtet:

- Betrieb mit 100 GVE und zwar 50 GVE Milchkühe und 50 GVE Mastschweine  
→ Musteranlage 1 und 3
- Betrieb mit 200 GVE und zwar 100 GVE Milchkühe und 100 GVE Mastschweine  
→ Musteranlage 2 und 4

Neben den Hofdüngern werden in vielen landwirtschaftlichen Biogasanlagen organische Abfallstoffe, sogenannte Co-Substrate, vergärt. Für einfache, kleine Biogasanlagen sind grosse Mengen an Co-Substraten wie erwähnt in Kapitel 4.1.7 wenig geeignet, da diese höhere Investitionskosten und einen höheren Arbeitsbedarf verursachen. Bei Co-Substraten sind insbesondere die Anforderungen an Gülle- und Pumpentechnik entscheidend höher. Zudem wird in der Regel Lagerplatz für feste Substrate benötigt, um saisonal anfallende Substrate zwischenslagern zu können. Daher wurden in vorliegender

Studie keine Musterbiogasanlagen mit grossen Co-Substratmengen betrachtet, sondern maximal 10 % betriebsfremde Substrate eingerechnet. Daraus ergeben sich für die beiden Musterbetriebe folgende Co-Substratmengen:

- Betrieb mit 100 GVE: 150 t Co-Substrate
- Betrieb mit 200 GVE: 300 t Co-Substrate

Für die Musterbiogasanlagen wurden dabei folgende Co-Substrate betrachtet: Getreideabgang, Gemüseabfälle und Grüngut. Diese Co-Substrate wurden gewählt, da sie in grossen Teilen der Schweiz anfallen und in kleinen Biogasanlagen einfach zu verarbeiten sind. Bei Grüngut sollte aber beachtet werden, dass vor allem Rasenschnitt für Kleinbiogasanlagen geeignet ist. Rasenschnitt kann problemlos über die Vorgrube beschickt werden und viele Kompostierplätze sind froh im Sommer, wenn grosse Mengen an Rasenschnitt angeliefert werden, diesen teilweise an Biogasanlagen abzugeben. Unsortiertes Grüngut mit viel Strauchschnitt ist für Kleinbiogasanlagen nicht geeignet, da es einen grossen Arbeitsaufwand verursacht und höhere Anforderungen an die Pumptechnik stellt.

Der Einsatz von NaWaRo ist für die Musteranlagen in vorliegender Studie nicht vorgesehen. Die Rahmenbedingungen für NaWaRo sind in der Schweiz weiterhin sehr schlecht. Nicht zuletzt sind dabei die hohen Futterpreise zu nennen. In Deutschland hat sich zudem gezeigt, dass durch die Förderung der Vergärung von NaWaRo der Maisanbau stark zugenommen hat und teilweise auf grossen Flächen in Monokultur angebaut wird. Dies widerspricht der Agrarpolitik des Bundes. Mit der Revision des neuen Energiegesetzes ist für die Vergütung von Strom aus Biomasseanlagen ein Landwirtschaftsbonus vorgesehen [3]. Auch dieser soll nur ausgeschüttet werden, wenn maximal 10 % NaWaRo in der Anlage vergärt werden. Auch die Energiepolitik des Bundes unterstützt den Einsatz von NaWaRo in Biogasanlagen nicht. Daher verzichtet vorliegende Studie auf die Vergärung von NaWaRo.

Aus diesen Überlegungen haben sich für die Musterbiogasanlagen die Substratmischungen ergeben, welche in Tabelle 1 ersichtlich sind. Es ist zu beachten, dass die Hofdüngerproduktion je nach Aufstallungssystem, Fütterung und Leistung der Tiere stark schwanken kann. Dies betrifft einerseits die Menge, andererseits aber auch die Qualität und das Biogasproduktionspotential der Hofdünger. Für vorliegende Berechnungen wurden Standardwerte der Genesys Biogas AG verwendet, welche unter anderem auf Angaben aus dem Wirz-Kalender [4] und den GRUDAF [5] basieren.

**Tabelle 1:** Substratmengen (Input) und zugehörige Gaserträge

Substrat	Anlage 1		Anlage 2		Anlage 3		Anlage 4	
	[t/a]	Biogas [m3/d]	[t/a]	Biogas [m3/d]	[t/a]	Biogas [m3/d]	[t/a]	Biogas [m3/d]
Rindermist/-gülle	1'067	113	2'133	227	1'067	113	2'133	227
Schweinegülle	471	30	941	60	471	30	941	60
Grüngut	0	0	0	0	50	16	100	32
Getreideabgang	0	0	0	0	50	49	100	98
Gemüseabfälle	0	0	0	0	50	9	100	17
Total Substrat/Biogasertrag	1'538	143	3'075	287	1'688	217	3'375	434

Tabelle 1 zeigt neben den eingerechneten Substratmengen die geschätzten Gaserträge der vier Musteranlagen. Auch die Gaserträge der Co-Substrate können je nach deren Zusammensetzung stark variieren. Die Höhe der Gaserträge wurde unter anderem mit Hilfe des FAT Berichts Nr 546 [6] und des Biogas-Handbuchs [7] festgelegt.

Aus dem Substratinput und dem zugehörigen Gasertrag konnten die Endproduktmengen der Biogasanlage (Gärgut) bestimmt werden. Eine Separierung oder eine Nachbehandlung des Gärguts ist in vorliegender Studie nicht vorgesehen. Beides erhöht die Investitionskosten und ist für eine Kleinbiogasanlage nicht unbedingt notwendig. Tabelle 2 zeigt eine Schätzung der jährlichen Menge an produziertem Gärgut.

**Tabelle 2:** Endprodukte (Output) der vier Musterbiogasanlagen

Produkt	Anlage 1		Anlage 2		Anlage 3		Anlage 4	
	Menge [t/a]	TS [% FS]	Menge [t/a]	TS [% FS]	Menge [t/a]	TS [% FS]	Menge [t/a]	TS [% FS]
Gärgut	1'476	~ 8	2'951	~ 8	1'594	~ 10	3188	~ 10

#### 4.2.2. Verwertungsmöglichkeiten des produzierten Biogases

Das Biogas kann folgenden Verwertungen zugeführt werden:

- direkter Verkauf (wie Einspeisung ins Gasnetz)
- Gasnutzung in Gasherde, Gaslampe etc.
- Strom- und Wärmeproduktion in einer WKK-Anlage (BHKW)
- Wärmeproduktion in einem Gasbrenner

Die Einspeisung ins Erdgasnetz bedingt nach den Richtlinien des SVGW [8] in der Regel eine Aufbereitung des Biogases. Biogas enthält neben Methan ( $\text{CH}_4$ ) einen Anteil von 30 - 50 %  $\text{CO}_2$  und diverse Spurengase. Für eine uneingeschränkte Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz ist unter anderem ein Methangehalt von mindestens 96 % notwendig. Die Aufbereitung von Biogas zu Erdgasqualität ist sehr kostenintensiv und lohnt sich nur bei sehr grossen Biogasmengen. Kleinbiogasanlagen sind daher nicht geeignet für die Aufreinigung von Biogas.

Eingeschränkt kann Biogas allerdings auch mit geringerer Qualität ins Erdgasnetz eingespiesen werden. Die Richtlinien des SVGW [8] geben dazu die genaueren Angaben. Sinnvoll ist eine eingeschränkte Einspeisung aber nur unter den folgenden Bedingungen:

- Der Gasnetzbetreiber ist bereit für das eingespeiste Biogas einen nicht marktüblich hohen Preis zu bezahlen. Andernfalls ist eine Verstromung des Biogases aus ökonomischen Gründen der direkten Einspeisung vorzuziehen, da die Gaspreise sehr tief sind. Unter Umständen sind Gasnetzbetreiber aus Marketinggründen bereit hohe Preise für das Biogas zu bezahlen.
- Es befindet sich in der Nähe der Kleinbiogasanlage eine Gasleitung, welche geeignet ist die für die eingeschränkte Einspeisung von Biogas.

Für Details bezüglich eingeschränkter Einspeisung ins Erdgasnetz muss auf jeden Fall der lokale Gasnetzbetreiber kontaktiert werden, um mit diesem die Details abzusprechen.

Nach Meinung des Autors macht die direkte Gaseinspeisung aus ökonomischen Gründen für Kleinbiogasanlagen wenig Sinn, da die Gaspreise nach wie vor sehr tief sind. Die Nachfrage bei einem Gasnetzbetreiber zeigte zudem, dass wenig Interesse an der Übernahme von Rohbiogas aus Kleinanlagen besteht [9]. Nach Auskunft dieses Gasnetzbetreibers wäre der Aufwand im Verhältnis zu den kleinen eingespeisten Mengen zu gross. Dies ist insofern von Bedeutung, da der Betreiber der Kleinbiogasanlage darauf angewiesen wäre, dass der Gasnetzbetreiber ihm einen nicht marktüblich hohen Preis für das Biogas bezahlt, da ansonsten die Anlage nicht rentabel wäre.

In Entwicklungsländern wird Biogas aus Kleinstbiogasanlagen oftmals für Gasherde, Gaslampen oder ähnliche Haushaltseinrichtungen verwendet und ersetzt so direkt den Brennstoff Holz [1]. In der Schweiz hat sich diese Nutzung bisher nicht durchgesetzt. Dafür gibt es diverse Gründe. Unter anderen zu nennen sind etwa tiefe Energiepreise und ein dichtes Strom- bzw. Erdgasnetz. Versuche von einzelnen Schweizer Betreibern von Kleinbiogasanlagen haben zudem gezeigt, dass die Verbrennung von Biogas in geschlossenen Räumen je nach Zusammensetzung des Biogases starke Geruchsentwicklungen verursachen kann und insofern auch unabhängig der ökonomischen und strukturellen Rahmenbedingungen eine direkte Nutzung im Haushalt kaum realistisch ist.

Die Wirtschaftlichkeit der Nutzung des Biogases in einem BHKW und in einem Gasheizkessel wird in den folgenden Kapiteln untersucht.

#### 4.2.3. Nutzung des Biogases in einem BHKW

Beinahe alle Biogasanlagen, welche in den letzten Jahren erstellt worden sind, betreiben ein BHKW und produzieren so Strom und Wärme. Der Strom wird ins Stromnetz eingespiesen und als Ökostrom vermarktet, die Wärme nach Möglichkeiten vor Ort verwendet oder im ungünstigen Fall an die Umwelt abgegeben. Hauptgrund für diese Entwicklung sind die besseren Rahmenbedingungen für den Verkauf von Ökostrom. Der Bund hat in den letzten Jahren gezielt die Stromeinspeisung durch unabhängige Produzenten geregelt und gefördert. Es ist davon auszugehen, dass mit der neuen Energiegesetzgebung, welche auf Anfang 2009 in Kraft treten soll, die Einspeisung von Ökostrom zusätzlich gefördert wird. Daher wurde in vorliegender Studie die Verwertung des anfallenden Biogas der vier Musterbetriebe in einem BHKW genauer untersucht.

Ein BHKW besteht aus einem Generator und einem Antrieb für diesen. Als Antrieb werden in der Regel Diesel- oder Gasmotoren verwendet, es kommen aber auch Stirlingmotoren oder Mikroturbinen in Frage. BHKW mit Stirlingmotoren werden nur mit sehr tiefen Leistungen angeboten und eignen sich daher selbst für Kleinbiogasanlagen beschränkt. Die Mikroturbinen dagegen haben einen tiefen Wirkungsgrad und können daher kaum mit Diesel- und Gasmotoren konkurrenzieren. In vorliegender Untersuchung wurde ein BHKW mit Gasmotor als Antrieb betrachtet.

Aufgrund der Substratdaten und der berechneten Endproduktmengen der vier Musterbiogasanlagen konnten folgende Prozessparameter berechnet werden (Tabelle 3).

**Tabelle 3:** Technische Prozessparameter der Stoffflüsse für die vier Musterbetriebe

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
tägliche Beschickungsmenge	4.3	8.5	4.7	9.4	[t/d]
oTS Fracht	0.42	0.84	0.57	1.15	[t/d]
TS im Input	11.78	11.78	14.50	14.50	[% FS]
TS im Output	8.09	8.09	9.91	9.91	[% FS]
Biogasertrag	143	287	217	434	[m <sup>3</sup> /d]

Der TS-Gehalt im Fermenter entspricht dem TS-Gehalt im Output wie er in obiger Tabelle ersichtlich ist. Der TS-Gehalt liegt für alle vier Musterbiogasanlage in einem relativ tiefen Bereich. Dadurch kann ein problemloser Betrieb der Anlage garantiert und die Pump- und Rührtechnik relativ einfach gehalten werden.

Aus den Substratdaten konnten weitere bauliche und technische Parameter bestimmt werden, welche der Kostenschätzung der vier Musteranlagen dienten. Einige dieser Parameter sind in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4:** Einige bauliche und technische Parameter der Musterbiogasanlagen

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
Fermenterdurchmesser (innen)	7.0	9.0	7.0	9.0	[m]
Fermenterhöhe	5.0	5.0	5.0	5.0	[m]
Fermenterbauvolumen	192	318	192	318	[m <sup>3</sup> ]
Fermenternutzvolumen	167	277	167	277	[m <sup>3</sup> ]
Betriebstemperatur	40	40	40	40	[°C]
Verweilzeit	39.2	32.4	35.7	29.5	Tage
Auslastung der Anlage bezogen auf BHKW	23.6	47.3	34.7	69.4	[%]
Angenommene Betriebstage pro Jahr	360	360	360	360	[d/a]
Raumbelastung	2.51	3.04	3.43	4.15	[kg oTS/(m <sup>3</sup> *d)]
BHKW-Leistung elektrisch	50	50	50	50	[kW <sub>el</sub> ]
Betriebszeit BHKW	5.7	11.3	8.3	16.7	[h/d]

Tabelle 4 zeigt hauptsächlich Parameter, welche mit dem Fermenter und dem BHKW im Zusammenhang stehen. Das Fermentervolumen wurde genug gross gewählt, um einen problemlosen Betrieb der Biogasanlagen gewährleisten zu können. Allerdings ist es mit eingeplanten Fermentern nicht möglich das BHKW vollständig auszulasten. Vielmehr ist insbesondere für Musteranlage 4 die Raumbelastung bereits relativ hoch.

Für alle vier Musteranlagen wurde ein BHKW mit einer Leistung von 50 kW<sub>el</sub> eingerechnet. Für eine Kleinbiogasanlage erscheint diese Leistung als eher hoch. Doch wurden in den letzten Jahren kaum mehr Biogasanlagen mit weniger als 100 kW<sub>el</sub> Leistung gebaut, was ein BHKW von 50 kW<sub>el</sub> für eine Kleinanlage wieder als gerechtfertigt erscheinen lässt. Ein wichtiges Kriterium für die Wahl des vorliegenden BHKW war auch, dass der Motor von einem renommierten Hersteller stammt und so davon ausgegangen werden kann, dass er dem neuesten Stand der Technik entspricht und auch auf längere Sicht der Service und insbesondere Ersatzteile garantiert werden können. Allerdings sind wie in Tabelle 4 ersichtlich die BHKW für alle vier Musterbiogasanlagen nicht ausgelastet.

Aus diesen Angaben konnten die Investitionskosten der vier Musteranlagen geschätzt werden. Diese sind in Tabelle 5 ersichtlich.



**Tabelle 5:** Schätzung der Investitionskosten der Musterbiogasanlagen (in CHF)

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
Fermenter inkl. Rührwerke, Gasspeicher	117'246	144'395	117'246	144'395	[CHF]
Vorgrube inkl. Rührwerk	33'498	33'498	33'498	33'498	[CHF]
Gülletechnik	13'357	13'357	13'357	13'357	[CHF]
BHKW inkl. Container und Gastechnik	204'266	204'266	204'266	204'266	[CHF]
Heizungsinstallationen	17'579	17'579	17'579	17'579	[CHF]
Elektrische Installationen	63'800	63'800	63'800	63'800	[CHF]
Planungshonorar, Projektleitung, Inbetriebnahme	95'200	95'200	95'200	95'200	[CHF]
Montage	30'000	30'000	30'000	30'000	[CHF]
Bewilligungen und Gebühren	7'000	7'000	7'000	7'000	[CHF]
Biotechnologische Betreuung	2'000	2'000	2'000	2'000	[CHF]
Versicherungen	4'000	4'000	4'000	4'000	[CHF]
Unvorhergesehenes	17'638	18'453	17'638	18'453	[CHF]
Total exkl. MWSt.	605'584	633'548	605'584	633'548	[CHF]
MWSt.	0.076	0.076	0.076	0.076	[CHF]
Total inkl. MWSt.	651'609	681'697	651'609	681'697	[CHF]

Die Kostenschätzung basiert auf Angaben der Genesys Biogas AG. Andere Biogasanlagenanbieter können eventuell für vergleichbare Projekte leicht abweichende Preise angeben. Allerdings wurden für die Wahl der Komponenten diverse Lieferanten angefragt und die verschiedenen Preise verglichen. Vorliegende Kostenschätzung der Anlage basiert auf der Annahme, dass der Bauherr (in der Regel also der Landwirt) die Bauleitung übernimmt und der Biogasanlagenanbieter nicht als Generalunternehmen offeriert. Für die Kostenschätzung wurden folgende Komponenten verwendet:

- Es wurden Fermenterpreise von oberirdischen runden stehenden Beton- und Stahlfermentern verglichen. Die Betonfermenter erwiesen sich als bedeutend günstiger und wurden daher in die Studie integriert. Es wurde zudem von ebenem Terrain ausgegangen, wodurch für Aushub und Planierung nur ein minimaler Aufwand notwendig ist. Für erschwerende Bedingungen wie starke Neigung oder Unebenheit des Terrains, Verschmutzung des Erdmaterials, Grundwasser etc. fallen entsprechend höhere Kosten an.
- Heute gibt es zwei gängige Fermenterheizungssysteme. Tendenziell sind Kunststoffröhrchen eher etwas günstiger, Edelstahlrohre sind eher teurer. Aber beide Systeme können für Kleinbiogasanlagen als geeignet bezeichnet werden. Früher wurden zudem Heizwände und doppelwandige Heizsysteme (Stahlbehälter) verwendet. Diese wurden für vorliegende Studie nicht weiter untersucht. Es wurde ein Fermenterheizsystem aus Edelstahl eingerechnet.
- Als Gasspeicher wurde ein internes System verwendet. Dadurch kann auf einen Betondeckel auf dem Fermenter verzichtet werden. Zudem weist ein Gasballon direkt über dem Gärbehälter für dasselbe Volumen einen leicht tieferen Preis auf als ein externer Speicher. Externe Gasspeicher und geschlossene Fermentersysteme sind aber für Kleinbiogasanlagen ebenso denkbar, weisen aber einen leicht höheren Preis auf.
- Da kein Betondeckel verwendet wurde, wurde ebenfalls auf ein Haspel- oder Propellerrührwerk verzichtet, sondern es wurden Tauchmotorrührwerke eingerechnet. Dabei wird die Installierung von zwei Rührwerken empfohlen. Da vorliegende Studie von einem tiefen TS-Gehalt des Fermenter-inhalts ausgeht, reichen Rührwerke mit relativ tiefer Leistung. Bei anderen Fermentertypen sind auch andere Rührwerktypen denkbar bzw. empfehlenswert.
- Als Vorgrube wurde eine unterirdische Grube mit 50 m<sup>3</sup> Inhalt eingerechnet. In vorliegender Studie handelt es sich um eine runde Grube. Für das Mischen der Substrate kann aber ebenfalls eine eckige Grube verwendet werden. Das Volumen der Grube sollte für die anfallende Gülle und die eingerechneten Co-Substrate genügend Pufferkapazität bieten. Für die Substrate der Musteranlage 4 reicht die Vorgrube für ca. 4.5 Tage. Somit kann über das Wochenende ein Anmischen von Substraten vermieden werden. Die anderen Musterbiogasanlagen weisen eine grössere Pufferkapazität auf.
- Zur Durchmischung der Vorgrube und zur Beschickung des Fermenters wurde eine Reissmixpumpe eingerechnet. Diese Pumpen sind zwar relativ teuer, dafür können sie für die Durchmischung

der Vorgrube und für das Beschicken des Fermenters verwendet werden. Es ist allerdings zu bemerken, dass dies bei hohem TS-Gehalt der Substratmischung nicht funktioniert und ein zusätzliches Rührwerk installiert werden muss.

- Der Austrag des Gärguts aus dem Fermenter wird mittels Überlauf vorgenommen. Es wird nicht gepumpt.
- Als BHKW wurde ein Aggregat mit 50 kW elektrischer Leistung und einem MAN Gasmotor eingeplant. Keine der vier Musteranlagen kann dieses BHKW vollständig auslasten. Es wurden diverse Anbieter von kleineren BHKW kontaktiert, aber kein Produkt konnte bisher überzeugen. Die elektrischen Wirkungsgrade dieser Anlagen sind noch sehr tief. Es ist aber vorstellbar, dass in Zukunft BHKW mit kleinerer elektrischer Leistung marktreife erlangen und für Kleinbiogasanlagen einsetzbar sein werden.
- Für das BHKW wurde ein BHKW-Container eingeplant. Dies ist die günstigste Variante für die Unterbringung eines BHKW. Für Kleinbiogasanlagen ist ein BHKW-Container ideal.
- Unter dem Posten Elektrisches wurden CHF 10'000 für die Netzanbindung eingerechnet. Die Kosten für Netzanbindung können von Anlage zu Anlage relativ stark schwanken. In vorliegender Studie wurde davon ausgegangen, dass kein neuer Transformator installiert werden muss und dass die Entfernung zum nächsten Transformator gering ist.
- Eine externe Wärmenutzung wurde nicht eingeplant. Aus ökologischen Gründen ist allerdings eine möglichst vollständige Wärmenutzung anzustreben. Da aber die produzierte Überschusswärme relativ gering ist, macht dies aus wirtschaftlicher Sichtweise weniger Sinn. Es muss angemerkt werden, dass der Vernehmlassungsentwurf für die neue Energieverordnung [3] eine externe Wärmenutzung vorsieht, um in den Genuss der kostendeckenden Vergütung zu kommen.
- Unter den Posten Planungshonorar fallen Arbeiten der Bau- bzw. der Planungsfirma der Anlage. Diese Arbeiten beinhalten unter anderem das Verfassen sämtlicher Pläne, die Projektleitung, Baubesichtigungen, Materialbeschaffung, Inbetriebnahme etc.
- Unter den Posten Unvorhergesehenes fallen projektspezifische Mehrkosten, welche nicht zu vermeiden sind. Natürlich können diese unter Umständen relativ stark schwanken. Für vorliegende Studie wurden unvorhersehbare Kosten von 3 % der übrigen Investitionskosten angenommen. Projektspezifische Mehrkosten können beispielsweise durch ein spezielles Terrain, durch Auflagen der Behörden, Wünsche des Kunden, Einbezug von bestehenden Gebäuden etc. entstehen.

Aus der Investitionskosten schätzung und der Auslegung der vier Musterbiogasanlagen konnten die jährlichen Kosten der Musteranlagen abgeschätzt werden. Diese sind in Tabelle 6 ersichtlich.

**Tabelle 6:** Schätzung der jährlichen Kosten der Musterbiogasanlagen (in CHF)

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
Kosten Amortisation und Kapitalverzinsung (5%)	80'537	83'129	80'537	83'129	[CHF]
Personalkosten (Betreuung und Service)	8'449	12'851	9'127	15'786	[CHF]
Servicekosten BHKW (Personal)	715	1'430	1'050	2'099	[CHF]
Kosten Stromverbrauch Biogasanlage	1'741	3'480	1'911	5'926	[CHF]
Kosten Aktivkohle	720	720	720	720	[CHF]
Unterhalt Biogasanlage (Material)	3'028	3'168	3'028	3'168	[CHF]
Servicekosten BHKW (Material)	613	1'225	900	1'799	[CHF]
Biotechnologische Betreuung	6'400	6'400	6'400	6'400	[CHF]
Inspektorat, Schwermetall-Analytik	1'500	1'500	1'500	1'500	[CHF]
Betriebsorganisation (Buchhaltung etc.)	1'000	1'000	1'000	1'000	[CHF]
Versicherungen (Haftpflicht, Betriebsausfall etc.)	4'000	4'000	4'000	4'000	[CHF]
Total Jährliche Kosten	108'703	118'903	110'173	125'527	[CHF]

Zu der Kostenschätzung in Tabelle 6 werden folgende Bemerkungen gemacht:

- Die verschiedenen Anlagenteile einer Biogasanlage haben unterschiedliche Lebensdauern. Für die Berechnung der Kosten für Amortisation und Kapitalverzinsung wurden die Investitionskosten daher in drei Gruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe umfasst Komponenten, welche einem grossen Verschleiss ausgesetzt ist und dadurch eine kurze Lebensdauer aufweist. Diese beinhaltet das

BHKW, die Pumpen und die Gasfolie und wird auf fünf Jahre abgeschrieben. Die zweite Gruppe beinhaltet sämtliche anderen mechanischen Einrichtungen, welche für vorliegende Studie auf zehn Jahre abgeschrieben wurde; die dritte Gruppe umfasst die baulichen Einrichtungen und wird auf zwanzig Jahre abgeschrieben. Die Gruppen haben sich in vorliegender Studie für die einzelnen Musteranlagen wie in Tabelle 7 ersichtlich zusammengesetzt.

**Tabelle 7:** Prozentuale Aufteilung der Investitionskosten für Amortisation

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
Anteil Amortisation auf 5 Jahre	22.7	22.0	22.7	22.0	[%]
Anteil Amortisation auf 10 Jahre	37.8	36.3	37.8	36.3	[%]
Anteil Amortisation auf 20 Jahre	39.5	41.7	39.5	41.7	[%]

Es muss beachtet werden, dass der Anteil der Investitionen für bauliche Einrichtungen bei den vier geplanten Musterbiogasanlagen sehr tief ist. Für die Kapitalverzinsung wurde ein Zinssatz von 5 % angenommen. Dieser Wert ist für Fremdkapital realistisch. Bei Anlagen, welche mit einem grossen Eigenkapitalanteil finanziert werden, kann von einem tieferen Zinsanspruch ausgegangen werden.

- Für die Personalkosten für BHKW-Service wurde von CHF 0.70/kWh ausgegangen. Diese Schätzung basiert auf der Annahme, dass ein grosser Teil des Unterhalts vom Anlagenbetreiber selbst ausgeführt werden kann. Für den BHKW-Service fallen zudem Materialkosten an (siehe unten).
- Die Personalkosten wurden aufgrund von Erfahrungswerten der Genesys Biogas AG abgeschätzt. In der Regel ist bei modernen Biogasanlagen vor allem das Substratmanagement für den hohen Arbeitsanfall entscheidend. Diese weisen oftmals einen relativ hohen Automatisierungsgrad auf. Im Gegensatz dazu sind vorliegende Anlagen relativ einfach gehalten und es wird nur viel weniger externes Substrat verarbeitet. Bei der Annahme von kommunalem Grüngut müssen Fremdstoffe wie Plastik und Glas aus dem Grüngut sortiert werden. Daher ist die Annahme von unsortiertem Grüngut für kleine Anlagen eher nicht zu empfehlen, es sei denn der Betriebsleiter hat freie Arbeitskapazitäten und für die Annahme des Grünguts wird ein guter Preis bezahlt. In diesem Falle ist es aber wichtig, dass die Aussortierung der Fremdstoffe sauber gemacht wird, da ansonsten Probleme mit der Rühr- und Pumpentechnik nicht zu vermeiden sind und allenfalls zusätzlich ein Hacker und eine leistungsstärkere Pumpe installiert werden müssten. Als Lohnansatz wurde für vorliegende Studie CHF 27/h angenommen. Dies entspricht den Empfehlungen der ART Tänikon [11] für die Verrechnung von Arbeiten unter Landwirten ohne Verpflegung. Für die Verrechnung von ausserlandwirtschaftlichen Arbeiten empfiehlt die ART Tänikon einen Lohnansatz von CHF 60/h. Nach Meinung des Verfassers der vorliegenden Studie handelt es sich bei der Betreuung einer landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlage um eine landwirtschaftliche Tätigkeit im Rahmen der üblichen Betriebsbewirtschaftung. Daher wurde ein Lohnansatz von CHF 27/h angenommen.
- Der Stromverbrauch wurde aufgrund der eingerechneten Komponenten, deren Laufzeiten und deren Leistungen abgeschätzt. Es wurde davon ausgegangen, dass der Strombedarf der Biogasanlage mit Fremdstrom gedeckt wird. Für die Berechnung wurde ein Strompreis von CHF 0.16/kWh angenommen. Falls der Strombedarf der Biogasanlage mit betriebseigenem Strom gedeckt werden soll, dann müssten die Kosten für den Stromverbrauch der Biogasanlage entsprechend angepasst werden.
- Die jährlichen Materialkosten für den Biogasanlagen-Unterhalt wurden in vorliegender Studie mit 0.5 % der Investitionskosten abgeschätzt. Für das BHKW wurden zusätzlich Materialkosten von CHF 0.06/kWh angenommen.
- Die Posten "Biotechnologische Betreuung", "Inspektorat, Schwermetall-Analytik", "Betriebsorganisation" und "Versicherungen" wurde aufgrund von Erfahrungswerten der Genesys Biogas AG abgeschätzt. Die Versicherungssumme hängt in der Regel von den Investitionskosten der Anlage ab.

Es ist zu beachten, dass die jährlichen Kosten sehr stark von den Investitionen abhängen, da der weitest- aus grösste Posten aus den Kapitalkosten und der Amortisation besteht. Daneben sind vor allem die Personalkosten hoch.

Im Herbst 2008 soll die neue Energieverordnung in Kraft treten [3]. Mit dieser soll für Biogasanlagen die kostendeckende Vergütung eingeführt werden, welche neue Tarife mit sich bringt. Daher wurde in vorliegender Studie darauf verzichtet den Gewinn bzw. den Verlust der vier Musterbiogasanlagen auszuweisen. Es versteht sich von selbst, dass Kleinbiogasanlagen heute kaum rentabel sind und

dass nur eine deutliche Erhöhung der Einspeisetarife die Rentabilität von Kleinanlagen ermöglichen kann.

Haupterlös von Kleinbiogasanlagen ist der Stromverkauf. Wärme wird relativ wenig produziert bzw. verbraucht die Anlage viel der produzierten Wärme, um die Prozesstemperatur im Fermenter auf einem stabilen Niveau zu halten. Wie zudem dem Kapitel 4.2.4 zu entnehmen ist, sind die Energiekosten trotz den aktuell hohen Erdölpreisen nach wie vor sehr tief, wodurch die zu erwartenden Einnahmen nur sehr gering sein werden. Die Schätzungen der (maximal) möglichen Einnahmen durch Wärmeverkauf bzw. -nutzung sind in Tabelle 8 ersichtlich. Für den Wärmeverkaufspreis wurden CHF 0.05/kWh angenommen.

**Tabelle 8:** Schätzung des jährlichen Erlöses durch Wärmeverkauf und Entsorgung

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
Erlös Wärmeverkauf	3'831	7'658	5'624	11'244	[CHF]
Erlös Entsorgungsgebühren	0	0	7'500	15'000	[CHF]

Es muss allerdings beachtet werden, dass für den Wärmeverkauf Investitionen notwendig sein würden, welche in vorliegender Schätzung der Investitionskosten nicht berücksichtigt worden sind. Zudem fällt der grösste Teil der Wärme während den Sommermonaten an, weil der Fermenter im Winter überproportional viel Wärme verbraucht. In den Sommermonaten wird auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Regel relativ wenig Wärme benötigt. Mögliche Nutzungen sind Trocknung von Heu, Maissilage oder Holzschnitzeln. Auf vielen Betrieben sind keine derartigen Anlagen vorhanden. Da die Wärmemenge aus Kleinbiogasanlagen eher gering ist, lohnt sich die Investition in eine Anlage zur Wärmenutzung kaum.

Da auf Kleinanlagen geringe Mengen an Co-Substraten verwendet werden, ist der Erlös durch Entsorgungsgebühren entsprechend tief. In Tabelle 8 wurde der Erlös der Entsorgungsgebühren mit CHF 50/t abgeschätzt. Dieser Preis ist für Grüngut eher tief, für Gemüse- und Getreideabfälle eher hoch.

Aus diesen Angaben konnten für diverse Varianten die Stromgestehungskosten abgeschätzt werden, wie sie in Tabelle 9 ersichtlich sind.

**Tabelle 9:** Stromgestehungskosten der untersuchten Varianten

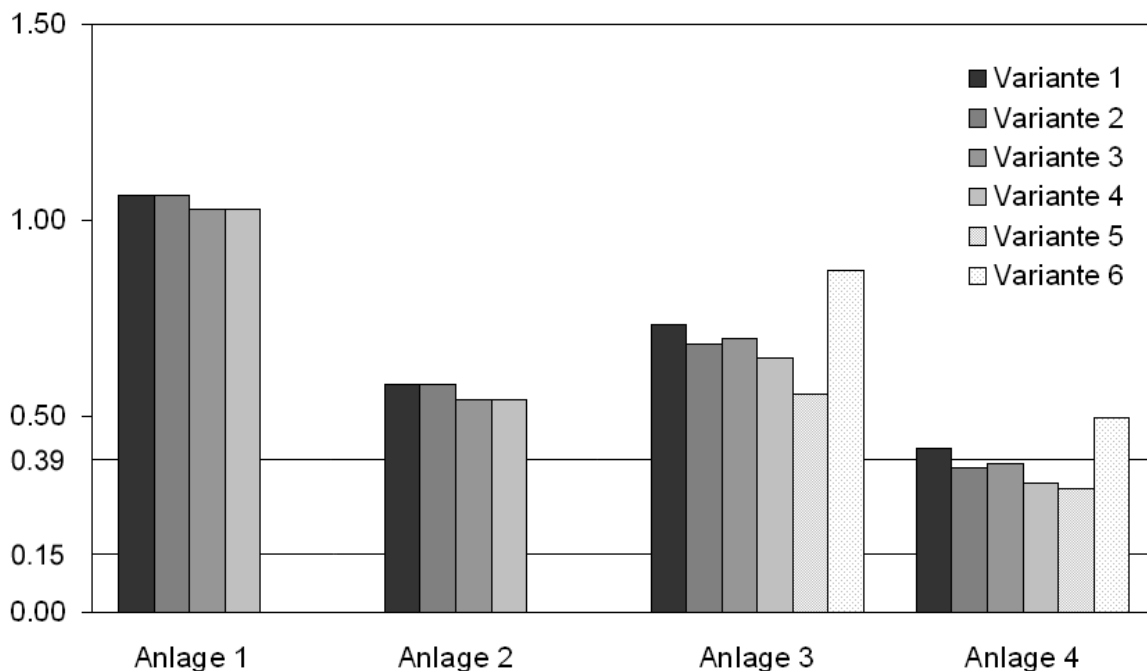
		Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
Variante 1	(ohne Wärme, ohne Entsorgung)	1.06	0.58	0.73	0.42	[CHF/kWh]
Variante 2	(ohne Wärme, mit Entsorgung)	1.06	0.58	0.68	0.37	[CHF/kWh]
Variante 3	(mit Wärme, ohne Entsorgung)	1.03	0.54	0.70	0.38	[CHF/kWh]
Variante 4	(mit Wärme, mit Wärme)	1.03	0.54	0.65	0.33	[CHF/kWh]
Variante 5	(20% Cos, ohne Wärme, ohne Entsorgung)	-	-	0.56	0.32	[CHF/kWh]
Variante 6	(5% Cos, ohne Wärme, ohne Entsorgung)	-	-	0.87	0.50	[CHF/kWh]

Es wurden folgende Varianten untersucht:

- **Variante 1: ohne Wärmenutzung, ohne Entsorgungsgebühren**  
Diese Variante kann längerfristig als realistisch eingeschätzt werden, falls in Zukunft die Entsorgungsgebühren sinken und gar ganz wegfallen. Da bei Kleinbiogasanlagen nur sehr wenig Wärme anfällt, ist es nur sinnvoll die Wärme zu nutzen, wenn dazu nur geringe Investitionskosten notwendig sind. Dies ist nicht auf allen potentiellen Landwirtschaftsbetrieben der Fall. Zudem ist die Entwicklung der Entsorgungsgebühren ungewiss. Es kann durchaus sein, dass die Entsorgungsgebühren für Co-Substrate in Zukunft fallen werden. Die Stromgestehungskosten sind insbesondere für den Musterbetrieb mit 100 GVE (Anlagen 1 und 3) sehr hoch und lassen keinen rentablen Betrieb der Anlage zu. Bei dem Musterbetrieb mit 200 GVE (Anlagen 2 und 4) sind die Stromgestehungskosten deutlich tiefer. Aber auch in diesem Fall kann nur eine entscheidende Änderung der Rahmenbedingungen ein kostendeckender Betrieb der Anlage ermöglichen. Die derzeitigen Einspeisetarife liegen deutlich unter den errechneten Stromgestehungskosten.
- **Variante 2: ohne Wärmenutzung, mit Entsorgungsgebühren**  
Diese Variante entspräche wohl in den meisten Fällen der Situation kurz nach dem Bau der Anlage, wenn die Wärme ohne grössere Investitionen nicht genutzt werden könnte. Die oben erwähn-

ten Entsorgungsgebühren, die in vorliegender Untersuchung eingerechnet wurden, sind heute realistisch. Wie diese sich in Zukunft entwickeln werden ist allerdings ungewiss. Kurzfristig sind insofern die Stromgestehungskosten der Variante 2 am meisten realistisch. Es ist nicht unrealistisch, dass in Zukunft ein Einspeisetarif bezahlt werden wird, welcher für die Anlage 4 einen rentablen Betrieb zulässt.

- Variante 3: mit Wärmenutzung, ohne Entsorgungsgebühren  
Diese Variante ist realistisch, falls in Zukunft die Entsorgungsgebühren sinken oder wegfallen und sämtliche(!) anfallende Wärme ohne Investitionen genutzt werden kann. In der Regel wird es schwierig sein, sämtliche Überschusswärme zu nutzen, da ein grosser Teil der Wärme während der Sommermonate anfällt, wenn in der Regel auf landwirtschaftlichen Betrieben nur wenig Wärme benötigt wird. Wiederum ist bei den aktuellen politischen Rahmenbedingungen keine der Anlagen rentabel, allenfalls könnte Anlage 4 bei höheren Einspeisegebühren rentabel werden. Bei den anderen Anlagen sind die Stromgestehungskosten wohl so hoch, dass kaum der politische Wille besteht, um die Einspeisetarife entsprechend zu erhöhen. Falls für die Wärmenutzung Investitionen notwendig sind, erhöhen sich die Stromgestehungskosten entsprechend.
- Variante 4: mit Wärmenutzung, mit Entsorgungsgebühren  
Diese Variante ist eher optimistisch, aber nicht unrealistisch. Heute werden nach wie vor Entsorgungsgebühren bezahlt und auf Betrieben mit hohem Wärmebedarf, wie beispielsweise auf Käsereibetrieben, wird viel Wärme während der ganzen Jahreszeit benötigt. In diesem Falle sinken die Stromgestehungskosten der Anlage 4 derart, dass die Anlage durchaus rentable betrieben werden könnte. Für die anderen drei Varianten sind die Kosten voraussichtlich auch bei einer deutlichen Erhöhung der Einspeisegebühren zu hoch, um einen rentablen Betrieb ermöglichen zu können.
- Variante 5: Erhöhung der Co-Substratmenge auf 20% (betrifft Anlagen 3+4)  
In dieser Variante wurden die Co-Substratmengen der Anlagen 3 und 4 auf ca. 20% erhöht. Entsorgungsgebühren und Wärmenutzung wurde nicht eingerechnet. Es muss vorausgeschickt werden, dass die geplante Anlage wohl nicht in der Lage ist eine doppelte Co-Substratmenge problemlos zu verarbeiten. Entweder werden regelmässig Probleme auftreten und sich die Betriebskosten erhöhen oder es sind höhere Investitionskosten notwendig, um die Anlage für diese Co-Substratmenge auszurüsten. Bei der Anlage 4 wurden insgesamt 600 t Co-Substrate eingerechnet; solche Co-Substratmengen können wohl nur verarbeitet werden, wenn ein geeigneter Lagerplatz vorhanden ist oder bei flüssigen Substraten die Vorgrube grosszügig dimensioniert worden ist. Jedenfalls senkt eine Verdoppelung der Co-Substratmenge die Stromgestehungskosten der Anlagen entscheidend. Bei Anlage 4 kann bei einer Erhöhung der Einspeisegebühren mit einem rentablen Betrieb gerechnet werden, selbst wenn keine Entsorgungsgebühren bezahlt werden und keine Wärme genutzt wird. Es muss allerdings ebenfalls angemerkt werden, dass der Musterbetrieb mit 100 GVE selbst bei 20% Co-Substraten kaum je rentieren wird. Die Stromgestehungskosten sind zu hoch.
- Variante 6: Senkung der Co-Substratmenge auf 5% (betrifft Anlagen 3+4)  
Bei der letzten Variante wurden die Co-Substratmengen der Anlagen 3 und 4 auf 5% gesenkt und keine Entsorgungsgebühren oder Wärmenutzung eingerechnet. Die Stromgestehungskosten erhöhen sich damit deutlich und ein rentabler Betrieb der untersuchten Anlagen ist nur möglich, falls die Einspeisegebühren deutlich erhöht werden.



**Figur 1:** Säulendiagramm Stromgestehungskosten (in CHF/kWh) der vier Anlagen und sechs Varianten; darin ersichtlich der heutige Stromtarif von CHF 0.15/kWh und der Stromtarif nach Vernehmlassungsentwurf der neuen Energieverordnung von CHF 0.39/kWh [3]

Figur 1 zeigt eine Übersicht über die errechneten Stromgestehungskosten. Darin ersichtlich ist, dass die Stromgestehungskosten sämtlicher Varianten für alle Anlagen deutlich über dem heute in der Schweiz gängigen Einspeisetarif von CHF 0.15/kWh liegen. Im Vernehmlassungsentwurf für die neue Energieverordnung sind CHF 0.24/kWh plus CHF 0.15/kWh Landwirtschaftsbonus vorgesehen [3]. Insgesamt käme dadurch eine landwirtschaftliche Anlage mit weniger als 50 kW elektrischer Leistung in den Genuss eines Einspeisetarifs von CHF 0.39/kWh. Diese Angabe kann sich zwar noch ändern, aber trotzdem ist es sinnvoll den vorgesehenen Tarif mit den Stromgestehungskosten vorliegender Musteranlagen zu vergleichen. Wie in Figur 1 ersichtlich liegen die Stromgestehungskosten nur für die Anlage 4 teilweise unter dem Tarif von CHF 0.39/kWh und zwar nur für Varianten, in welchen entweder Wärmenutzung oder Entsorgungsgebühren eingerechnet wurden.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass keine der Anlagen bei den heutigen Einspeisetarifen rentabel betrieben werden kann. Bei einer realistischen Erhöhung des Einspeisetarifs ist aber ein rentabler Betrieb durchaus möglich.

#### 4.2.4. Nutzung des Biogases zur Wärmeproduktion in einem Gasheizkessel

In den 70er und 80er Jahren wurde das Biogas auf vielen Biogasanlagen ausschliesslich für die Wärmeproduktion verwendet. Auf den Biogasanlagen, welche in den letzten Jahren erstellt wurden, war dies allerdings kaum mehr ein Thema.

Die Energiepreise und insbesondere die Erdölpreise sind in den letzten Jahren stark gestiegen und ein Ende des Anstiegs ist derzeit nicht absehbar. So könnte eventuell in Zukunft ausschliessliche Wärmeproduktion aus Biogas wieder wirtschaftlich werden.

Bei ausschliesslicher Wärmeproduktion verringern sich die Investitionskosten, da ein Gasheizkessel bedeutend günstiger ist als ein BHKW. Dadurch lassen sich ebenfalls die jährlichen Kosten senken. Für vorliegende Studie wurden für die vier Musterbiogasanlagen kurz die Wärmeenergiekosten geschätzt. Diese sind in Tabelle 10 ersichtlich. Diese Wärmeenergiekosten wurden ohne Einrechnung von Entsorgungsgebühren geschätzt. Die gerechnete Variante entspricht also der Variante 3 aus dem vorigen Kapitel.

**Tabelle 10: Wärmeenergiekosten bei Verwertung des Biogases in einem Gasheizkessel**

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4	Einheit
Biogasertrag	51'570	103'141	78'052	156'103	[m³/a]
Heizwert Biogas	6.00	6.00	5.82	5.82	[kWh/m³]
Jahreswärmeertrag	309'422	618'844	454'320	908'641	[kWh/a]
Wärmeverbrauch Fermenter	76'582	153'164	112'444	224'889	[kWh/a]
Wärmeüberschuss	232'840	465'680	341'876	683'752	[kWh/a]
Jährliche Kosten	84'474	94'384	85'322	99'765	[CHF]
Wärmeenergiekosten	0.36	0.20	0.25	0.15	[CHF/kWh]

Die Wärmeenergiekosten sind für vorliegende Musterbiogasanlagen sehr hoch und können mit gängigen Energieträgern nicht konkurrenzieren (siehe Tabelle 11). Aus diesem Grund wurde auf eine detailliertere Untersuchung der alleinigen Wärmeproduktion verzichtet.

**Tabelle 11: Energiekosten gängiger Energieträger für Heizzwecke**

		Einheit
Heizöl <sup>1</sup>	0.079	[CHF/kWh]
Erdgas <sup>1</sup>	0.065	[CHF/kWh]
Elektrizität <sup>1</sup>	0.129	[CHF/kWh]
Stückholz <sup>2</sup>	0.065	[CHF/kWh]
Holzpellets <sup>2</sup>	0.080	[CHF/kWh]

<sup>1</sup>Gemäss Gesamtenergiestatistik 2006 [10]

<sup>2</sup>Die Holzpreise variieren je nach Holz, Verarbeitung und Jahreszeit relativ stark.

#### 4.2.5. Massnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Wie in den vorherigen Kapiteln ersichtlich ist die Wirtschaftlichkeit von Kleinbiogasanlagen problematisch. Die hohen Investitionskosten lassen kaum einen rentablen Betrieb zu. Gibt es Möglichkeiten zur Senkung der Investitionskosten bzw. der jährlichen Kosten? Oder gibt es Möglichkeiten zur Generierung von höheren Einnahmen?

Eine Senkung der Investitionskosten hätte auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage die grösste Auswirkung. Die baulichen Investitionen lassen sich kaum senken. Es ist nicht empfehlenswert die baulichen Komponenten wie Fermenter und Vorgrube kleiner zu dimensionieren und auf Substratlagerplätze bzw. Gebäude zur Substratlagerung wurde bereits vollständig verzichtet. Die Preise für Beton und Stahl sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen und werden in Zukunft voraussichtlich weiter steigen. Die Erstellung einer befestigten Zufahrt wurde in vorliegender Studie ebenfalls nicht eingeplant.

Ein weiterer grosser Posten ist das BHKW. In vorliegender Studie ist die Leistung des BHKW im Verhältnis zu den eingerechneten Substraten zu hoch. Wie erwähnt werden keine BHKW mit tieferen Leistungen empfohlen, da diese nach Meinung der Autoren noch nicht Marktreife erreicht haben. Es ist aber zu erhoffen, dass in Zukunft BHKW mit kleiner Leistung auf dem Markt erhältlich sein werden, welche den Ansprüchen eines professionellen Betreibers genügen und dadurch die Investitionen gesenkt werden können.

Die elektrischen Installationen beinhalten die Netzanschlusskosten. Diese können nach den örtlichen Begebenheiten relativ stark variieren. Zudem ist es denkbar, dass diese ganz vom Stromnetzbetreiber übernommen werden und so für den Biogasanlagenbetreiber keine Kosten anfallen.

Durch eine Standardisierung von Kleinbiogasanlagen könnten die Planungskosten entscheidend gesenkt werden. Es ist davon auszugehen, dass ca. CHF 40'000 eingespart werden könnten. Allerdings bedingt dies ein unproblematisches (ebenes) Terrain. Diese Kostenreduktion lässt keine planerischen Anpassungen zur Standardanlage zu. Spezielle Wünsche des Auftraggebers oder spezielle örtliche Begebenheiten würden entsprechend wieder Mehrkosten verursachen.

Eine Reduktion der Investitionskosten senkt die Amortisationskosten und die Kosten für Kapitalverzinsung entsprechend, wodurch die jährlichen Kosten abnehmen. Die Kosten für die Kapitalverzinsung sind in vorliegender Studie mit 5 % eher hoch angesetzt. Falls die Anlage zu einem grossen Teil über

Eigenkapital finanziert werden kann oder für den Bau der Anlage ein Investitionskredit vergeben wird, ist ein tieferer Zinsanspruch angebracht.

Die Personalkosten können je nach Geschick des Betreibers relativ stark variieren. Generelle Einsparungen der Personalkosten bedingen in der Regel einen höheren Automatisierungsgrad der Biogasanlage, was mit zusätzlichen Investitionen verbunden ist. Daher sind in diesem Bereich kaum mit allgemeinen Kostenreduktionsmöglichkeiten zu rechnen.

Der Stromverbrauch der Anlage lässt sich wohl ebenfalls kaum reduzieren. In vorliegender Studie wurden relativ leistungsschwache Komponenten verwendet und auf unwichtige Automatisierung verzichtet.

Die Materialkosten für den Unterhalt der Anlage wurden relativ tief angesetzt. Es ist nicht davon auszugehen, dass diese in Realität bedeutend tiefer sein können.

Bei der biotechnologischen Betreuung bzw. bei der Analytik können eventuell Kosten gespart werden. Möglicherweise werden die Betreiber von kleinen Anlagen mit wenig problematischen Substraten sogar ganz auf die biotechnologische Betreuung verzichten. In der Anfangsphase ist aber eine Betreuung unbedingt zu empfehlen und zahlt sich in der Regel auch monetär aus.

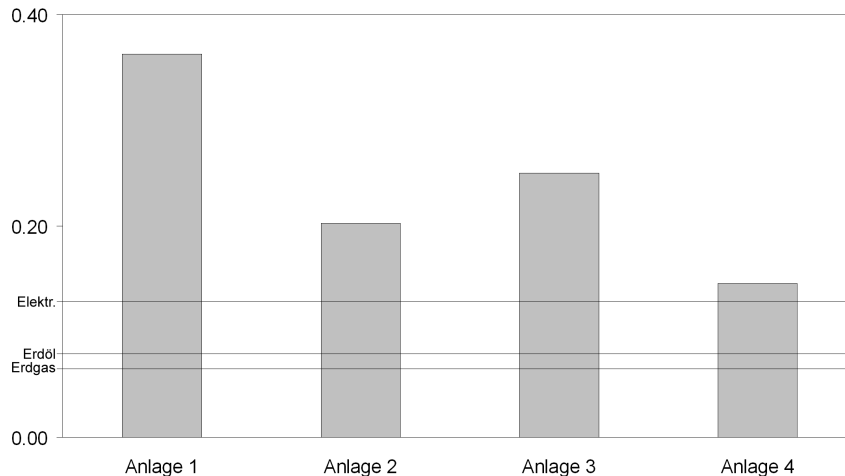
Neben einer Senkung der Kosten kann die Rentabilität der Anlage auch über Mehreinnahmen verbessert werden. Eine Erhöhung der Stromeinspeisegebühren würde eine direkte Verbesserung der Rentabilität zur Folge haben. Mit der Einführung der neuen Energieverordnung werden vermutlich für landwirtschaftliche Kleinbiogasanlagen höhere Tarife eingeführt.

Es ist denkbar, dass die Endabnehmer bereit sind für Ökostrom aus Kleinbiogasanlagen höhere Tarife zu bezahlen. Eine Kontaktaufnahme mit zwei Stromnetzbetreibern hat aber gezeigt, dass diese das Marktpotential von Kleinbiogasanlagenstrom als schlecht beziehungsweise zumindest als ungewiss einschätzen [12]. Die Kosten sind sehr hoch und die Mengen gering. Doch könnte es eine Möglichkeit sein, ein neues Angebot zu generieren, falls sich der Ökostrommarkt in Zukunft sehr positiv entwickelt. Letztendlich hängt die Abnahme von Kleinbiogasanlagenstrom vom Interesse der Endverbraucher ab. Kurzfristig ist nicht damit zu rechnen, dass Kleinbiogasanlagenstrom auf dem Markt zu kostendeckenden Tarifen nachgefragt wird.

Beide Elektrizitätswerke sehen Kleinbiogasanlagen als wenig ideal für Spitzenstromproduktion, da die Kosten zu hoch sind und vor allem, da die Strommengen zu klein sind. Die Preise für Hochtarifstrom liegen heute deutlich unter dem Preis von CHF 0.39/kWh, welcher gemäss Vernehmlassungsverordnung in Zukunft eventuell bezahlt werden wird. Selbst wenn mehrere Anlagen zentral von den Stromnetzbetreibern gesteuert werden könnten, sind die Mengen zu klein, damit es für Spitzenstromabnehmer interessant wäre.

Die Einnahmen durch Wärmenutzung hängen direkt von den aktuellen Marktpreisen für andere Energieträger ab. Die Entwicklung dieser Preise ist ungewiss. Die Erdölpreise sind in den letzten Jahren stark angestiegen. Allerdings ist eine Voraussage der Entwicklung der Preise schwierig, da diese nicht zuletzt von internationalen Spannungen beeinflusst werden. Bei Verwertung des Biogases in einem BHKW ist die Überschusswärme eher gering, bei einer Verwertung des Biogases in einem Heizkessel ist die Wärmemenge bedeutend höher.





**Figur 2:** Säulendiagramm Wärmegestehungskosten (in CHF/kWh) der vier Anlagen und anderen Wärmeenergieträgern

Figur 2 illustriert den Vergleich der berechneten Wärmegestehungskosten aus Kapitel 4.2.4 und den üblichen Wärmeenergiepreisen. Auf der Darstellung fehlen die Angaben zu Holzenergie. Diese bewegen sich auf einem ähnlichen Niveau wie Erdöl und Erdgas. Es ist ersichtlich, dass erst bei einer Verdoppelung der Preise für Erdöl und Erdgas vorliegende Anlagen konkurrenzfähig werden. Eine Verdoppelung des Erdölpreises ist in näherer Zukunft unwahrscheinlich, aber nicht unmöglich.

Die Entsorgungsgebühren sind in den letzten Jahren tendenziell zurückgegangen. Es ist davon auszugehen, dass die Entsorgungsgebühren in Zukunft weiter zurückgehen werden. Kleinbiogasanlagen sind nicht für die Verarbeitung von grossen Co-Substratmengen geeignet. Es ist daher anzunehmen, dass durch die Entsorgungsgebühren keine wesentlichen Mehreinnahmen generiert werden können.

Eine weitere Möglichkeit wäre eine Unterstützung durch die Stiftung Klimarappen oder die Stiftung myclimate. Im Falle des Klimarappens ist gemäss Wegleitung bei Teilnahme am Intermediärprogramm eine Einsparung von mindestens 500 t CO<sub>2</sub> ab Inbetriebnahme bis 2012 notwendig, um überhaupt ein Gesuch stellen zu können [13]. Dies entspricht ca. 250'000 Nm<sup>3</sup> Erdgas. Musteranlage 4 weist mit einer jährlich Methanproduktion von 90'864 m<sup>3</sup> theoretisch einen genug hohen Methanertrag auf, um bis 2012 genügend Erdgas ersetzen zu können, allerdings werden tendenziell grössere Projekte unterstützt. Die drei anderen Musteranlagen weisen einen zu tiefen Methanertrag auf. Eine Unterstützung durch den Klimarappen ist zudem nur möglich, falls das produzierte Biogas als Biogas genutzt wird oder falls aus dem Biogas ausschliessliche Wärme produziert wird. Diese beiden Verwertungsweisen des Biogases weisen in der Schweiz nach wie vor sehr schlechte Rahmenbedingungen auf und sind kaum rentabel. Stromerzeugung wird ausdrücklich nicht gefördert durch die Stiftung Klimarappen.

Die Stiftung myclimate schliesst einen Kauf von Emissionsreduktion grundsätzlich nicht aus, allerdings gibt es diverse Schwierigkeiten, welche allenfalls eine Unterstützung verhindern könnten. Ein wichtiges Kriterium für die Stiftung myclimate ist die Additionalität. Dies bedeutet, dass die Unterstützung durch myclimate massgeblich zur Realisierung des Projekts beitragen muss, damit ein Projekt unterstützt wird. Insofern müsste nach der Einführung der kostendeckenden Vergütung nachgewiesen werden, dass die kostendeckende Vergütung nicht in der Lage ist die Kosten der Ökostromproduktion durch Kleinbiogasanlagen zu decken. Ein Kauf von Emissionsreduktionen aus einem Projekt bedingt verschiedene vorbereitende Arbeiten. Aus Aufwand-Nutzen-Überlegungen unterstützt myclimate Projekte dadurch erst ab 100 t CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential pro Jahr. Das Reduktionspotential von Kleinbiogasanlagen ist in der Regel geringer. Das Pooling mehrerer Projekte ist derzeit noch relativ schwierig, fehlen dazu die international akzeptierten methodischen Grundlagen. Möglicherweise können erste Erkenntnisse im Rahmen der Weltklimakonferenz 2007 in Bali gewonnen werden. Ein weiterer kritischer Punkt ist das "Double-Counting". Bei einer Unterstützung muss zudem garantiert werden können, dass die Emissionszertifikate und damit der ökologische Mehrwert des Biogases nicht mehrfach vermarktet wird (also beispielsweise durch den Stromnetzbetreiber und die Stiftung myclimate) [14].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das grösste Potential zur Kosteneinsparung bei den Investitionen liegt. Durch eine Standardisierung der Kleinanlagen könnten die Planungskosten entscheidend gesenkt werden. Eine Standardisierung macht nur Sinn, wenn genügend Kleinbiogasanlagen gebaut werden. Dies ist aber nur möglich, wenn der politische Wille besteht, diese Anlagen durch höhere Einspeisegebühren zu fördern. Zudem muss die Kundschaft eine standardisierte Lösung akzeptieren und auf individuelle Wünsche verzichten können.

#### 4.3. POTENTIAL ZUR MODERNISIERUNG BZW. WIEDERINBETRIEBNAHME BESTEHENDER ANLAGEN

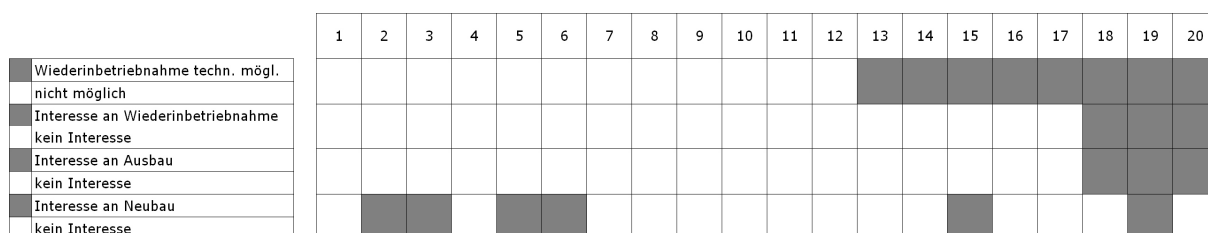
Im Rahmen der Studie wurden 40 Betriebe mit Kleinbiogasanlagen kontaktiert. Von diesen konnten 34 Betriebe erreicht und befragt werden. Bei der Befragung wurde unter anderem untersucht,

- ob die Anlagen noch in Betrieb sind,
- ob die stillgelegten Anlagen technisch wieder in Betrieb genommen werden können, ob die Betriebsleiter Interesse bekunden diese wieder in Betrieb zu nehmen und
- ob die Betriebsleiter der Anlagen, welche in Betrieb sind, Interesse zeigen, diese auszubauen oder einen Neubau zu realisieren.

Aus diesen Untersuchungen konnten folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Von den untersuchten 34 Anlagen waren heute noch 14 Anlagen in Betrieb, 20 Anlagen wurden stillgelegt.
- Von den 20 stillgelegten Anlagen besteht nach Aussagen der ehemaligen Betriebsleiter bei 8 Anlagen die technische Möglichkeit, diese wieder in Betrieb zu nehmen. Von diesen 8 Anlagen besteht aber nur bei 3 Betreibern das Interesse die Anlage wieder in Betrieb zu nehmen. Alle diese 3 Betreiber würden bei einer Wiederinbetriebnahme die Anlage auch ausbauen wollen.
- Bei 6 ehemaligen Betreibern von stillgelegten Anlagen besteht zudem das prinzipielle Interesse an einem Neubau einer Biogasanlage.
- Von den 14 untersuchten Anlagen, welche noch in Betrieb sind, werden 2 Anlagenbetreiber, ihre Anlage in näherer Zukunft stilllegen. 6 Anlagenbetreiber haben das prinzipielle Interesse an einem Ausbau der Anlage bekundet, ein Anlagenbetreiber möchte eine neue Biogasanlage realisieren.

Die Aussagen der Untersuchung wurden in untenstehenden Graphiken illustriert. Es sind jeweils die einzelnen Anlagen als Quadrate ersichtlich, wobei die Resultate der Befragung durch die jeweilige Einfärbung erkennbar sind. In Figur 3 sind die Anlagen dargestellt, welche bei der Befragung nicht mehr in Betrieb waren.



**Figur 3:** Illustration der 20 Anlagen, welche nicht mehr in Betrieb sind; Legende jeweils links

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Potential zur Wiederinbetriebnahme stillgelegter Anlagen aufgrund vorliegender Daten als relativ gering eingestuft werden muss. Einige der untersuchten stillgelegten Anlagen besitzen zwar gemäss Aussage der aktuellen Betriebsleiter das technische Potential, wieder in Betrieb genommen zu werden, doch haben viele ehemalige Betreiber kein Interesse die Anlage wieder in Betrieb zu nehmen. In vielen Fällen stehen die Anlagen bereits seit 10 oder gar 20 Jahren still und eine Wiederinbetriebnahme wäre mit hohen Kosten verbunden. Oftmals hat seit der Erstellung der Anlage der Betriebsleiter gewechselt und der neue Betriebsleiter zeigt kein Interesse mehr an der Anlage oder verfügt nicht über das notwendige technische Feingefühl, um die Anlage zu unterhalten. Möglicherweise kennen diese Betreiber den Zustand ihrer Anlage nicht im Detail.

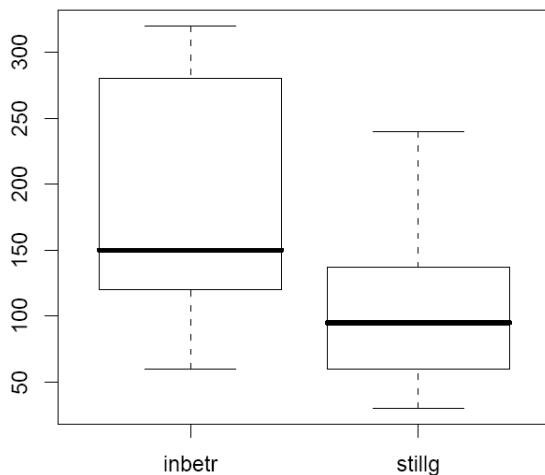
Figur 4 verwendet dieselbe Darstellung für die Anlagen, welche noch in Betrieb sind.

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
wird Anlage abschalten														
wird Anlage weiterbetreiben														
Interesse an Ausbau														
kein Interesse														
Interesse an Neubau														
kein Interesse														

**Figur 4:** Illustration der 14 Anlagen, welche noch in Betrieb sind; Legende jeweils links

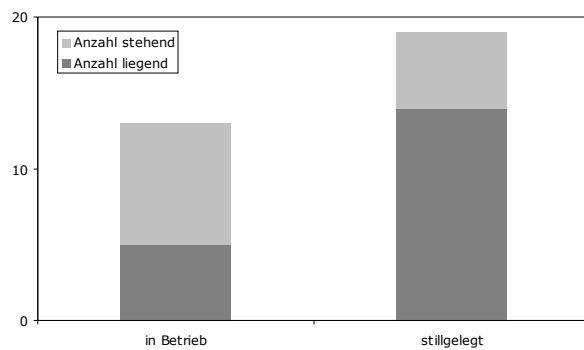
Die Betreiber, deren Anlagen noch in Betrieb sind, beabsichtigen grösstenteils die Anlagen weiterzubetreiben. Einige können sich vorstellen die Anlage auszubauen. Anscheinend haben gewisse Betreiber in den letzten Jahren auch bereits Modernisierungsmassnahmen ergriffen. Kaum einer möchte eine neue Anlage erstellen, was andeutet, dass die meisten Betreiber mit ihren Anlagen zufrieden sind.

Bei den Befragungen wurden einige weitere Parameter aufgenommen. Dadurch ist es möglich Aussagen über die Gründe für die Betriebsaufgabe zu machen. Es hat sich Beispielsweise gezeigt, dass die Fermentervolumina der stillgelegten Anlagen signifikant kleiner waren, als jene der Anlagen, welche weiterbetrieben werden ( $p = 0.013$ ). Daraus lässt sich schliessen, dass Anlagen mit grösseren Fermentervolumina bessere Überlebenschancen haben als solche mit kleinen Volumina. In Figur 5 sind die Unterschiede sehr deutlich erkennbar. Darin ebenfalls erkennbar ist, dass sich die Fermentervolumina der Musterbiogasanlagen aus den vorherigen Kapiteln durchaus im Bereich der Kleinbiogasanlagen aus den 80er Jahren bewegen und keineswegs für eine Kleinbiogasanlage zu gross sind. Zudem weist es auch darauf hin, dass die Investition in genügend Fermentervolumen längerfristig sinnvoll ist, da die Lebensdauer von Anlagen mit grossem Fermentervolumen höher ist.



**Figur 5:** Boxplot der Fermentervolumina der untersuchten Biogasanlagen; *inbetr* = Anlagen, welche noch in Betrieb sind; *stillg* = Anlagen, welche inzwischen stillgelegt wurden; y-Achse: Fermentervolumen in  $m^3$

In den Umfragen hat es sich ebenfalls gezeigt, dass viele liegende Fermenter ausser Betrieb genommen worden sind. Figur 6 zeigt die entsprechenden Daten. Es ist in diesem Säulendiagramm sehr deutlich erkennbar, dass viel mehr liegende als stehende Behälter stillgelegt worden sind. Dies lässt die Vermutung aufkommen, dass sich stehende Behälter längerfristig besser bewährt haben als liegende. Auch wenn sich diverse Betreiber von liegenden Fermentern insbesondere über die Rührwirkung sehr positiv geäussert haben.

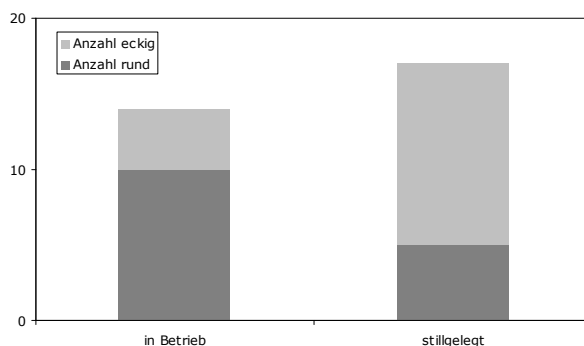


**Figur 6:** Säulendiagramm mit Anzahl Anlagen mit stehenden Fermentern und mit liegenden Fermentern

Daher kommt die Vermutung auf, dass andere Faktoren für die Stilllegung ausschlaggebend waren und nicht rein die Tatsache, dass die Fermenter liegend konstruiert waren. Eine naheliegende Möglichkeit ist, dass die Fermentervolumina der liegenden Fermenter bedeutend tiefer sind, als die Volumina der stehenden Fermenter. Diese Vermutung muss allerdings verworfen werden. Die Daten zeigten keine Unterschiede in der Fermentergrösse zwischen stehenden und liegenden Fermentern ( $p = 0.372$ ).

Insofern muss es andere Gründe geben, warum einerseits diverse Anlagenbetreiber die liegenden Fermenter sehr gelobt haben, andererseits aber viele liegende Fermenter stillgelegt worden sind. Die vorliegenden Daten lassen aber keine entsprechenden Schlüsse zu.

Die erhobenen Daten zeigen auch, dass deutlich mehr eckige als runde Fermenter stillgelegt worden sind (Figur 7). Auch dies ist überraschend, da viele Betreiber von eckigen Behältern mit ihrer Anlage sehr zufrieden sind, falls darauf geachtet wird, dass die Rührwerke genügend leistungsstark sind.



**Figur 7:** Säulendiagramm mit Anzahl Anlagen mit eckigen Fermentern und runden Fermentern

Bei der Betrachtung der Daten hat es sich gezeigt, dass die Volumina der eckigen Fermenter signifikant tiefer sind, als jene der runden ( $p = 0.025$ ). Dies könnte ein Grund sein, warum die eckigen Behälter deutlich häufiger stillgelegt worden sind als runde. Eckige Behälter haben sich gerade bei einfachen Kleinanlagen eigentlich bewährt, da sie relativ einfach zu erstellen und zu unterhalten sind. Bei grösseren Behältern sind Probleme in der Rührwirkung zu erwarten.

## 5. Schlussfolgerungen

Auf vielen bestehenden Kleinanlagen, welche vorwiegend in den 70er und 80er Jahren erbaut worden sind, konnte aus Sicht der Technik Optimierungspotential festgestellt werden. Aufgrund der schlechten ökonomischen Rahmenbedingungen für Kleinbiogasanlagen wurde beim Bau gespart, was entweder zur Betriebsaufgabe der Anlagen oder aber zu Sanierungsbedarf geführt hat. Oftmals mussten die Anlagen kurz nach der Inbetriebnahme mit leistungstärkeren, teureren Komponenten nachgerüstet werden.

Eine allgemeine Aussage zu den technischen Möglichkeiten der Wiederinbetriebnahme von stillgelegten, bestehenden Anlagen konnte nicht gemacht werden. Es hat sich gezeigt, dass die Gründe der Stilllegung und der technische Zustand der Anlagen sehr unterschiedlich sind. Eine Wiederinbetriebnahme ist in den meisten Fällen möglich, aber vor allem bei Anlagen, welche bereits seit Jahren stillgelegt sind, mit hohen Kosten verbunden. Bei einigen Anlagen sorgen externe Gründe dafür, dass eine Wiederinbetriebnahme nicht sinnvoll ist.

Die ausgelegten Musteranlagen wurden so konzipiert, dass ein problemloser Betrieb der Kleinanlagen garantiert werden kann. Es hat sich gezeigt, dass die Erstellung solcher Anlagen relativ teuer ist und diese kaum rentabel betrieben werden können. Nur die Stromgestehungskosten der Musteranlage 4 bewegen sich in der Grössenordnung der Tarife der neuen Energieverordnung. Die Stromgestehungskosten der übrigen Musteranlagen sind deutlich höher. Nur durch eine entscheidende Erhöhung der Einspeisetarife würden derartige Biogasprojekte realisierbar.

Die Nutzung des Biogases in einem BHKW zur Produktion von Ökostrom und -wärme ist voraussichtlich am ehesten rentabel. Die Nutzung des Biogases in einem Gasbrenner zur alleinigen Produktion von Wärme kann nicht mit den gängigen Energieträgern, welche üblicherweise zur Wärmeproduktion genutzt werden, konkurrenzieren, da die Energiepreise nach wie vor sehr tief sind. Bei den Gasnetzbetreibern besteht voraussichtlich kein Interesse am Kauf von Kleinanlagenbiogas.

Es wurden diverse Möglichkeiten zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Rahmen der vorliegenden Studie diskutiert. Es hat sich gezeigt, dass das grösste Potential zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit in der Senkung der Investitionskosten liegt, dadurch können die Kapitalkosten deutlich gesenkt werden. Durch eine Standardisierung der Anlage können die Planungskosten entscheidend reduziert werden. Eine Standardisierung der Anlage ist aber nur sinnvoll, falls genügend Anlagen gebaut werden, und dies ist nur bei einer deutlichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit möglich, was wiederum höhere Einspeisetarife bedingen würde.

Aus der Telefonumfrage geht hervor, dass die ehemaligen Betreiber stillgelegter Anlagen, das Potential zur Wiederinbetriebnahme ihrer Anlagen als sehr gering einschätzen. Die Betreiber zeigen auch wenig Interesse die Anlage wieder in Betrieb zu nehmen. Eher können sie sich den Bau einer neuen Anlage vorstellen.

Nur wenige Besitzer von betriebenen Anlagen erwägen die Stilllegung ihrer Anlage. Einige Betreiber sind an einem Ausbau ihrer Anlage interessiert. Ein Anlageneubau kommt für kaum einen Betreiber in Betracht.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass nur eine deutliche Erhöhung der Stromeinspeisetarife den rentablen Betrieb von Kleinbiogasanlagen ermöglichen kann.

## Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
GVE	Grossvieheinheit
kW <sub>el</sub>	kW elektrisch
kW <sub>th</sub>	kW thermisch
MSP	Mastschweineplatz
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
oTS	organische Trockensubstanz
TS	Trockensubstanz

## Referenzen

- [1] Eder Barbara, Schulz Heinz: **Biogas-Praxis**; Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit; 3. Auflage; ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2006.
- [2] Bundesamt für Statistik BFS: **Schweizer Landwirtschaft - Taschenstatistik 2007**; Eidgenössisches Departement des Innern EDI; Neuchâtel; 2007.
- [3] Schweizerischer Bundesrat: **Energieverordnung (ENV) - Vernehmlassungsentwurf vom 27. Juni 2007**.
- [4] Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau (LBL): **Wirz Kalender 2006**; Wirz Verlag; Basel; 2005.
- [5] Eigenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL): **Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001**; AGRAR-Forschung 8 (6); 2001.
- [6] Baserga Urs: **Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen**; Stoffdaten, Gärtechnik und gesetzliche Grundlagen; FAT Bericht Nr. 546; Tänikon; 2000.
- [7] Amon T. et al.: **Biogas**; Strom aus Gülle und Biomasse; top agrar; Landwirtschaftsverlag GmbH, D-Münster, 2002
- [8] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW: **G13d-Richtlinien für die Einspeisung von Biogas ins Erdgasverteilnetz**; Zürich; 2004.
- [9] Telefonat mit einem inländischen Gasnetzbetreiber vom 26.11.2007.
- [10] Bundesamt für Energie BFE: **Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2006**; Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2007.
- [11] Amman Helmut (Redaktion): **Maschinenkosten 2007**; Kostenansätze Gebäudeteile und mechanische Einrichtungen; Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART; Ettenhausen; 2007.
- [12] Telefonate mit zwei inländischen Stromnetzbetreibern vom 22.11.2007.
- [13] Stiftung Klimarappen: **Ausschreibung Emissionsreduktionsprojekte**; Wegleitung zum Antragsformular; Stiftung Klimarappen; Zürich; 2006
- [14] Telefonat mit Hr. Alain Schilli von der Stiftung myclimate vom 4.12.2007.