

Forschungs- und P+D-Programm Biomasse	Programme de recherche et p+d Biomasse	Bundesamt für Energie BFE
--	---	---------------------------

Schlussbericht März 2003

# „Biogas vom Bauer wird zum Treibstoff von morgen“

**Auftraggeber :**

Forschungs- und P+D Programm Biomasse des Bundesamtes für Energie

**Auftragnehmer :**

ARGE SwissFarmerPower  
c/o ITZ InnovationsTransfer Zentralschweiz  
Allmenstrasse 18  
CH-6048 Horw

**Autoren :**

Urs Brücker, ITZ  
Roland Limacher, Energie Treuhand ETL AG  
Stefan Krummenacher, Energie Treuhand ETL AG  
Joel Schmid, Schmid Management & Kommunikation AG

**Koreferat :**

Hans Engeli, engeli engineering

Diese Vorstudie wurde im Rahmen des Forschungs- und P+D Programm Biomasse des Bundesamtes für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · [office@bfe.admin.ch](mailto:office@bfe.admin.ch) · [www.admin.ch/bfe](http://www.admin.ch/bfe)

Vertrieb: ENET, Egnachstrasse 69, 9320 Arbon; <http://www.energieforschung.ch>

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangslage und Abgrenzung</b> .....	<b>7</b>
2.1	Ausgangslage.....	7
2.2	Abgrenzung .....	7
<b>3</b>	<b>GVE- Kataster und Biogaspotential in der Modellregion</b> .....	<b>9</b>
3.1	GVE-Kataster .....	9
3.1.1	Grossvieheinheiten (GVE) und Dichten auf Ebene Amt .....	9
3.1.2	GVE- Dichte auf Ebene Gemeinde .....	11
3.1.3	Beispiel einer Subregion .....	12
3.2	Biogaspotential .....	13
3.2.1	Das theoretische Biogaspotential .....	13
3.2.2	Das technisch nutzbare Biogaspotential.....	14
<b>4</b>	<b>Bestehende Anlagen und Gasnetz in der Modellregion</b> .....	<b>14</b>
4.1	Bestehende Anlagen .....	14
4.1.1	Betriebsrestriktionen aufgrund des Raumplanungsgesetzes (RPG).....	14
4.2	Das (Erd-)Gasnetz in der Modellregion .....	16
<b>5</b>	<b>Anlagentechnologie und Betriebskonzepte</b> .....	<b>17</b>
5.1	Einführung, Methodik.....	17
5.2	Grundlagendaten.....	19
5.3	Erläuterungen zu den gewählten Technologien .....	22
5.4	Variante 1: Gas by wire .....	24
5.4.1	Kurzbeschrieb .....	24
5.4.2	Schema.....	24
5.4.3	Stoff- und Energieflussdiagramm.....	25
5.4.4	Kalkulationsraster .....	26
5.5	Variante 2: Direkteinspeisung.....	27
5.5.1	Kurzbeschrieb .....	27
5.5.2	Schema.....	27
5.5.3	Stoff- und Energieflussdiagramm.....	28

5.5.4	Kalkulationsraster .....	29
5.6	Variante 3: Flaschenabfüllung .....	30
5.6.1	Kurzbeschreibung .....	30
5.6.2	Schema .....	30
5.6.3	Stoff- und Energieflussdiagramm.....	31
5.6.4	Kalkulationsraster .....	32
5.7	Vergleich der Varianten .....	33
5.7.1	Möglichkeiten zur Reduktion der Gestehungskosten.....	34
<b>6</b>	<b>Umweltauswirkungen der Konzeptvarianten in der Modellregion ....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Marktdaten und Marktentwicklung .....</b>	<b>36</b>
7.1	Marktdaten.....	36
7.2	Marktentwicklung.....	38
7.2.1	Im (umwelt-)politischen Umfeld.....	38
7.2.2	Im wirtschaftlichen Umfeld .....	40
7.2.3	Gas-Label .....	40
7.2.4	Preissensitivität .....	41
7.2.5	Marktpotential von Biogas.....	41
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>Glossar.....</b>	<b>43</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>44</b>

## 1 Summary

Im Rahmen dieser Vorstudie wurden die technischen, logistischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Biogasproduktion für den Treibstoffmarkt, anhand einer abgegrenzten Modellregion im Kanton Luzern untersucht.

Gründend auf den Erkenntnissen der vorliegenden Vorstudie, erscheint die Ausarbeitung von Realisierungskonzepten und der Bau grösserer, gewerblicher Anlagen, insbesondere für die Direkteinspeisung des aufbereiteten Biogas ins Erdgasnetz als ökologisch und ökonomisch sinnvoll. In unserer Modelregion ist die Kombination der Energieproduktion aus landwirtschaftlichem Biogas mit der technischen Aufbereitung der Gülle als interessante Option zu prüfen.

### **Biogaskataster und Biogaspotential**

Mit einer im schweizerischen Vergleich hohen Tierdichte von durchschnittlich über 200 GVE / km<sup>2</sup> und mit lokalen Konzentrationen mit einer Dichte > 400 GVE / km<sup>2</sup> ist die untersuchte Modellregion der Ämter Willisau, Sursee und Hochdorf im Kanton Luzern, in Bezug auf die landwirtschaftliche Biogasproduktion sehr interessant. Im Rahmen der Vorstudie wurde nur das landwirtschaftliche Biogaspotential aus tierischen Exkrementen für die Rindergattung, Schweine und Nutzgeflügel erhoben. Nicht berücksichtigt wurden die Potentiale der anderen Tiergattungen sowie potentielle landwirtschaftliche Gärsubstrate wie überschüssiges Gras, Energiepflanzen etc. und weitere mögliche Co-Substrate aus organischen Abfällen von Haushaltungen und Gewerbe. Trotz dieser restriktiven Betrachtung beträgt das theoretische Biogaspotential in der Modellregion, auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche von 540 km<sup>2</sup>, ca. 43 Mio. m<sup>3</sup> Biogas/Jahr mit einem entsprechenden Energieinhalt von 260 Mio. kWh/Jahr.

### **Wirtschaftlichkeit der Betriebskonzepte**

Für die Betriebskonzeption wurden die 3 Varianten; „Gas by wire“ (Verstromung und Zertifikatenhandel mit Ökomehrwert), „Direkteinspeisung“ (Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität „H“ und Einspeisung ins Erdgasnetz) und „Flaschenabfüllung“ (Abfüllung des unbehandelten Biogas in Druckflaschen und Transport an Verwendungsstelle) definiert und untersucht. Diese Betriebskonzepte unterscheiden sich vor allem in Bezug auf die der eigentlichen Biogasproduktion nachgelagerten Prozesse.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion für den Treibstoffmarkt liefern die Konzeptvarianten „Gas by wire“ und die „Direkteinspeisung“, insbesondere auch unter Berücksichtigung der für die Vorstudie angenommenen Restriktionen, ermutigende Ergebnisse. Die Gestehungskosten liegen dabei, je nach Anlagengrösse und Substratzusammensetzung und unter Berücksichtigung der in der Modellregion idealen Voraussetzungen in Bezug auf die Logistikkosten in einer Bandbreite von 8 bis 13 Rp./kWh, was einem Dieseläquivalent von 0,8 bis 1,3 CHF/Liter entspricht. Bei der Variante „Flaschenabfüllung“ liegen die Geste-

hungskosten, aufgrund der hohen Logistikkosten höher, in einer Bandbreite von 15 bis 21 Rp./kWh.

Während beim Betriebskonzept „Gas by wire“ die Anlagengrösse eine untergeordnete Rolle spielt, eignet sich das Betriebskonzept „Direkteinspeisung“ nur für grössere, gewerbliche Anlagen welche auf einer Verarbeitungskapazität von > 3'000 GVE basieren.

### **Umweltrelevanz der Biogasproduktion**

Die Ammoniakemissionen stellen für den Kanton Luzern und speziell für die, in dieser Vorstudie betrachtete Modellregion, ein grosses Problem dar.

In Bezug auf die Biogasgewinnung aus Gülle und Mist in der Modellregion, besteht Einigkeit darüber, dass die Vergärung der Hofgülle allein keine nennenswerten Ammoniakreduktionen bewirken lässt.

Aus wirtschaftlichen Überlegungen werden Anlagen zur technischen Güllenaufbereitung eine relativ hohe Beschickungsmenge benötigen und dementsprechend tendenziell als zentrale Gemeinschaftsanlagen konzipiert werden.

Dadurch könnten sich interessante Synergien mit den bei den Betriebskonzepten „Direkteinspeisung“ und „Gas by wire“ im Vordergrund stehenden grossen Biogasanlagen ergeben. Zum Beispiel wären einige wichtige infrastrukturelle Massnahmen bzw. ein Teil der „Güllelogistik“ bereits realisiert.

### **Politisches Umfeld und Marktentwicklung**

Die Förderung von Gastreibstoffen (Erd- Flüssig- und Biogas) ist in Anbetracht der grossen Vorzüge bezüglich Schadstoffemissionen, dem CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential und der damit verbundenen Verbesserung von Luftqualität und Klima seitens der Politik sowohl in der Schweiz wie der EU unbestritten.

Die Schweizer Gaswirtschaft will (im Gegenzug zu einer international kompatiblen Steuerreduktion für Erdgas als Treibstoff) das Tankstellennetz massiv ausbauen. Ein erstes Zwischenziel ist der Ausbau des Tankstellennetzes von aktuell 27 Tankstellen auf 50 bis im Jahre 2004 bzw. auf 100 im Jahre 2006. Eine erste Zielmarke von 50'000 Gasfahrzeugen bis im Jahr 2010 in der Schweiz ist für den VSG (Verband der Schweizerischen Gasindustrie) realistisch. Mit 50'000 Gasfahrzeugen könnte die Schweiz Ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen jährlich um rund 30'000 Tonnen reduzieren.

Die Verhandlungen zwischen den Biogasproduzenten und der Gasindustrie (VSG, Werke) bezüglich der Übernahme von aufbereitetem Biogas zu marktfähigen Preise sind angelaufen.

## 2 Ausgangslage und Abgrenzung

### 2.1 Ausgangslage

Die Förderung von Biogas als CO<sub>2</sub>-neutraler Energieträger ist ein Schwerpunkt im Rahmen des Programms EnergieSchweiz.

Auf politischer Ebene wird aktuell eine intensive Diskussion über Massnahmen geführt, welche die Erreichung der im CO<sub>2</sub>-Gesetz von 1999 festgehaltenen Ziele der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen bis im Jahre 2010 ermöglichen soll. Insbesondere bei den Emissionen aus Treibstoffen zeichnet sich dabei eine grosse Ziellücke ab, welche unter Anderem mit Massnahmen im Bereich der Treibstoffbesteuerung verkleinert werden soll [1].

Insgesamt wird sowohl in der Schweiz wie auch in der EU das Wachstumspotential von Gas (Erdgas/Biogas) als Treibstoff – auch aus Gründen der Versorgungssicherheit – als hoch eingestuft.

Ebenfalls in Bewegung kommt die Schaffung von (Bio)Gaslabels – analog dem Ökostrommarkt. Unter der Federführung von *Kiefer und Partners AG, Zürich*, sind die entsprechenden Arbeitsgruppen konstituiert und haben ihre Arbeit aufgenommen.

Kompaktbiogasanlagen, aber auch grössere, Industrielle Biogaskraftwerke, Gastankstellen, Gasfahrzeuge, Verteilinfrastruktur etc. sind heute Stand der Technik. Dabei wird Biogas, welches z.B. bei der Vergärung von Grünabfällen, als Nebenprodukte der Grasverwertung oder eben bei der Vergärung von Mist und Gülle entsteht, mit Hilfe eines Blockheizkraftwerkes, verstromt und mit einem bescheidenen Wirkungsgrad ins Stromnetz eingespiesen. Der Rest der gewonnen Energie kann als Wärmeenergie teilweise weiterverwendet werden. Biogas als Treibstoff zu nutzen ist noch kaum verbreitet. In der Schweiz sind vereinzelte Projekte wie z.B. „*Salat im Tank – Biogas für Kraftfahrzeuge*“ der Migros Zürich und der *Erdgas Zürich AG* bekannt.

Das Luzerner Mittelland hat aufgrund der Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe als Produktionsstandort für Biogas grosses Potential. Im Rahmen der Vorstudie werden Grundlagen für die Förderung und Nutzung von Biogas aus der Landwirtschaft als Treib- und Brennstoff erarbeitet und am Beispiel der Modellregion des Luzerner Mittellandes die konkreten technischen, logistischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten unter Berücksichtigung der gesetzlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen aufgezeigt.

### 2.2 Abgrenzung

Als Modellregion für die Studie sind die 3 Ämter Willisau, Sursee und Hochdorf mit einer Gesamten Landwirtschaftlichen Nutzfläche von ca. 540 km<sup>2</sup> betrachtet worden. Dabei wurde nur das landwirtschaftliche Biogaspotential aus tierischen Exkrementen von Tieren der Rindergattung, Schweinen und Nutzgeflügel sowie Einstreu mitberücksichtigt. Die Exkremente von Pferden, Schafen, Ziegen und anderen Raufutterverzehrenden Tieren sind nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden sonstige potentielle landwirtschaftliche

Gärssubstrate wie überschüssiges Gras, Energiepflanzen etc. und mögliche weitere Co-Substrate aus organischen Abfällen von Haushaltungen und Gewerbe.

Diese Betrachtungsweise garantiert insbesondere für die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Anlagen/Betriebskonzepte auf der „sicheren Seite“ zu sein. Bei der Planung konkreter Anlagen wäre der Einsatz dieser Co-Substrate, unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen, selbstverständlich zu prüfen.

Nicht Gegenstand dieser Studie sind auch die Möglichkeiten der, der Biogasproduktion und Verwertung vorgelagerten resp. nachgeschalteten Prozesse, wie Aufbereitung der vergorenen Gülle (z.B. Strippen des Ammoniums) mittels welchen ein massgeblicher Beitrag zur Luftreinhaltung und zur Minderung der starken Überdüngung gewisser Gebiete im Kanton Luzern geleistet werden könnte. Die Synergien zu laufenden Vorhaben (*z.B. Projekte des Amts für Umweltschutz des Kantons Luzern*) werden aber genutzt und sollen im Falle von Realisierungsprojekten berücksichtigt werden.

### 3 GVE- Kataster und Biogaspotential in der Modellregion

#### 3.1 GVE-Kataster

Als Basis für die Erstellung des GVE-Katasters gehen wir von den Daten der *kantonalen Tiererhebung 2002 per Stichtag 2. Mai 2002* aus.

##### 3.1.1 Grossvieheinheiten (GVE) und Dichten auf Ebene Amt

Der Kanton Luzern weist aktuell ca. 156'000 GVE auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) von 831 km<sup>2</sup> auf. Davon entfallen rund 121'000 GVE auf die drei untersuchten Ämter Willisau, Sursee und Hochdorf mit einer LN von 540 km<sup>2</sup>. Die Ämter Hochdorf und Sursee weisen dabei sehr ähnliche und die grösste spezifische GVE-Dichte/km<sup>2</sup> auf, gefolgt vom Amt Willisau (siehe Fig. 1). Innerhalb der betrachteten Modellregion lassen sich dabei lokale Konzentrationen mit über 400 GVE / km<sup>2</sup> feststellen, was einem, im schweizerischen Mittel, sehr hohen Wert entspricht.

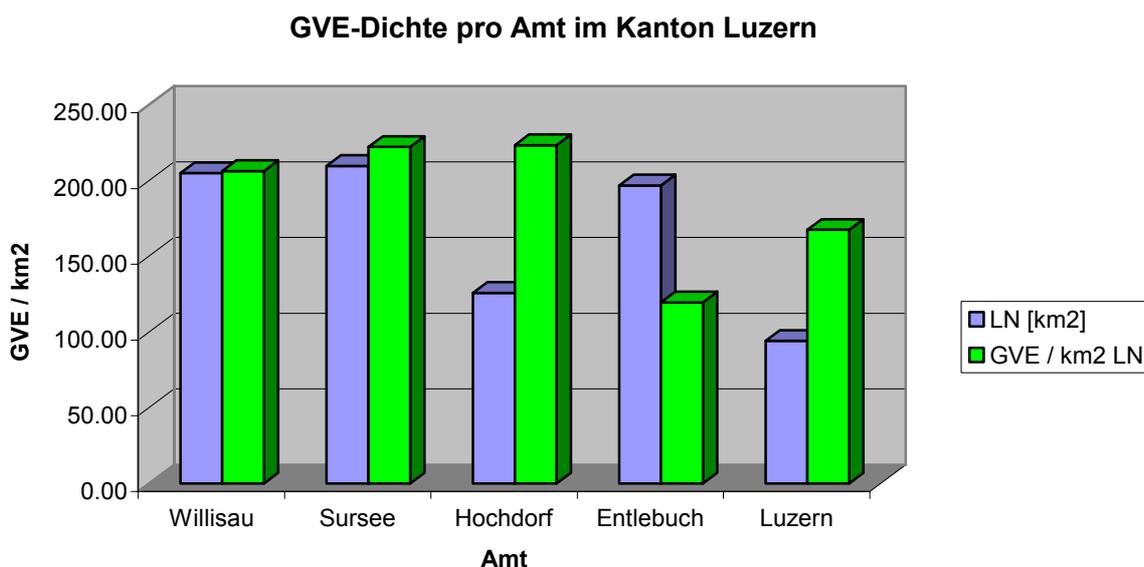


Fig. 1 Landwirtschaftliche Nutzfläche und GVE-Dichten pro Amt

Hinsichtlich der Zusammensetzung der GVE lässt sich sagen, dass der typische Mix für die Modellregion für die Rindergattung rund 58% für Schweine 36% und für Nutzgeflügel 6% beträgt (siehe Fig. 2). Auch hier lassen sich dabei lokal allerdings Unterschiede feststellen.

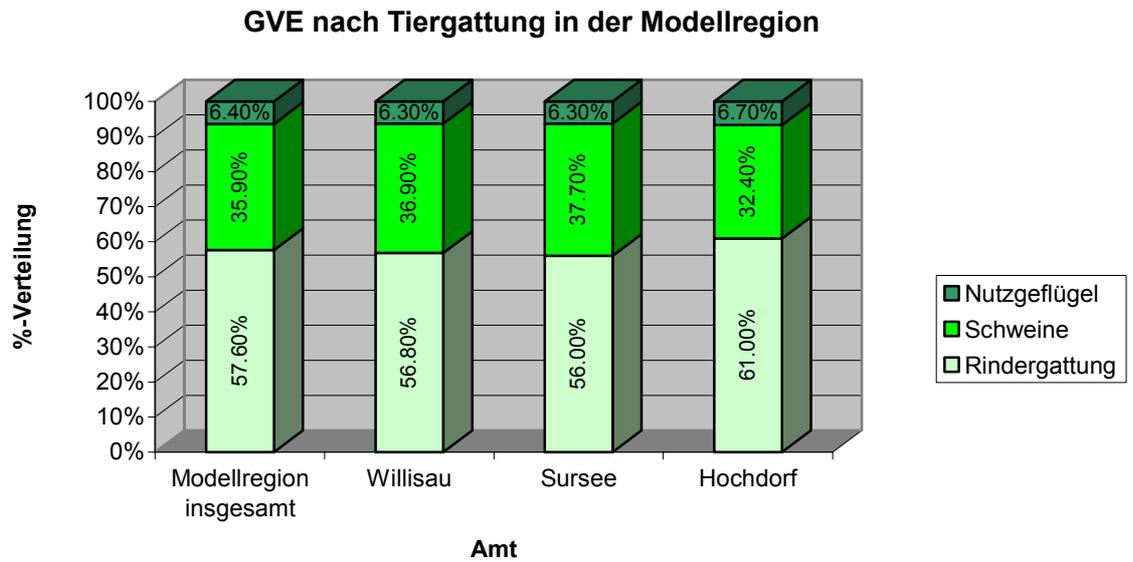


Fig. 2 Verteilung GVE nach Tiergattung in der Modellregion

### 3.1.2 GVE- Dichte auf Ebene Gemeinde

Nachstehend (siehe Fig. 3) sind die Dichten der GVE pro km<sup>2</sup> pro Amt und Gemeinde dargestellt.

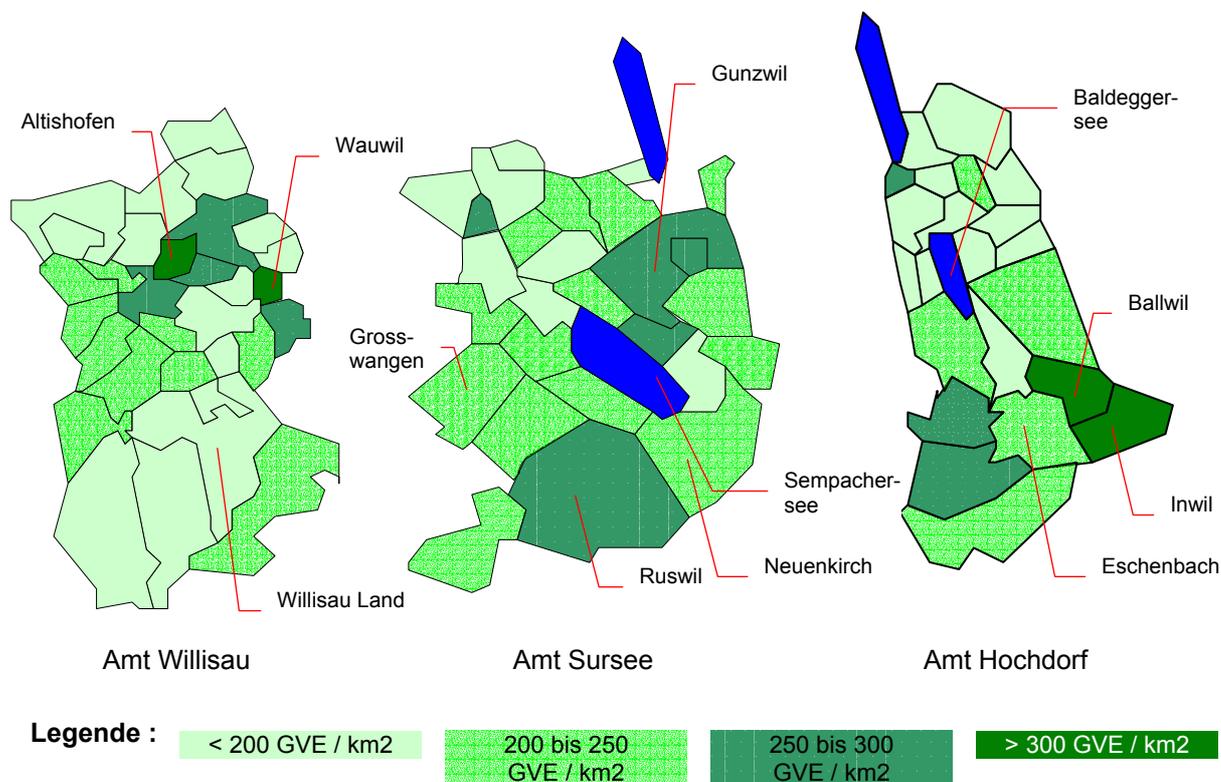


Fig. 3 GVE-Dichte auf Ebene Gemeinde

Die höchsten Konzentrationen der GVE / km<sup>2</sup> finden sich in den Gemeinden Inwil und Ballwil im Amt Hochdorf und in Altishofen und Wauwil im Amt Willisau. Nach absoluten GVE-Zahlen pro Gemeinde steht Ruswil mit über 8'000 GVE an der Spitze, gefolgt von Willisau Land (5'300), Gunzwil, Grosswangen und Neuenkirch (alle > 4'000).

Als Regionen mit überdurchschnittlichen GVE-Zahlen präsentieren sich die Gebiete im oberen Teil des Amt Willisau - rund um die Gemeinde Altishofen; ein grosser Teil des Amtes Sursee von Ruswil bis Gunzwil und das Gebiet um die Gemeinde Eschenbach im Amt Hochdorf.

### 3.1.3 Beispiel einer Subregion

Auf dem nachstehenden Kartenausschnitt (siehe Fig. 4) soll am Beispiel der Region rund um die Gemeinde Eschenbach dokumentiert werden, wie auf kleiner Fläche und entsprechend kurzen Distanzen Rohgülle, Mist und landwirtschaftliche Reststoffe als Substrat für die Biogasproduktion beschafft werden können.

In den Betrachteten Gemeinden Inwil, Ballwil, Eschenbach, Rothenburg, Rain und Emmen beträgt die Anzahl GVE ca. 14'400 (Rindergattung, Schweine und Nutzgeflügel). Bei einer gesamten Landwirtschaftlichen Nutzfläche des Gebietes von ca. 50 km<sup>2</sup> ergibt dies eine durchschnittliche Dichte von 280 GVE pro km<sup>2</sup>.

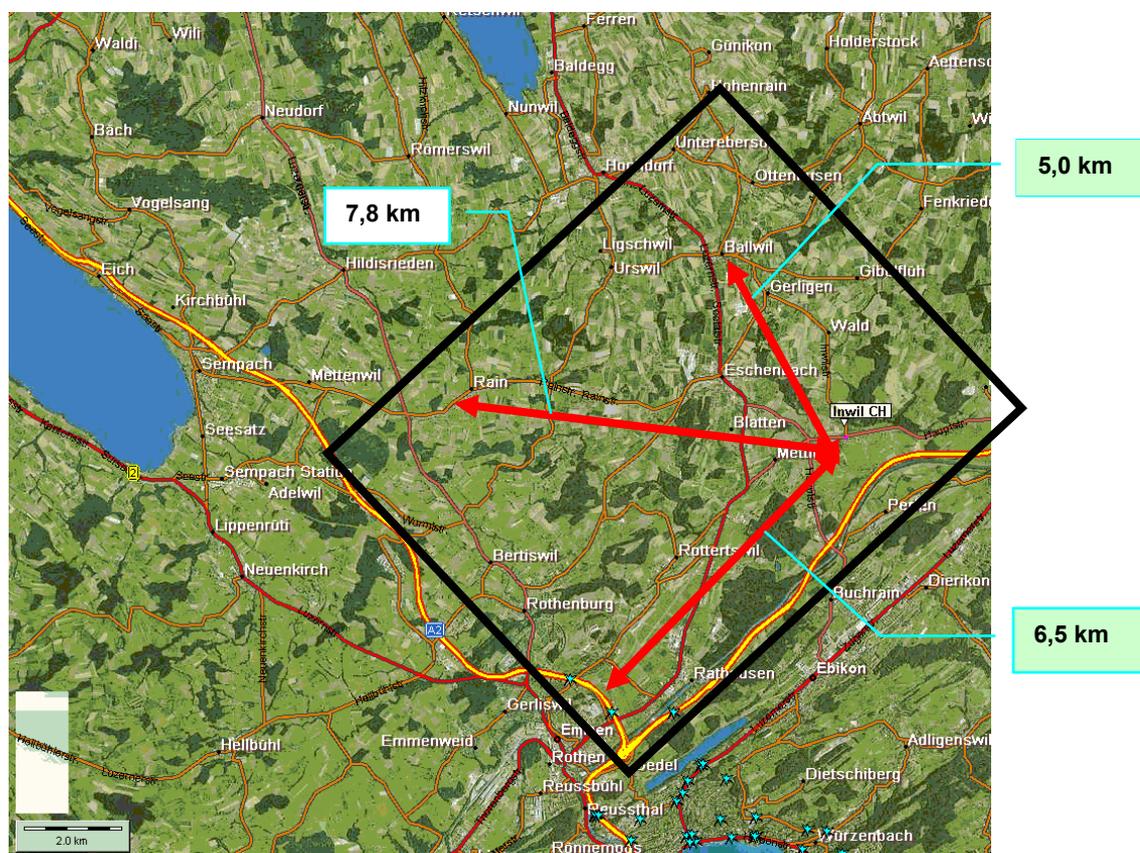


Fig. 4 Geografische Situation rund um die Region der Gemeinde Eschenbach; [Quelle TwixRoute]

## 3.2 Biogaspotential

### 3.2.1 Das theoretische Biogaspotential

Für die Errechnung des Biogaspotentials in der Modellregion stützen wir für die Vorstudie Grundsätzlich auf die einschlägige Literatur ab [2, 3, 4, 5]

Das theoretische Biogaspotential der Modellregion aus der Landwirtschaft beträgt unter Berücksichtigung der im Abschnitt 2.2 Abgrenzung festgehaltenen Restriktionen und des typischen Tierbestand-Mixes insgesamt ca. 119'000 m<sup>3</sup> Biogas/d.

Ohne Berücksichtigung des Potentials aus Einstreu und dem relevanten Jahresverlauf ergibt sich damit ein Potential von ca. 43 Mio. m<sup>3</sup> Biogas/Jahr mit einem Energieinhalt von ca. 260 Mio. kWh/Jahr. Dies wiederum entspricht, umgerechnet auf das Dieseläquivalent einer Menge von 26 Mio. Liter Diesel/Jahr. Die Aufteilung nach Amt ist nachstehend dargestellt (Siehe Fig. 5).

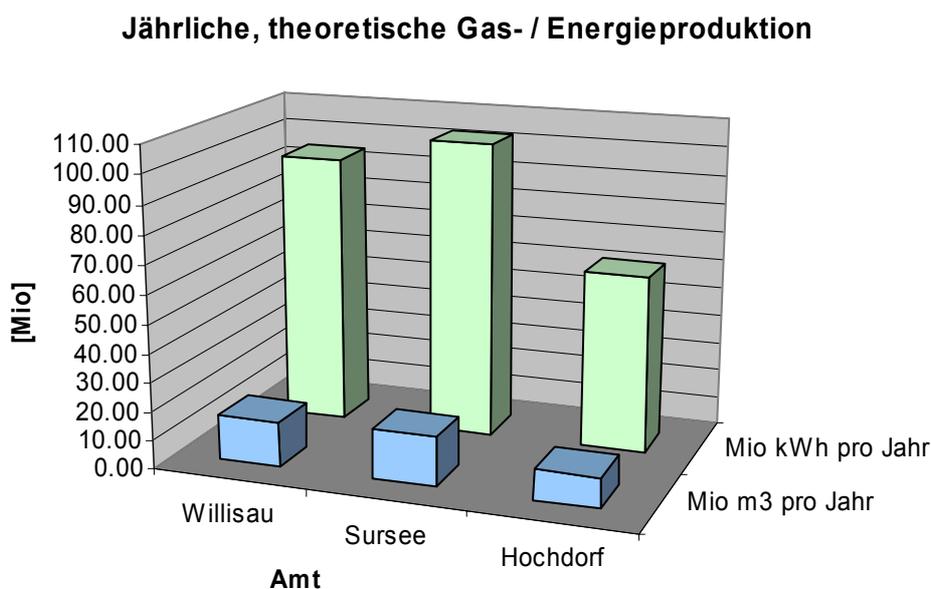


Fig 5 Theoretisches Biogaspotential pro Jahr in der Modellregion

Wenn man von einem breiten Einsatz von Einstreu (Stroh) ausgeht, erhöht sich die produzierbare Menge an Biogas bzw. die theoretisch produzierbare Energie. Bei einem Substrat, das aus Gülle und Stroh zusammengesetzt ist, kann davon ausgegangen werden, dass zwischen 20-30% des produzierten Biogases, je nach eingesetzter Menge, vom Strohanteil geliefert werden.

### 3.2.2 Das technisch nutzbare Biogaspotential

Wie der Literatur zu entnehmen ist [6, 7], sind bei der Betrachtung des tatsächlichen, technischen Potentials, aufgrund der Haltung der Tiere, einige Restriktionen zu berücksichtigen. Wir rechnen im Rahmen der Vorstudie mit einer maximalen Reduktion des theoretischen Potentials um 30%. In der nachfolgenden Konzeptphase und bei der Planung von konkreten Anlagen in der Modellregion würde diese Reduktion in Form eines entsprechend grösseren Anlagen-Einzugsgebietes bzw. einer höheren Anzahl beteiligter Betriebe und GVE mit berücksichtigt werden.

Ebenfalls zu berücksichtigen und für das technisch nutzbare Biogaspotential relevant, ist der Prozessenergiebedarf in Abhängigkeit der verschiedenen Betriebskonzepte. Die entsprechenden Stoff- und Energieflussdiagramme sind in den Abschnitten 5.4 / 5.5 und 5.6 dieses Berichtes behandelt.

## 4 Bestehende Anlagen und Gasnetz in der Modellregion

### 4.1 Bestehende Anlagen

Die bestehenden Anlagen im Kanton Luzern sind Kompaktanlagen in welchen mittels nachgeschaltetem Blockheizkraftwerk elektrische Energie gewonnen und ins Netz eingespeisen wird. Es handelt sich dabei um durchwegs kleinere Anlagen mit einer durchschnittlichen, jährlichen Energieproduktion von 150 bis 400 MWh. [5] Zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit (höhere Gaserträge pro Fermentervolumen, Entsorgungsgebühren) werden nach Möglichkeit nebst landwirtschaftlichen Reststoffen wie Gülle, Mist, Stroh etc. auch Speiseabfälle aus der Gastronomie und Grünabfälle der Gemeinden etc. als Co-Substrate eingesetzt. Weil diese Anlagen meist auf landwirtschaftlichen Betrieben stehen, bestehen dabei Restriktionen seitens der Raumplanungsgesetzgebung, welche die Optimierung dieser Anlagen erschwert. Diese Kompaktanlagen könnten in die Betriebskonzeption „Gas by Wire“ (Siehe Abschnitt 5.4) einbezogen werden.

#### 4.1.1 Betriebsrestriktionen aufgrund des Raumplanungsgesetzes (RPG)

Bei der Auslegung der RPG-Vorschriften geht man davon aus, dass der Landwirtschaft vermehrte unternehmerische Möglichkeiten eingeräumt werden. Diese beziehen sich allerdings auf die Herstellung von *landwirtschaftlichen Produkten*. Insbesondere besteht seit dem 1. 9.2000 mehr Flexibilität bei der Abweichung vom Grundsatz der Bodenbewirtschaftung.

Für die Bereitstellung nichtlandwirtschaftlicher Produkte und Dienstleistungen wird nur wenig Spielraum gewährt, weil die Landwirtschaftszone nicht zur Gewerbezone werden soll. Gemäss Art. 24b RPG besteht hinsichtlich Kompaktbiogasanlagen und für die Co-Vergärung die Möglichkeit auch betriebsfremde Substrate zu verwenden.

Dabei sind aber folgende Restriktionen zu beachten :

- ❑ Das Nebengewerbe muss in Personalunion geführt werden. Es muss gegenüber dem landwirtschaftlichen Gewerbe untergeordnete Bedeutung haben.
- ❑ Die Kompaktbiogasanlage muss in bestehenden Gebäuden untergebracht werden (Dies schränkt die Möglichkeiten sehr stark ein, insbesondere wenn wie im Merkblatt der Umweltschutzfachstelle angedeutet, eine Bodenabdichtung oder gar eine Überdeckung nötig wird).
- ❑ Neue Gebäude dürften nur erstellt werden, wenn eine negative Standortgebundenheit nachgewiesen ist, was für Biogasanlagen kaum vorstellbar ist, können sie doch problemlos in Bauzonen erstellt werden.

Aufgrund dieser Restriktionen geht hervor, dass der Gesetzgeber nicht will, dass die Landwirte Entsorgungsaufgaben für für das Siedlungsgebiet übernehmen, sofern diese nicht der Herstellung eines Landwirtschaftsprodukts dienen oder ausnahmsweise in den engen Rahmen des nichtlandwirtschaftlichen Nebenerwerbs nach Art. 24b RPG oder der negativen Standortgebundenheit passen.

Dies schränkt die Möglichkeiten eines Landwirtes, auf seinem Hof in der Landwirtschaftszone als „Entsorgungsunternehmer“ oder „Energieproduzent“ tätig zu sein, erheblich ein.

Nachstehend die Aufnahme einer landwirtschaftlichen Kompaktbiogasanlage (siehe Fig. 6).



Fig. 6 Kompaktbiogasanlage Reidermoos Kanton Luzern [ 8 ]

## 4.2 Das (Erd-)Gasnetz in der Modellregion

Im Hinblick auf die Betriebskonzepte mit Direkteinspeisung des aufbereiteten Biogases ins Erdgasnetz kommt der bestehenden Infrastruktur des Erdgasnetzes grosse Bedeutung zu. Im Kanton Luzern sind aktuell 11 Gemeinden, in der Modellregion 7 Gemeinden mit Erdgas versorgt (siehe Fig. 7). In weiteren Gemeinden sind einzelne Grossverbraucher ans Gasnetz angeschlossen. In der Modellregion der 3 Ämter besteht in den Gemeinden Emmen, Rothenburg, Ruswil, Wolhusen, Reiden, Wikon und Pfaffnau, ein mehr oder weniger gut ausgebautes Gasnetz. In den Gemeinden Menznau und Inwil sind einzelne Grossverbraucher angeschlossen bzw. Leitungen vorverlegt. Relevant ist dabei das Verteilnetz im Druckbereich bis max. 5 bar.

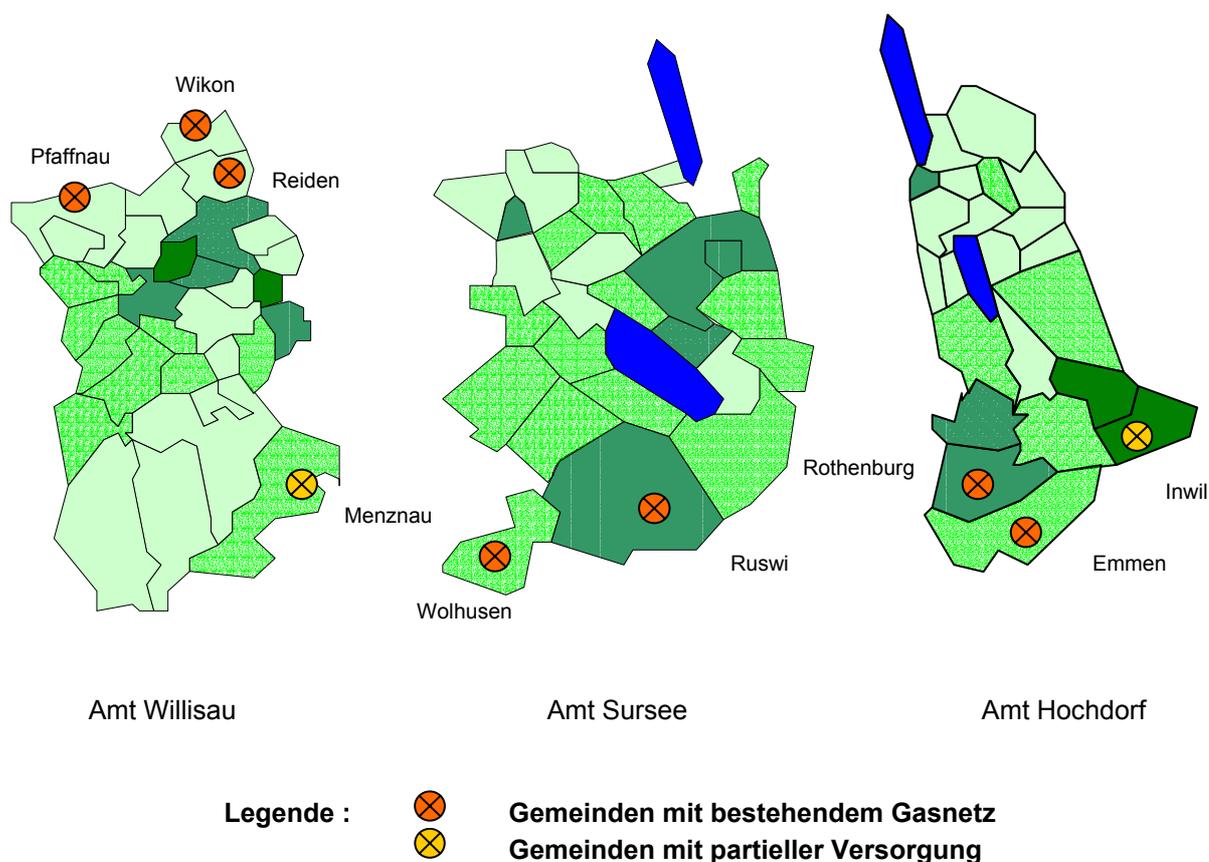


Fig. 7 Gemeinden mit bestehender Gasversorgung; [ 9, 10]

Interessant ist, dass mit Ausnahme des tierreichen Gebietes im nordöstlichen Teil des Amtes Sursee, in den Gebieten mit überdurchschnittlich hohen GVE-Dichten und damit grossem Biogaspotential, ein recht dichtes Erdgasverteilstnetz existiert. Es kann also davon ausgegangen werden, dass bei der Realisierung von grösseren Biogasanlagen, z.B. für die Betriebskonzeption mit Direkteinspeisung ins lokale Gasnetz, relativ geringe Investitionen in neu zu erstellende Gasleitungen getätigt werden müssten.

## 5 Anlagentechnologie und Betriebskonzepte

### 5.1 Einführung, Methodik

In der Schweiz wurde in den letzten Jahren im Bereich der landwirtschaftlichen Biogasproduktion wichtige und erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet. Wir können deshalb an dieser Stelle feststellen, dass die Technik der Biogaserzeugung bestehend und verfügbar ist. Dieses Bild hat sich nach einer umfassenden Literaturrecherche im In- und Ausland bestätigt und betrifft auch die nachgelagerten Prozesse wie die Verstromung des Biogases oder aber die Einspeisung in das Erdgasnetz.

In der Schweiz sind in der Landwirtschaft heute vor allem Kompaktanlagen mit einem Substratinput von wenigen Tausend Kubikmeter Gülle pro Jahr im Einsatz. Diese werden aus Gründen der finanziellen Rentabilität zusätzlich mit Co-Substraten beschickt. Wegen der Steigerung der Rentabilität ist im nahen Ausland auch in der Landwirtschaft ein Trend zu grösseren Gemeinschaftsanlagen festzustellen (siehe Fig. 8).



Fig. 8 *Biogasanlage Grossvoigtsberg/Sachsen – Fermentervolumen 2'500 m<sup>3</sup> – Substratinput ca. 40'000 m<sup>3</sup> / a; [ 4 ]*

Unser Projekt zielt primär darauf ab, durch differenzierte Vermarktungsstrategien des gewonnenen Biogases eine finanziell attraktive Ausgangslage zu schaffen. Wir haben deshalb noch einmal verschiedene Möglichkeiten der Biogasproduktion unter diesem Aspekt geprüft.

Dies geschah wie bereits erwähnt in einem ersten Schritt durch eine umfassende Literatur-Recherche im In- und Ausland [2, 3, 4, 5]. Zudem haben uns Besichtigungen von mehreren bestehenden Anlagen sowie von Messen und Fachtagungen weitere wichtige Informationen vermittelt [9, 10, 11].

### Betriebskonzepte

Der gewählte Konzeptansatz basiert auf einer Matrix (Tabelle 1), in welcher die Anlagen-grösse in drei Abstufungen (Kompakt, Midi, Maxi) mit drei verschiedenen nachgeschalteten Prozessen (Gas by wire, Einspeisung in das Gasnetz, Flaschenabfüllung) kombiniert werden. Damit wird das Ziel verfolgt, die optimale Kombination unter Berücksichtigung der Vermarktungsfähigkeit des Produktes zu evaluieren.

SwissFarmerPower		KOMPAKT ANLAGE	MIDI ANLAGE	MAXI ANLAGE
<b>Betriebsgrösse</b>	<b>Betriebskonzepte</b>	ca. 350 GVE	ca. 3'000 GVE	ca. 6'500 GVE
	Gas by wire	geprüfte Variante	geprüfte Variante	geprüfte Variante
	Direkt - Einspeisung		geprüfte Variante	geprüfte Variante
	Flaschen - Abfüllung	geprüfte Variante		

Tabelle 1 Matrix Betriebskonzepte

### Kompakt

Diese Variante bezeichnet einen Kleinverbund von wenigen, örtlich angrenzenden Bauernhöfen. Die kompakte Bauweise hat landwirtschaftlichen Charakter. Die Güllelogistik kann mit den auf den Betrieben vorhandenen Infrastrukturen (Güllenrohre, Güllefassanhänger) ohne grosse Zusatzinvestitionen bewerkstelligt werden.

### Midi

Damit bezeichnen wir den Verbund von mehreren Bauernhöfen, welche sich in einem Umkreis von ca. 5 km befinden. Die Anlage wird mittels standardisierten Bauteilen und Modulen in einem Gewerbegebiet erstellt. Der Gülletransport wird mit einer professionalisierten Logistik (ca. 20m<sup>3</sup> Gülle pro Anfahrt) bewerkstelligt. Der Transport kann durch Anhänger und Zugfahrzeuge erfolgen, welche der Biogasproduktionsstätte angegliedert sind. Möglich ist auch die Angliederung an ein Transportunternehmen. Die Wahl der richtigen Logistik in der Projektierungsphase richtet sich nach der Geländetopographie und einer optimalen Betriebsführung.

## Maxi

Bei dieser Variante werden die landwirtschaftlichen Betriebe einer Sub-Region miteinbezogen. Eine entsprechende Anlage wird im Gewerbegebiet projektspezifisch geplant (keine Standardmodule). Bezüglich der Güllelogistik gelten die gleichen Überlegungen wie bei der Variante Midi.

Weitere Erläuterungen zu den Betriebskonzepten finden sich im Abschnitt 5.3 sowie bei den detaillierten Diskussionen der verschiedenen Varianten. Die zu berücksichtigenden Stoffflüsse ergeben sich aus dem GVE-Kataster gemäss Abschnitt 3 und sind nachfolgend im Abschnitt 5.2 weiter präzisiert.

## 5.2 Grundlagendaten

Die Bestimmung der Stoff- und Energieflüsse hat einen massgeblichen Einfluss auf den Biogasertrag und somit auf die resultierenden Herstellungskosten. Die Stoffflüsse sind einerseits vom berücksichtigten Tierbestand und andererseits stark von der Betriebsweise des jeweiligen Bauernhofs (Haltung, Fütterung, Aufstallung usw.) abhängig.

Um diese wichtigen Einflüsse gebührend zu berücksichtigen, geht die vorliegende Vorstudie von den effektiven Tierbeständen in der Region aus. Unterschiedliche Haltungs- und Fütterungsbedingungen werden durch die Berechnung von Bandbreiten beim Stofffluss berücksichtigt. Die Berechnung ‚Low‘ bestimmt die untere Grenze der Bandbreite, indem angenommen wird, dass nur die organische Substanz der Gülle vergoren wird.

Die Berechnung ‚High‘ geht davon aus, dass durch Zugabe von Einstreu die Auslastung des Fermenters auf 4 bis 5 kg OS/m<sup>3</sup>d gesteigert wird. Damit stellt die High-Berechnung die optimistische Annahme in Bezug auf die Biogasproduktion dar. Eine Effizienzsteigerung könnte auch durch die Reduktion des Wasseranteils in der Rohgülle erreicht werden, da dadurch eine Steigerung des Biogasertrags pro Volumeneinheit und die Reduktion des Logistik- und Prozessenergieaufwands erreicht werden kann.

Wie weit die Nettogaserträge der Annahme ‚High‘ in der Praxis umgesetzt werden können, hängt von den eingangs erwähnten Rahmenbedingungen ab und muss im Rahmen eines konkreten Realisierungskonzepts geklärt werden. Eine Befragung von Kennern der landwirtschaftlichen Situation in unserer Modellregion ergab, dass die Rohgülle in den verschiedensten Substratzusammensetzungen vorkommt, wobei eine Tendenz zum sparsamen Umgang mit Wasser (Verdünnung der Gülle vor dem Ausbringen) und Einstreu (Kosten) erwähnt wird. Im Weiteren basiert die Herleitung der Stoff- und Energieflüsse auf den folgenden Grundlagen:

- Die berücksichtigten Tierbestände stützen sich auf den GVE-Kataster gemäss Kapitel 3 dieser Vorstudie. Als Modellregionen dienen die Ämter Willisau, Sursee und Hochdorf.
- Zur Berechnung der Stoff- und Energieflüsse wurde die Methodik herangezogen, wie sie im Biogas Handbuch Kapitel 9 [2] ausgeführt wird. Anlagentechnisch gehen

wir von einer mesophil betriebenen Biogasanlage aus (Verweilzeit 23 Tage, Fermentertemperatur 35 °C).

- Zur Verifizierung der Grundlagendaten wurde zusätzlich das Fachbuch Biogas Praxis [2] und der Leitfaden Biogas in der Landwirtschaft [4] herangezogen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die wichtigsten technischen Eckdaten:

Tierart Bezeichnung gem. Landw. Kataster	GVE Landw. Kataster Faktor/Tier	Lebend- gewicht kg	Güllenmenge pro Tag und Tier	Organische Substanz (OS) kg/Tg und Tier	Biogasproduktion m3/kg OS	Einstreumengen kg Frischmasse pro Tag und Tier
Milchkuh	1	625 kg	60 ltr.	4,8	0,21	1,5
Mutterkuh	0,8	625 kg	60 ltr.	4,8	0,21	
Mastrind >2J.	0,6	500 kg	25 ltr.	2,2	0,35	
Mastrind 1-2J.	0,4	500 kg	25 ltr.	2,2	0,35	
Mastkalb (Jungvieh/Aufzucht)	0,25	45-135 kg	12 ltr.	0,09	0,35	
Mastkalb (v.Mutter/Ammenkuh)	0,17	45-135 kg	12 ltr.	0,09	0,35	0,5
Säugende Zuchtsau	0,55	68-100 kg	15 ltr.	0,67	0,43	
Zuchtsau/Eber	0,25		5,8 ltr.	0,4	0,43	
Remonten/Mastschwein	0,17	9 ltr.	0,34	0,43		
Nutzgeflügel	0,01	23 kg	0,14 kg	0,025	0,48	0,02

Zusatzstoff	Organische Substanz (OS) kg/kg FM	Biogasproduktion m3/kg OS
Einstreu / Stroh (Weizen-/Roggenstroh gehäckselt)	0,73	0,25

Energieaufwand Rührwerk	35 - 100 Wh/Tg und m3 Fermentervolumen
-------------------------	--

Energieaufwand Drehkolben - Güllerpumpe	230 - 250 Wh/m 3Gülle
---	-----------------------

Tabelle 2 Technische Eckdaten

Die wirtschaftlichen Vorgaben (siehe Tabelle 3) orientieren sich an heute üblichen Parametern und präsentieren sich wie folgt:

Tabelle wirtschaftliche Grundlagen	Einheit	Wert
Kapitalkosten		
Amortisationszeit	a	15
Kapital-Zins	%	5
Hypothekar-Zins	%	3,5
Annuität	-	0,096
Energiepreise		
Strom	CHF/kWh	0,18
Wärme (Einkauf)	CHF/kWh	Eigenproduktion
Stromkennzahl BHKW	%	33
Wärmekennzahl BHKW	%	55

Tabelle 3 Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Berechnung der Energiegestehungskosten der verschiedenen Betriebskonzepte und deren Vergleich (Abschnitt 5.7) wurden für den Anlagenunterhalt, die Logistik, Versicherung und für den Arbeitsstundensatz folgende Annahmen gemäss nachstehender Tabelle getroffen :

<b>Anlagenunterhalt</b>	
Biogasproduktion	2 % der Investitionskosten
BHKW (Ottomotor)	2 Rp/kWhe
BHK (Zündstrahlmotor)	3 Rp/kWhe 18 Ltr/Tag zu 0.5 CHF/Ltr (Zündöl)
Gasaufbereitung (PSA)	5 % der Investitionskosten (exkl. Hilfsstoffe wie Druckluft, Stickstoff, Aktivkohle etc.) => 0.5 – 1 Rp /Nm3 Gasdurchsatz
Flaschenabfüllung	CHF 6'000.- alle 4'000 Betriebsstunden

<b>Versicherungen</b>	1 % der Investitionskosten Produktion
-----------------------	---------------------------------------

<b>Arbeitsstundensatz</b>	35 – 50 CHF / h
---------------------------	-----------------

<b>Logistik</b>	
Transportweg Gülle MIDI-Anlage	Ø 10 km/Charge
Transportweg Gülle MAXI-Anlage	Ø 20 km/Charge
Transportweg Flaschen	Ø 250 km/Tag
Treibstoffbedarf Güllentransporter	22.5 Ltr/100 km (Diesel)
Treibstoffbedarf Flaschentransporter	30.0 Ltr/100 km (Diesel)
Fassungsvermögen Güllentransporter	20 m3/Charge
Fassungsvermögen Flaschentransporter (Biogas)	6'240 m3/Tag

Tabelle 4 Parameter für Anlagenunterhalt, Versicherungen, Arbeitsstundensatz, Logistik

### 5.3 Erläuterungen zu den gewählten Technologien

#### Biogasproduktion

Für die Produktion von Biogas aus der Landwirtschaft stehen heute verschiedene Technologien zur Verfügung. Nach umfangreichen Recherchen steht dabei aus unserer Sicht der so genannte Rührkessel-Fermenter noch immer im Zentrum. Als Rührkessel bezeichnet man einen oberirdischen, meist stehenden und zylinderförmigen Behälter mit integrierten Heizflächen und Rührwerk. Er zeichnet sich durch die folgenden Merkmale aus:

- Die Kompakte Bauweise und der geringe Platzbedarf führen zu tiefen Erstellungskosten;
- Die Wärmeverluste sind vergleichsweise gering;
- Die einfache und praxiserprobte Technik kann als zentralen Vorteil bezeichnet werden. Zudem stehen eine breite Palette von Standardkomponenten zur Verfügung;
- Als Nachteile werden der Einsatz der Rührenergie genannt sowie die Tatsache, dass sich kein Pfropfenstrom (bringt Vorteile beim Hygienisieren) bilden kann;

Der Rührkessel-Fermenter wird überwiegend im mesophilen Bereich<sup>1</sup> mit einem kontinuierlichen Durchfluss bei Verweilzeiten von 20 bis 30 Tagen betrieben. Um im Betrieb einen optimalen Gasertrag zu erzielen, sind im Rahmen eines Realisierungskonzepts die Betriebsparameter in Abhängigkeit der effektiven Güllenzusammensetzung (Messungen vor Ort) zu überprüfen.

#### Gasaufbereitung

Bei der Variante mit Direkteinspeisung in das Gasnetz muss das Biogas zuerst gereinigt und auf Erdgasqualität aufbereitet werden. Die geeignete Technik dazu ist aus unserer Sicht die Pressure Swing Adsorption (PSA).

Diese Methode wird auch in anderen Untersuchungen favorisiert [Literatur BFE Schlussbericht 2000, Projekt Greengas: Biogas als Treibstoff] und ist nach wie vor am meisten verbreitet.

Sie basiert auf der bevorzugten Adsorption von CO<sub>2</sub> gegenüber Methan an einem Kohlenstoff-Molekularsieb bei hohem Druck und Regeneration des Molekularsiebs bei niedrigem Druck. Die Technik zeichnet sich durch klare Schnittstellen, hohe Betriebssicherheit und stabile Gasqualität aus.

<sup>1</sup> in Anlagen mit Co-Fermentation und BHKW-Verstromung besteht wegen der Verfügbarkeit der Abwärme und der Keimreduzierung eine Tendenz zum thermophilen Bereich

Zur Entschwefelung des Biogases setzt sich vermehrt die biologische Entschwefelung durch. Dabei handelt es sich um eine Entschwefelungskolonie mit Füllkörpern, auf welchen Bakterien angesiedelt sind. Als Nährlösung dient die Gülle. Die Bakterien wandeln den Schwefelwasserstoff in elementaren Schwefel um, der in der Gülle abgeschieden wird und mit ihr in die Nachgrube fließt.

Eine zusätzliche Reduktion des im Biogas enthaltenen Schwefelwasserstoffes kann im Rahmen der PSA-Technik durch den Einsatz von Aktivkohlenfilter erreicht werden. Die Notwendigkeit muss in der Praxis von Fall zu Fall geprüft werden.

Das auf Erdgasqualität „H“ konditionierte Biogas muss ausserdem in den meisten Fällen odorisiert werden, das heisst mit einem Geruchsstoff versetzt werden, bevor es mittels einer Einspeisestation ins öffentliche Gasnetz geleitet wird.

Konkrete Erfahrungen mit Grossanlagen sind in der Schweiz noch wenig bekannt. In Deutschland sind einige Projekte bekannt und ein Einspeisegesetz ist in Bearbeitung. Generell wird die Direkteinspeisung, unter der Bedingung einer zu Erdgas „H“ kompatiblen Biogasqualität, als technisch unproblematisch bezeichnet.

### Flaschenabfüllung

Aus dem Erdgastankstellenbau sind kompakte Module zur Flaschenabfüllung von Gas bekannt. Solche Module bestehen aus einem ölfreien Kompressor, d.h. die Kolben sind nicht geschmiert. Er wird stationär in einem Container für Aussenauflistung untergebracht und ist luftgekühlt. Der angegliederte Flaschenspeicher besteht aus einer so genannten Bank mit mehreren Stahlflaschen (z.B. zu 140 Liter). Die transportablen Flaschen sind für einen maximalen Betriebsdruck von 250 bar zugelassen. Das Speichervolumen kann durch eine Aneinanderreihung mehrerer Banken beliebig erweitert werden. Der Transport von Gas in Stahlflaschen ist auch aus sicherheitstechnischer Sicht alltäglich und unproblematisch.

## 5.4 Variante 1: Gas by wire

### 5.4.1 Kurzbeschreibung

Diese Variante ist nach unseren Erkenntnissen in der Schweiz am meisten verbreitet. Das Biogas wird in einem Blockheizkraftwerk verstromt und ins öffentliche Stromnetz eingespeisen. Gas by wire ist für jede Anlagengrösse denkbar.

Neu ist die Idee, den Ökomehrwert der erneuerbaren und CO<sub>2</sub>-neutralen Energie Biogas als Zertifikat zu verkaufen und auf diesem Weg auch dem Treibstoff- oder dem Brennstoffmarkt zuzuführen. Die entsprechenden Handelswege sind während der Berichtsperiode in der Schweiz zwar noch nicht eröffnet, entsprechende Vorarbeiten sind jedoch in Bearbeitung mit dem Ziel, analog dem Strommarkt auch im Gasmarkt verschiedene Produkte mit Labels zu versehen und entsprechend zu vergüten<sup>2</sup>.

### 5.4.2 Schema

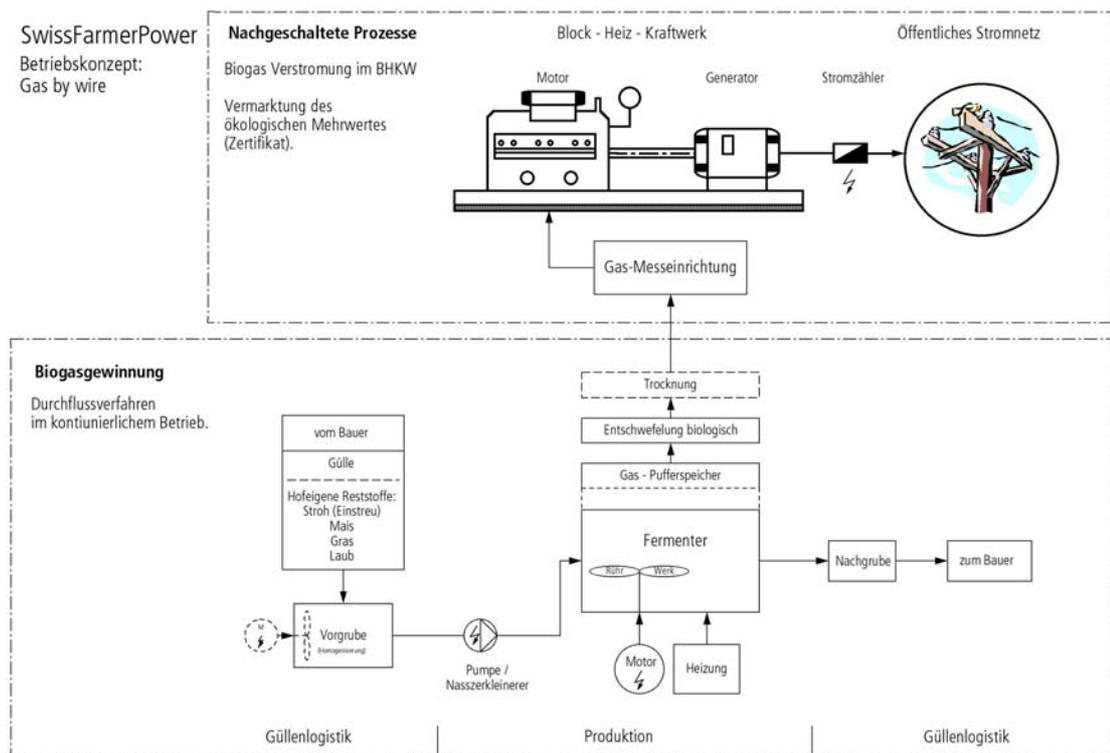


Fig. 9 Prinzipschema „Gas by wire“

<sup>2</sup> Beim Einsatz von Gas-by-wire in Kombination mit dem CH-Strommix bestehen zur Zeit noch einige offene Fragen und Vorbehalte, weshalb heute eine abschliessende Beurteilung noch nicht möglich ist.

## 5.4.3 Stoff- und Energieflussdiagramm

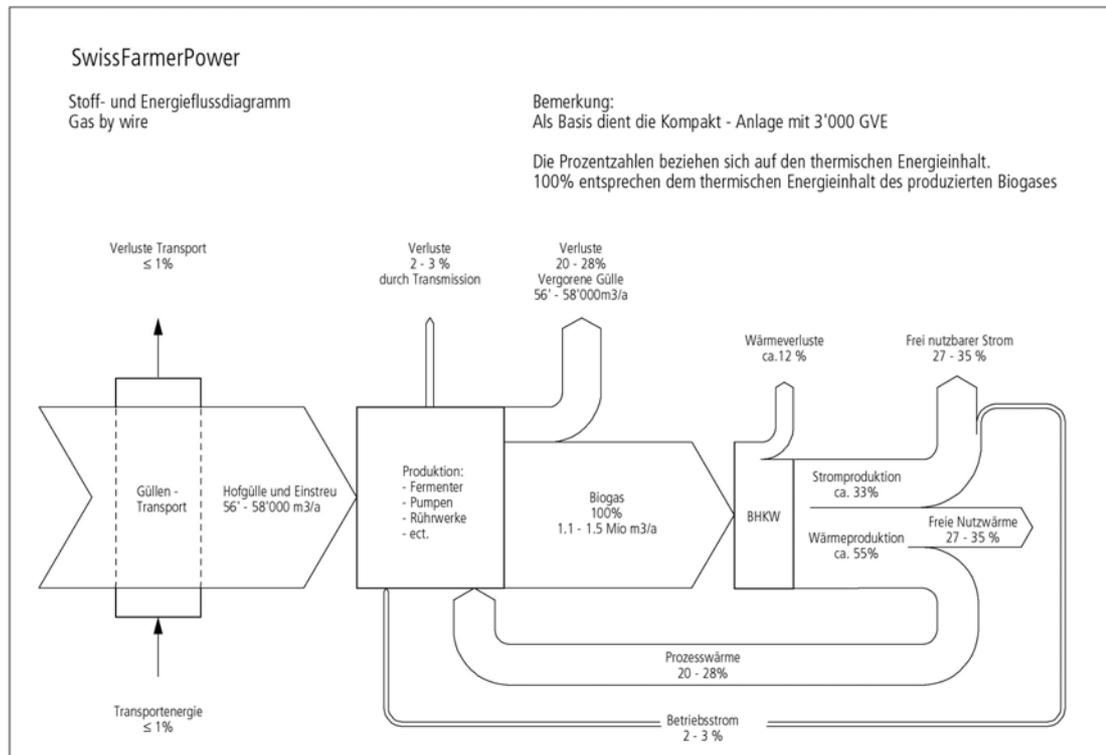


Fig.10 Stoff- und Energieflussdiagramm Konzept „Gas by wire“

## 5.4.4 Kalkulationsraster

Variante 1 Gas by wire					
Position	Quelle	Einheit	Werte Variante 1		
			Kompakt	Midi	Maxi
Input-Daten					
Anzahl GVE	Abschnitt 3	-	350	3'000	6'500
Güllenmenge	Abschnitt 5.2	m3/a	ca.6700	ca. 57000	ca. 123000
Platzbedarf Grundstück	[14]	m2	ca. 150	ca. 1500	ca. 2600
Investitionskosten Land	Schätzung	CHF	20'000	400'000	650'000
Investitionskosten Anlagen	[14]	CHF	470'000	2'238'000	3'997'000
Biogasproduktion					
Berechnung 'Low'	Abschnitt 5.2	m3/a	124'250	1'063'150	2'303'260
Berechnung 'High'	Abschnitt 5.2	m3/a	176'230	1'508'630	3'268'480
Energiebilanz 'Low' 1)					
Biogas-Produktion		MWh/a	746	6'379	13'820
Prozessenergiebedarf Wärme		MWh/a	220	1'763	3'978
Prozessenergiebedarf Strom		MWh/a	24	193	417
Energiebilanz 'High' 1)					
Biogas-Produktion		MWh/a	1'057	9'052	19'611
Prozessenergiebedarf Wärme		MWh/a	230	1'839	3'813
Prozessenergiebedarf Strom		MWh/a	25	201	436
Betriebskosten 'Low'					
Kapitaldienst		CHF/a	45'530	228'850	406'490
Energie		CHF/a	26'140	205'900	429'220
Personal, Logistik, Div.		CHF/a	23'740	277'460	603'060
Summe		CHF/a	95'410	712'210	1'438'770
Betriebskosten 'High'					
Kapitaldienst		CHF/a	45'530	228'850	406'490
Energie		CHF/a	18'840	152'050	318'940
Personal, Logistik, Div.		CHF/a	27'560	302'390	661'550
Summe		CHF/a	91'930	683'290	1'386'980
Gestehungskosten					
Low		CHF/kWh	0.13	0.11	0.10
High		CHF/kWh	0.087	0.075	0.071

1) ohne Treibstoffe für Güllelogistik (siehe Energie- und Stoffflussdiagramm)

Tabelle 5 Kalkulation der Gestehungskosten Konzept \*Gas by wire“

## 5.5 Variante 2: Direkteinspeisung

### 5.5.1 Kurzbeschreibung

Das Biogas wird auf Erdgasqualität „H“ aufbereitet und ins öffentliche Gasnetz (max. 5 bar) eingespiessen.

Auf Grund der hohen Sockelkosten der Gasaufbereitung ist die Direkteinspeisung für Biogasproduktionen ab ca. 100m<sup>3</sup>/h geeignet d.h. für Kompaktanlagen ist sie nicht relevant. Der Standort der Anlage richtet sich im Wesentlichen nach der Infrastruktur des Gasnetzes. Die Direkteinspeisung erlaubt den Einsatz von Biogas in dezentralen Verbrauchern aller Kategorien und hat deshalb bei der Vermarktung einige Vorteile.

### 5.5.2 Schema

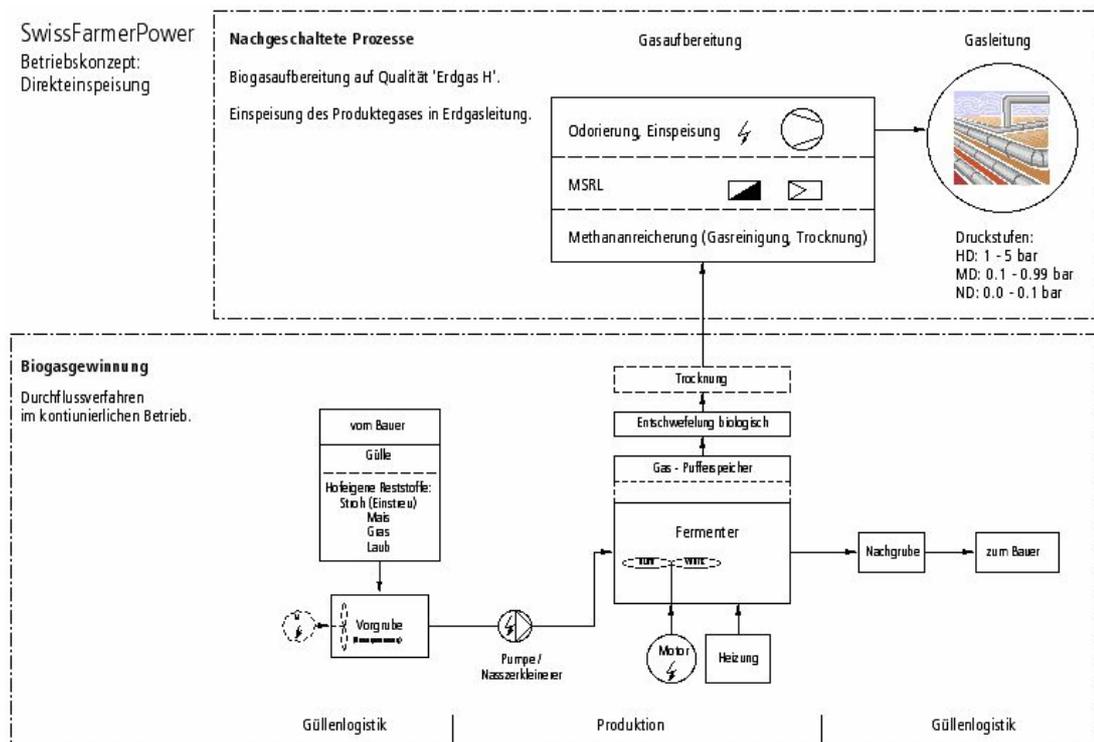


Fig. 11 Prinzipschema „Direkteinspeisung“

## 5.5.3 Stoff- und Energieflussdiagramm

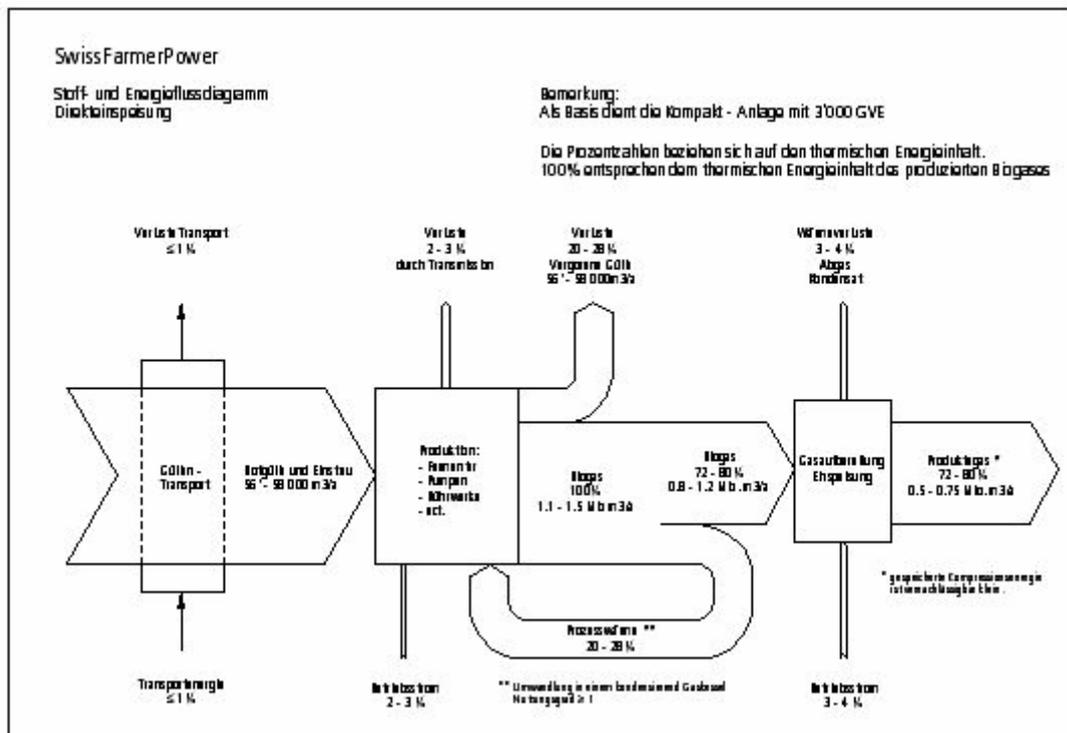


Fig.12 Stoff- und Energieflussdiagramm Konzept „Direkteinspeisung“

## 5.5.4 Kalkulationsraster

Variante 2 Direkt-Einspeisung					
Position	Quelle	Einheit	Werte Variante 2		
			Kompakt	Midi	Maxi
Input-Daten					
Anzahl GVE	Abschnitt 3	-		3'000	6'500
Güllenmenge	Abschnitt 5.2	m3/a		ca. 57000	ca. 123000
Platzbedarf Grundstück	[14]	m2		ca. 1500	ca. 2600
Investitionskosten Land	Schätzung	CHF		400'000	650'000
Investitionskosten Anlagen	[14]	CHF		2'453'000	4'461'300
Biogasproduktion 'Low'					
Produktion	Abschnitt 5.2	m3/a		1'063'150	2'303'260
Eigenbedarf	Abschnitt 5.3	m3/a		293'880	635'430
Netto	Abschnitt 5.4	m3/a		769'270	1'667'830
Biogasproduktion 'High'					
Produktion	Abschnitt 5.2	m3/a		1'508'630	3'268'480
Eigenbedarf	Abschnitt 5.3	m3/a		306'520	663'060
Netto	Abschnitt 5.4	m3/a		1'202'110	2'605'420
Energiebilanz 'Low' 1)					
Biogas-Produktion		MWh/a		6'379	13'820
Prozessenergiebedarf Wärme		MWh/a		1'763	3'813
Energie Output		MWh/a		4'616	10'007
Prozessenergiebedarf Strom		MWh/a		370	868
Energiebilanz 'High' 1)					
Biogas-Produktion		MWh/a		9'052	19'611
Prozessenergiebedarf Wärme		MWh/a		1'839	3'978
Energie Output		MWh/a		7'213	15'633
Prozessenergiebedarf Strom		MWh/a		478	1'139
Betriebskosten 'Low'					
Kapitaldienst		CHF/a		249'490	451'040
Energie		CHF/a		66'520	156'180
Personal, Logistik, Div.		CHF/a		276'700	572'930
Summe		CHF/a		592'710	1'180'150
Betriebskosten 'High'					
Kapitaldienst		CHF/a		249'490	451'040
Energie		CHF/a		85'970	205'050
Personal, Logistik, Div.		CHF/a		287'590	599'220
Summe		CHF/a		623'050	1'255'310
Gestehungskosten					
Low		CHF/kWh		0.13	0.12
High		CHF/kWh		0.086	0.080

1) ohne Treibstoffe für Güllelogistik (siehe Energie- und Stoffflussdiagramm)

Tabelle 6 Kalkulation der Gestehungskosten Konzept \*Direkteinspeisung\*

## 5.6 Variante 3: Flaschenabfüllung

### 5.6.1 Kurzbeschreibung

Das Biogas wird unbehandelt in Druckflaschen abgefüllt und mit einem LKW zur Verwendungsstelle transportiert.

Das Flaschenkonzept ist für Midi- und Maxi-Anlagen nicht geeignet, da die Flaschenlogistik in Kombination mit der Güllelogistik (Speicheraufwand, Transportaufwand, Energiebedarf, etc.) aus Gründen des gesamten logistischen Aufwands nicht vertretbar ist. Für die Kompaktanlagen bietet diese Variante die Möglichkeit der dezentralen Nutzung von Biogas auch für abgelegene Produktionsstandorte ohne Zugang zum Gasnetz.

### 5.6.2 Schema

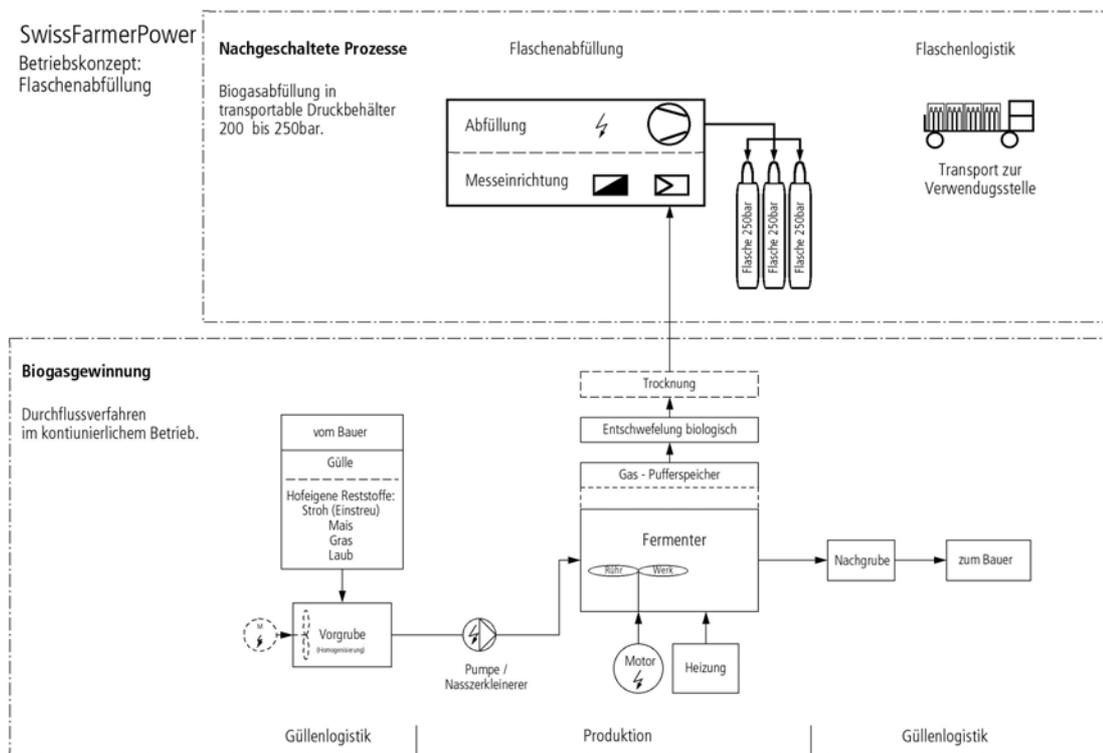


Fig. 13 Prinzipschema „Flaschenabfüllung“

## 5.6.3 Stoff- und Energieflussdiagramm

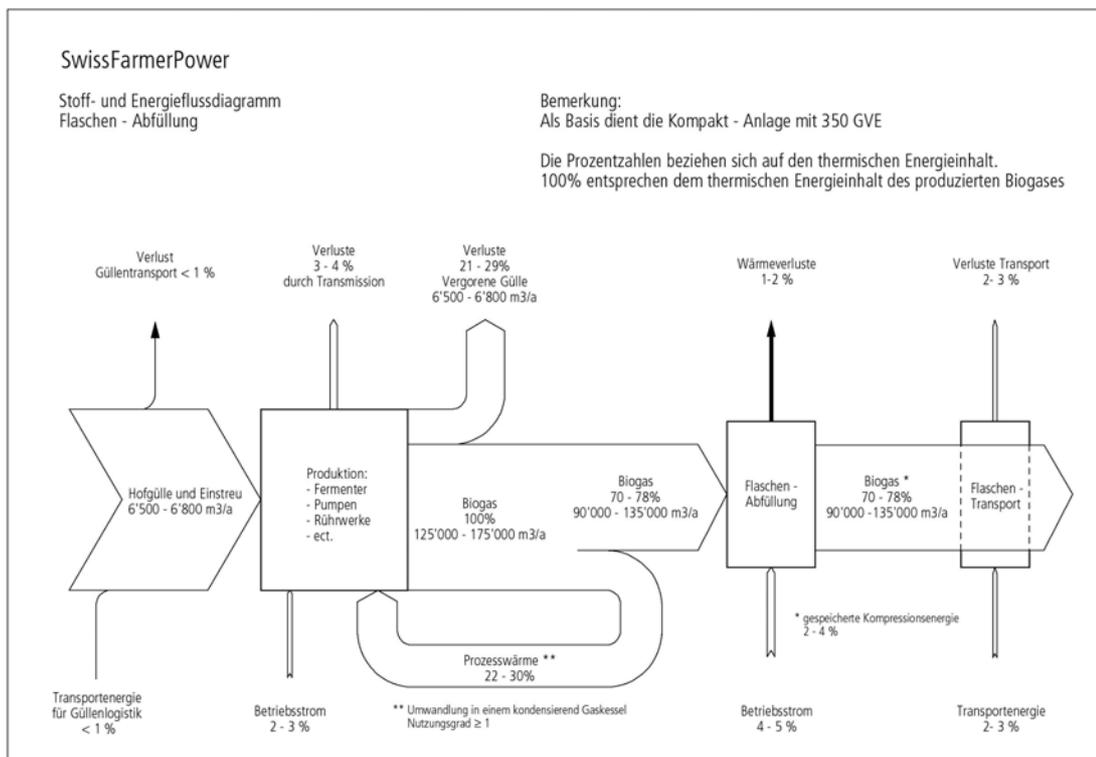


Fig. 14 Stoff- und Energieflussdiagramm Konzept „Flaschenabfüllung“

## 5.6.4 Kalkulationsraster

Variante 3 Flaschenabfüllung					
Position	Quelle	Einheit	Werte Variante 3		
			Kompakt	Midi	Maxi
Input-Daten					
Anzahl GVE	Abschnitt 3	-	350		
Güllenmenge	Abschnitt 5.2	m3/a	ca. 6700		
Platzbedarf Grundstück	[14]	m2	ca. 160		
Investitionskosten Land	Schätzung	CHF	20'000		
Investitionskosten Anlagen	[14]	CHF	617'000		
Biogasproduktion 'Low'					
Produktion	Abschnitt 5.2	m3/a	124'250		
Eigenbedarf	Abschnitt 5.3	m3/a	36'720		
Netto	Abschnitt 5.4	m3/a	87'530		
Biogasproduktion 'High'					
Produktion	Abschnitt 5.2	m3/a	176'230		
Eigenbedarf	Abschnitt 5.3	m3/a	38'270		
Netto	Abschnitt 5.4	m3/a	137'960		
Energiebilanz 'Low' 1)					
Biogas-Produktion		MWh/a	746		
Prozessenergiebedarf Wärme		MWh/a	220		
Energie Output		MWh/a	526		
Prozessenergiebedarf Strom		MWh/a	57		
Energiebilanz 'High' 1)					
Biogas-Produktion		MWh/a	1'057		
Prozessenergiebedarf Wärme		MWh/a	230		
Energie Output		MWh/a	827		
Prozessenergiebedarf Strom		MWh/a	76		
Betriebskosten 'Low'					
Kapitaldienst		CHF/a	59'930		
Energie		CHF/a	10'200		
Personal, Logistik, Div.		CHF/a	38'660		
Summe		CHF/a	108'790		
Betriebskosten 'High'					
Kapitaldienst		CHF/a	59'930		
Energie		CHF/a	13'750		
Personal, Logistik, Div.		CHF/a	49'290		
Summe		CHF/a	122'970		
Gestehungskosten					

1) ohne Treibstoffe für Güllen- und Flaschenlogistik (siehe Energie- und Stoffflussdiagramm)

Tabelle 7

Kalkulation der Gestehungskosten Konzept "Flaschenabfüllung"

## 5.7 Vergleich der Varianten

In der nachstehenden Grafik (Fig. 15) sind die Gestehungskosten der 3 betrachteten Betriebskonzepte in Abhängigkeit der Anlagengrösse und der Berechnungsvarianten „Low“ (nur organische Substanz der Gülle wird vergoren) und „High“ (Erhöhung der Raumbelastung des Fermenters durch Zugabe von Einstreu) dargestellt.

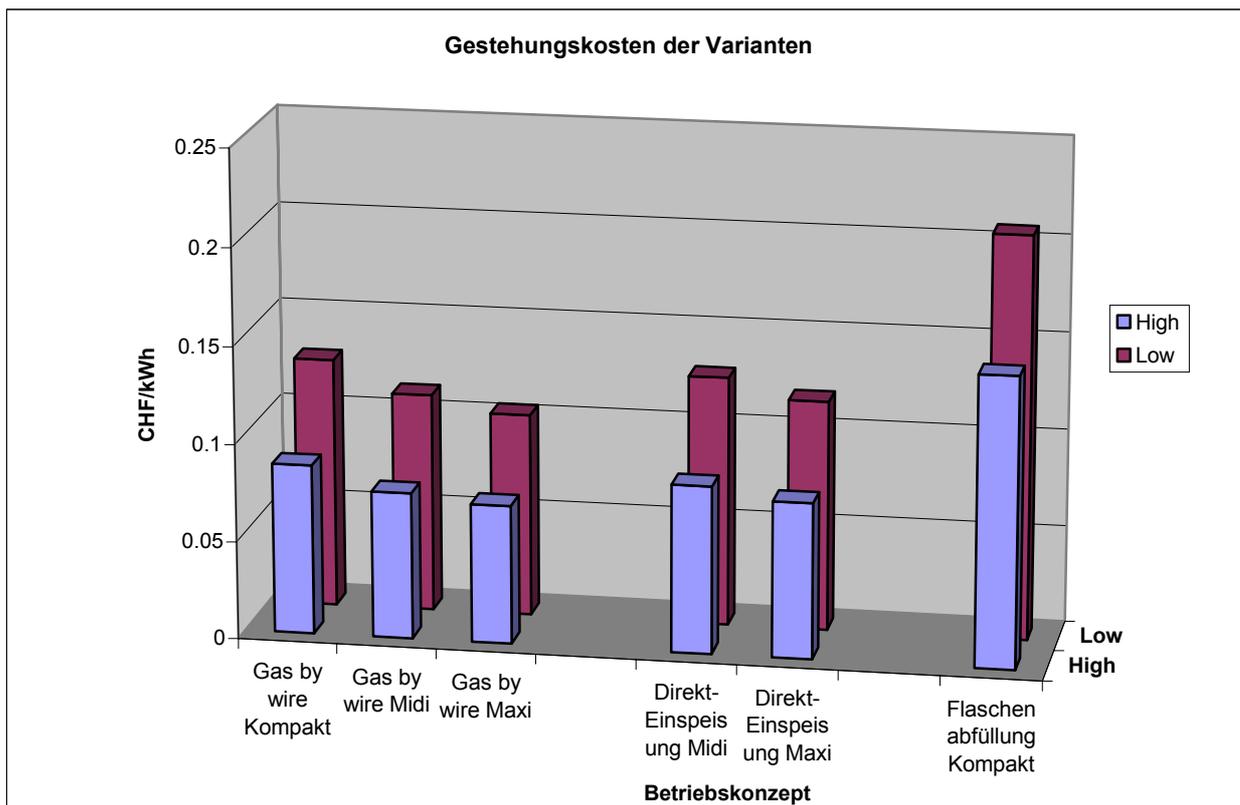


Fig.15 Variantenvergleich in Bezug auf die Gestehungskosten in CHF / kWh.

Bei der Variante „Flaschenabfüllung“ liegen die Gestehungskosten aufgrund der hohen Logistikkosten zwischen 15 und 21 Rp./kWh. Diese Kosten sind für eine breite Anwendung dieses Betriebskonzeptes zu hoch und man kann davon ausgehen, dass auch mit optimierten Bedingungen im Realisierungsfalle kaum ein wirtschaftlicher bzw. rentabler Betrieb erreicht werden kann.

Die Varianten „Gas by wire“ und „Direkteinspeisung“ hingegen liefern ermutigende Ergebnisse. Bei beiden Varianten bewegen sich die Gestehungskosten (unter Berücksichtigung der im Rahmen dieser Vorstudie gemachten Restriktionen) zwischen 8 und 13 Rp./kWh, was einem Dieseläquivalent von 0,8 bis 1,3 CHF/Liter entspricht.

Unter der Annahme, dass Erdgas bzw. Erdgas mit Anteilen an Biogas bei der Treibstoffsteuer bevorzugt behandelt wird, besteht für Biogas, produziert aus Gülle und Mist, eine interessante Ausgangslage um im Treibstoffmarkt einen nennenswerten Marktanteil zu erlangen.

Wie man in der Grafik (Fig. 15) deutlich erkennt, nehmen bei den Varianten „Gas by wire“ und „Direkteinspeisung“ die Gestehungskosten mit zunehmender Anlagengrösse ab. Dies ist vor allem auf die nicht proportional zunehmenden Investitions- und Kapitalkosten zurückzuführen.

Im Weiteren reagieren die Gestehungskosten bei der Biogasproduktion hauptsächlich auf zwei Ausgangsgrössen sensibel. Einerseits spielt die Zusammensetzung des Rohstoffes (also der Gülle) eine zentrale Rolle. Optimal ist eine wasserarme Gülle mit einem hohen Anteil an Einstreu, ohne jedoch den Bereich der Pump- und Rührfähigkeit zu verlassen.

Eine weitere grosse Rolle spielen die Kosten für den Gülletransport. Falls dabei die Gülle nicht wie bei kleineren Anlagen der Betriebsgrösse „Kompakt Anlage“ gepumpt wird, sollen grosse Chargen von ca. 20 m<sup>3</sup> mit einer professionellen Logistik und wegoptimierten Strecken abgewickelt werden. Die ausgewählte Modellregion ist dazu ideal.

In Anbetracht der Tatsache, dass einerseits für die Betriebskonzeption „Gas by wire“ die entsprechenden Handelswege noch nicht etabliert sind (Vergleiche Ausführungen unter Abschnitt 5.4.1) und andererseits Anlagen der Grösse „MAXI“ auf dem Substratinput von ca. 6'500 GVE basieren und damit die Belastung des gewählten Standortes z.B. durch die zahlreichen Transportbewegungen erheblich wird, favorisieren wir für die Realisierung Anlagen der Variante „Direkteinspeisung“ mit der Grösse „MIDI“.

### 5.7.1 Möglichkeiten zur Reduktion der Gestehungskosten

Im konkreten Realisierungsprojekten wären diverse Möglichkeiten zur Reduktion der Gestehungskosten zu berücksichtigen :

- Höhere Gasausbeute durch Co-Vergärung nicht landwirtschaftlicher Reststoffe; Erträge aus Entsorgungsgebühren.
- Effizienzsteigerung durch die Reduktion des Wasseranteils in der Rohgülle mit entsprechender Verringerung der logistischen Aufwendungen.
- In der Modellregion existieren aktuell über 1'200 so genannte „Hofdüngerverträge“. Dabei liefern Betriebe welche zuviel Gülle und Mist produzieren (Nährstoffbilanzen) diese an Betriebe welche zuwenig eigene Nährstoffe „produzieren“. Es handelt sich dabei um Mengen in der Grössenordnung von über 150'000 m<sup>3</sup> Gülle und über 10'000 m<sup>3</sup> Mist pro Jahr, welche teilweise über grössere Distanzen verschoben werden. Durch geeignete Anlagenstandorte kann bezüglich Transportkosten eine win-win Situation für die landwirtschaftlichen Betriebe und die Betreiber der Biogasanlagen entstehen. (Splitting der Transportkosten)

- Durch die, der Biogasproduktion nachgeschalteten Prozesse zur Güllenaufbereitung (Siehe Abschnitt 7) besteht die Möglichkeit, die vergorene Gülle dem Mineraldüngermarkt zuzuführen. Damit könnten Landwirtschaftliche Betriebe Ihre Nährstoffüberschüsse anstatt via „Hofdüngerverträge“ über die Belieferung der Biogasanlage bzw. der Güllenaufbereitungsanlagen entsorgen. Dies hätte eine massive Reduktion der Entsorgungskosten für die Betriebe zur Folge, welche in einem abzustimmenden Verhältnis, auch zu einer Reduktion der Gestehungskosten des Biogases für den Treibstoffmarkt beitragen würde.

## 6 Umweltauswirkungen der Konzeptvarianten in der Modellregion

Die Ammoniakemissionen stellen für den Kanton Luzern und die Modellregion der Ämter Willisau, Sursee und Hochdorf ein grosses Problem dar. Im Gegensatz zu anderen Regionen der Schweiz und dem angrenzenden Ausland wurden in dieser Region die Tierbestände pro Fläche in den letzten Jahren nicht reduziert, ja teilweise sogar noch aufgestockt.

Internationale Abkommen, in welche auch die Schweiz eingebunden ist, verlangen eine Reduktion der  $\text{NH}_3$  – Emissionen in die Luft und des Gesamtstickstoffes in die Gewässer. Als Hauptemittent mit einem Anteil von über 90% ist die Landwirtschaft dabei speziell herausgefordert.

Eine Erste Studie [15], welche verschiedenste Massnahmen zur Stickstoff-Emissionsreduktion in der Landwirtschaft des Kanton Luzern untersuchte, kommt zum Schluss, dass unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit, die technische Aufbereitung der Gülle mit entsprechender Düngergewinnung, die effizienteste Möglichkeit darstellen würde.

In Bezug auf die Biogasgewinnung aus Gülle und Mist in der Modellregion, besteht Einigkeit darüber, dass die Vergärung der Hofgülle allein keine nennenswerten Ammoniakreduktionen bewirken lässt. Jedoch wird allen Betriebskonzepten die Möglichkeit attestiert, durch ein verbessertes ‚Handling‘ (abgedeckte Speichervolumen, Fliessfähigkeit der vergorenen Gülle, Schleppschlauchaustragung, Geruchsemissionen) einige erste und wichtige Verbesserungen zu realisieren.

Aus wirtschaftlichen Überlegungen werden Anlagen zur technischen Güllenaufbereitung eine relativ hohe Beschickungsmenge benötigen und dementsprechend tendenziell als zentrale Gemeinschaftsanlagen konzipiert werden. Dadurch könnten sich interessante Synergien mit den bei den Betriebskonzepten „Direkteinspeisung“ und „Gas by wire“ im Vordergrund stehenden grossen Biogasanlagen ergeben. Zum Beispiel wären einige wichtige infrastrukturelle Massnahmen bzw. ein Teil der „Güllenlogistik“ bereits realisiert. Im Rahmen von folgenden Realisierungskonzepten, müsste die Kombination der Biogasproduktion und der technischen Güllenaufbereitung zwingend geprüft werden.

## 7 Marktdaten und Marktentwicklung

### 7.1 Marktdaten

Der Erdgasverbrauch und der Anteil des Erdgases am Gesamtenergieverbrauch in der Schweiz weist eine überproportionale Steigerung auf und konnte den Marktanteil im 2001 auf 11,5% erhöhen [16]. Im Kanton Luzern wurden im 2000 rund 1'300 Mio. kWh Energie aus Erdgas abgesetzt [9]. Dabei ist der Anteil des Erdgases für den Treibstoffmarkt verschwindend klein. Die Nutzung von Biogas beschränkt sich in der Schweiz auf das von der *Kompogas AG* ins Erdgasnetz eingespiesene Biogas. Dabei wird aktuell in den „Kompogasanlagen“ aus wirtschaftlichen Überlegungen allerdings vornehmlich Strom und nicht Treibstoff erzeugt

In der Schweiz werden auf dem umweltfreundlichen Erdgas im europäischen Vergleich die absolut höchsten Mineralölsteuern erhoben, während in den meisten Ländern keine oder nur die EU-Mindestsätze zur Anwendung kommen. Als Beispiel kann Deutschland angeführt werden, wo seit April 1999 die erste Stufe der ökologischen Steuerreform in Kraft ist und Erdgas als Treibstoff mit einer Reduktion der Mineralölsteuer um 75% gefördert wird. In Italien sind Erdgasfahrzeuge von den Verkehrssteuern befreit.

Aktuell – Stand Ende 2002 - gibt es in der Schweiz 27 Gastankstellen (siehe Fig. 16), was einem Marktanteil von 0,8% am Gesamtmarkt der rund 3'600 Markentankstellen entspricht.

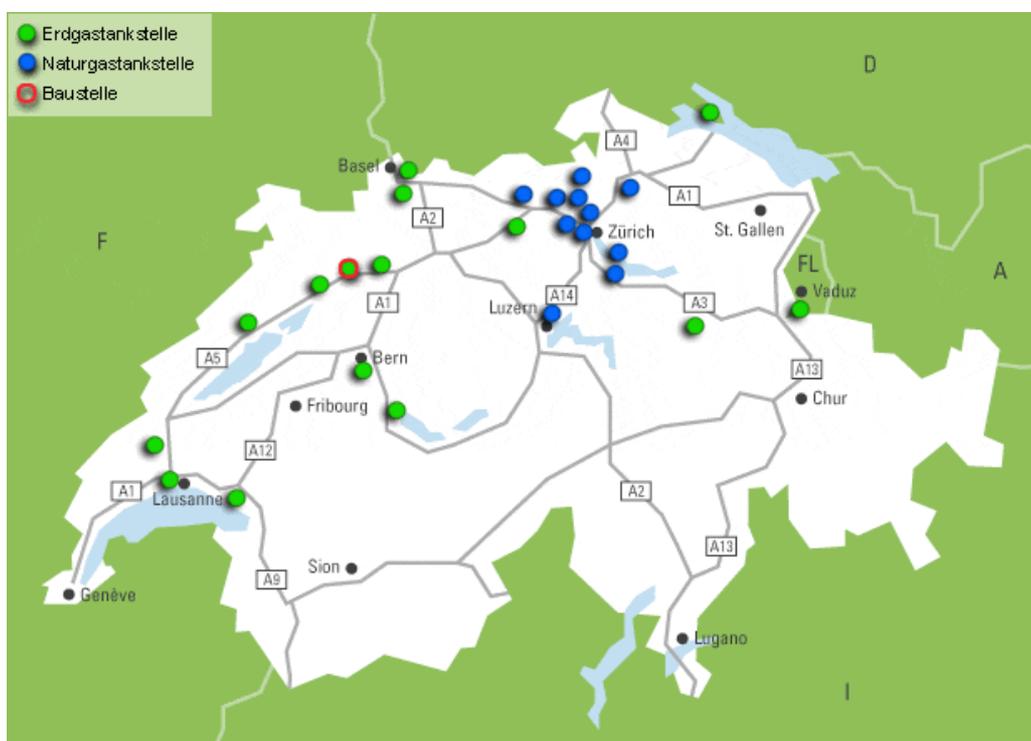


Fig 16 Gastankstellennetz in der Schweiz; Quelle [17]

Das Erdgasverteilnetz in der Schweiz hat mittlerweile eine Länge von über 13'500 km (Siehe Fig. 17).

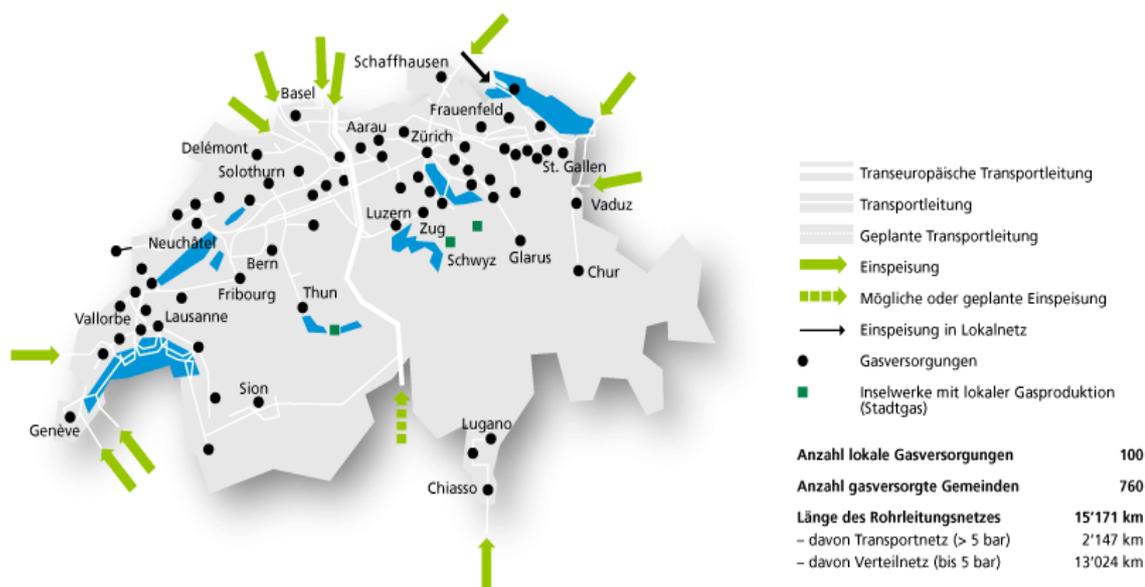


Fig 17 Erdgasversorgungsnetz in der Schweiz

Die Zahl der Gasfahrzeuge in der Schweiz liegt bei rund 500 Stück. Im internationalen Vergleich liegen wir damit auf Rang 30 [18] Spitzenreiter sind weltweit gesehen Argentinien mit rund 740'000, Italien mit 400'000, Brasilien mit 328'000 und Pakistan mit 200'000 Gasfahrzeugen. In Europa liegen hinter Italien mit grossem Abstand Deutschland mit rund 13'000 und Frankreich mit rund 5'000 Gasfahrzeugen.

Die Automobilhersteller bringen laufend neue Bi-Fuel-Modelle heraus. Nach Volvo, Fiat, Renault etc. lanciert z.B. Opel gleich drei neue Modelle mit Erdgasantrieb. Der „Zafira CNG“ (Ausgelegt als „quasimonovalentes“ Modell) ist bereits auf dem Markt, im Frühjahr 2003 wird der „Astra Caravan CNG“ auf den Markt kommen und 2004 soll das Modell „Combo“ lieferbar sein. Ebenfalls seit dem Dezember 2002 ist der Ford „Focus CNG“ auf dem Markt. Ganz neu auf dem Markt (ab April 2003 erhältlich) ist der Ford Transit CNG. Dieser erfüllt als erstes Fahrzeug seiner Klasse die Euro 4-Norm im Gasbetrieb [19].

### Bi-Fuel System (CNG, Biogas)

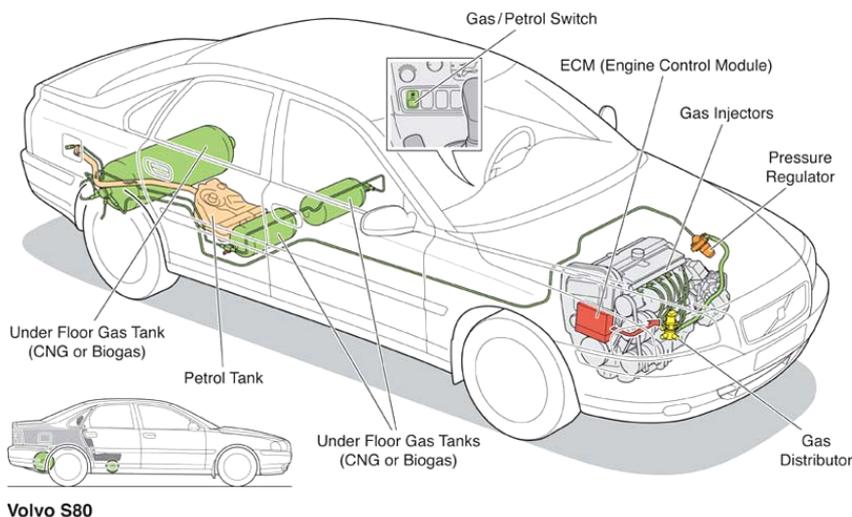


Fig 18 Schematische Darstellung – Volvo S80 CNG

## 7.2 Marktentwicklung

### 7.2.1 Im (umwelt-)politischen Umfeld

Die Förderung von Gastreibstoffen (Erd- Flüssig- und Biogas) ist in Anbetracht der grossen Vorzüge bezüglich Schadstoffemissionen, dem CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential und der damit verbundenen Verbesserung von Luftqualität und Klima seitens der Politik sowohl in der Schweiz wie der EU unbestritten.

Wie in Fig. 19 dargestellt, erweist sich Erdgas (und damit in besonderem Masse Biogas) bei der „Bewertung der Treibstoffe von Personenwagen nach Umweltbelastungspunkten“ sowohl in Bezug auf die Betriebsprozesse wie auch unter Berücksichtigung der vorgelagerten Prozesse (z.B. Treibstoffgewinnung), hinsichtlich der Luftbelastung, als einer der saubersten Treibstoffe.

## Bewertung der Treibstoffe von Personenwagen nach Umweltbelastungspunkten

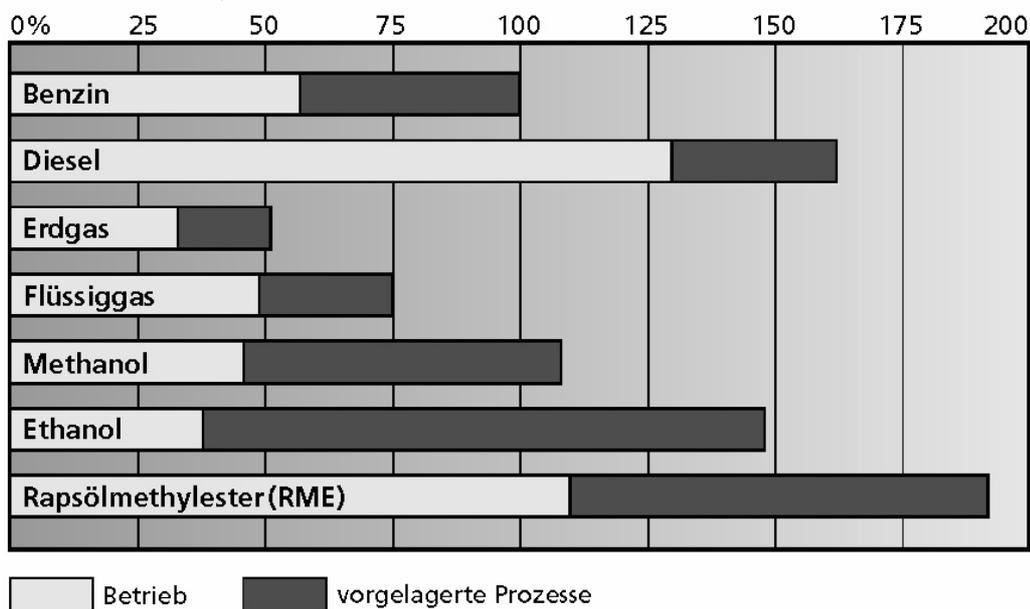


Fig.19 Treibstoffe nach Umweltbelastungspunkten – [20]

Gemäss diversen Studienergebnissen, emittieren Erdgasfahrzeuge 60 bis 95% weniger Schadstoffe als Benzin- oder Dieselmotoren [21]. Das Ozonbildungspotential erreicht nur 2% desjenigen der Benzinfahrzeuge. Kanzerogene Gase, Abgaspartikel und Säurebildung sind bei Erdgasfahrzeugen praktisch zu vernachlässigen. Je nach Optimierung der Motoren beläuft sich das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential auf 20 bis 25%. Der Einsatz von auf Erdgasqualität aufbereitetem Biogas wäre gar CO<sub>2</sub>-Neutral.

Auf politischer Ebene wird aktuell eine intensive Diskussion über Massnahmen geführt, welche die Erreichung der im CO<sub>2</sub>-Gesetz von 1999 festgehaltenen und rechtlich verbindlichen Ziele der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen bis im Jahre 2010 ermöglichen soll. Insbesondere bei den Emissionen aus Treibstoffen zeichnet sich dabei eine grosse Ziellücke ab, welche z.B. mit Massnahmen im Bereich der Treibstoffbesteuerung verkleinert werden könnte. Zumindest im Treibstoffbereich zeichnet sich auch die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe (frühestens ab 2004) ab.

### 7.2.2 *Im wirtschaftlichen Umfeld*

Das wirtschaftliche Umfeld ist für Erdgas und Biogas als Treibstoff sehr dynamisch. Wichtige, richtungsweisende Entscheide stehen in der Schweiz unmittelbar bevor (z.B. in der Frühjahrssession des Nationalrates).

Bis im Jahre 2020 will die EU rund 10% aller etablierten Treibstoffe durch Erdgas ablösen. Gas soll primär aus Gründen der Versorgungssicherheit und der Diversifikation der Energieträger eingesetzt werden. Dies würde einen Anstieg der Gasfahrzeuge in der EU auf etwa 24 Millionen Stück bedeuten. Deutschland will die Zahl der Gasfahrzeuge bis in 10 Jahren auf 500'000 erhöhen und bis zum Jahr 2006 über 1'000 Erdgastankstellen verfügen [22].

In der Schweiz wurde im November 2002 die Gasmobil AG mit dem Ziel gegründet, Erd- und Biogas als Treibstoff im Schweizer Markt einzuführen und einheitlich zu positionieren.

Die Schweizer Gaswirtschaft will (im Gegenzug zu einer international kompatiblen Steuerreduktion für Erdgas als Treibstoff) das Tankstellennetz massiv ausbauen. Ein erstes Zwischenziel ist der Ausbau des Tankstellennetzes von aktuell 27 Tankstellen auf 50 bis im Jahre 2004 bzw. auf 100 im Jahre 2006. Eine erste Zielmarke von 50'000 Gasfahrzeugen bis im Jahr 2010 in der Schweiz ist für den VSG (Verband der Schweizerischen Gasindustrie) realistisch. Mit 50'000 Gasfahrzeugen könnte die Schweiz Ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen jährlich um rund 30'000 Tonnen reduzieren [16].

Die Verhandlungen zwischen den Biogasproduzenten und der Gasindustrie (VSG, Werke) bezüglich der Übernahme von aufbereitetem Biogas zu marktfähigen Preise sind angelaufen.

### **Biogas versus Erdgas ?**

Erdgas welches aus aufbereitetem Biogas hergestellt wird, hat gegenüber „normalem“ Erdgas einen Produktionskosten bedingten Nachteil. Dieser ist auch mit einer differenzierten Treibstoffssteuer nicht zu egalisieren. Das heisst, auch wenn einspeisefähiges Biogas in grösseren Mengen gänzlich von der Mineralölsteuer befreit ist (heute ist Biogas aus Pilotanlagen befreit) ist dies noch nicht hinreichend um Biogas, welches zum Beispiel aus Gülle und Mist im Kanton Luzern hergestellt wird, gegenüber importiertem Erdgas für die Gaswirtschaft attraktiv zu machen.

Eine plausible Möglichkeit die Attraktivität des Biogas für die Gaswirtschaft zu erhöhen wäre dabei eine abgestufte Steuerbefreiung des Erdgas in Abhängigkeit des Anteils regenerativ erzeugten Methans [1].

### 7.2.3 *Gas-Label*

In einer nationalen Arbeitsgruppe werden zur Zeit die Kriterien für den Aufbau eines Schweizerischen Labels für Energiegase (SLEG) eingeleitet. Diese hat sich die Schaffung eines (Bio)Gaslabels – analog dem Strommarkt – zum Ziel gesetzt. Für die zukünftige Vermarktung erachten wir diese klare Deklaration als sehr wichtig. Einerseits für den Konsum-

menten, er erhält dadurch einen klaren Nachweis über die technische und ökologische Zusammensetzung des Treibstoffes. Andererseits sind auch für die Produzenten klare Anforderungen für die Beschaffung und Umsetzung festgelegt.

#### 7.2.4 *Preissensitivität*

Eine wichtige „Anschubhilfe“ für den Konsumenten ist ein klares Signal an der Tankstelle. Die Reduktion der Mineralölsteuer wäre ein solches. Zusammen mit dem unter 7.2.3. erwähnten Label würde die Penetration von Bio- und Erdgas als Treibstoff wesentlich schneller und effektiver erfolgen.

#### 7.2.5 *Marktpotential von Biogas*

Die anvisierte Zahl von 50'000 Erdgasfahrzeugen in der Schweiz bis im Jahr 2010 bedeutete die Immatrikulation von durchschnittlichen ca. 7'000 Fahrzeuge pro Jahr. Damit würden Erdgasfahrzeuge etwa 2% Marktanteil der neu zugelassenen Personenwagen in der Schweiz erreichen.

Unter der Annahme, dass zu Erdgasqualität H aufbereitetes Biogas eine Marktdurchdringung von 10% der Gasfahrzeuge erreichen würde, und von einer durchschnittlichen, jährlichen Fahrleistung von 14'000 km und einem Verbrauch von 10 Liter/100 km ausgehen, entspricht dies einem Potential für Biogas in der Grössenordnung von 7'000'000 Liter.

## 8 Schlussfolgerungen

Aus der Sichtweise der Umwelt ist es sicher die beste Alternative das Auto zu Hause stehen zu lassen. Die immer mehr belastete Verkehrsumgebung zeigt uns, dass wir auf diese Mobilität nicht verzichten möchten. Speziell in Städten und ihren Agglomeration haben wir bereits heute ein Handlungspotential. Das Projekt „Biogas vom Bauer wird zum Treibstoff von morgen“ erkennt einerseits die Entlastung der Umwelt durch den Einsatz von Gasfahrzeugen und die damit verbundene Verbesserung der Lufthygiene. Zusätzlich wird durch die professionelle Logistik des Rohstoffes Gülle ein markantes Potential für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen freigesetzt.

Aus der Sichtweise der Technik sind keine Behinderungen zu erwarten. Die für die Biogasgewinnung erforderliche Anlagentechnologie ist erprobt. Gleiches gilt für die nachgelagerten Prozesse wie zum Beispiel die Gasaufbereitung. Der Konsument kann auf ein funktionierendes Tankstellennetz für Erd- und Biogas sowie eine ausgereifte Technik im Bereich des Automobiles zurückgreifen.

Aus der Sichtweise des zukünftigen Marktes ist der Preis an der Tankstelle ein entscheidender Faktor. Die Förderung von Gastreibstoffen zur Verbesserung von Klima und Luft ist unbestritten. Die Reduktion der Mineralölsteuer für Gastreibstoffe ist ein notwendiger Faktor für das in Zukunft zu erwartende Marktpotential von 50'000 Gasfahrzeugen. Gleichzeitig ist die Landwirtschaft im höchsten Masse daran interessiert innerhalb seiner Betriebe weitere Ertragsquellen zu generieren und gleichzeitig einen aktiven Beitrag an den Klimaschutz zu leisten.

Die Vorstudie zeigt einen klaren Trend hin zur gewerblichen Anlage. Anlagen mit einer Kapazität von 3'000 bis 6'500 Grossvieheinheiten bieten die Grundlage für einen wirtschaftlichen Betrieb. (Economy of Scale). Solche Anlagen können an einem für die Logistik des Rohstoffes (Gülle und Mist) und dem erzeugten Produkt (Produktgas aus Biogas) zentralen Ort gebaut werden. Mögliche Standorte sind in der Modellregion vorhanden. An einem solchen Betriebsstandort werden neue Arbeitsplätze geschaffen. Die Landwirtschaft erhält durch den Bau einer solchen Anlage die Möglichkeit, ein bereits auf dem Hof existierendes Produkt in einen aus seiner Sicht zusätzlichen Wirtschaftskreislauf einzuspeisen.

Gründend in den Erkenntnissen der vorliegenden Vorstudie ist der Bau einer gewerblichen Anlage für die Gewinnung und Erzeugung von Produktgas (Erdgas aus Biogas) ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

Ausgehend davon, dass der Rohstoff Gülle auch mit anderen Emissionen wie zum Beispiel Ammoniak verbunden wird, erscheint es wichtig, speziell in der Modellregion das Synergiepotential einer kombinierten Anlage (Erzeugung Biogas und technische Aufbereitung der Gülle) zu prüfen.

## 9 Glossar

BFE	Bundesamt für Energie
BHKW	Block-Heiz-Kraftwerk
Erdgasqualität „H“	Gasbeschaffenheit entsprechend DVGE-Arbeitsblatt G260/I, Normbrennwert (Ho,n) 10,7 – 13,1 kWh/m <sup>3</sup>
EU	Europäische Union
GVE	Grossvieheinheit
LKW	Lastkraftwagen
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
OS	Organische Substanz
PSA	Pressure Swing Adsorption (Druckwechselverfahren)
RME	Rapsmethylester
RPG	Raumplanungsgesetz
VSG	Verband der Schweizerischen Gasindustrie

## 10 Literatur

- [1] Studie „CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Beeinflussung der Treibstoffpreise“; INFRAS/Grütter Consulting/econcept, Studie erstellt im Auftrag des BFE, November 2002)
- [2] A. Wellinger, U. Baserga, W. Edelmann, K. Egger, B. Seiler : Biogas-Handbuch; Grundlagen-Planung-Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen; 2. stark überarbeitete Auflage 1991.
- [3] Heinz Schulz, Barbara Eder : Biogas Praxis; Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele; 2. überarbeitete Auflage 2001
- [4] Arbeitsgruppe Bioenergie Brandenburgischen Energie Technologie Initiative (ETI) : Biogas in der Landwirtschaft; August 2000
- [5] Diverse Publikationen BFE – T. Böhni, J.-L. Hersener, U. Meier
- [6] Trilk J. et. Al.: Zum Stand der Haltung und Bewirtschaftung von Milchbeständen in Brandenburg; Untersuchungsbericht 1999
- [7] Roffeis M. und Münch K.: Ganzjährige Freilandhaltung von Mutterkühen – Erfahrungen und Probleme; Seite 3-10; 1997
- [8] [www.ines-energy.ch](http://www.ines-energy.ch)
- [9] Statistisches Jahrbuch Kanton Luzern 2002
- [10] [www.ewl-luzern.ch](http://www.ewl-luzern.ch)
- [11] Protokoll Anlagenbesichtigung in Donaueschingen (D) vom 22.01.2003 – internes Dokument, unveröffentlicht
- [12] Protokoll Besuch AGRAMA 02 vom 29.11.2002 - internes Dokument, unveröffentlicht
- [13] Tagungsband Biogas und Energielandwirtschaft – Potential, Nutzung, Grünes Gas, Ökologie und Ökonomie – Tagung vom 18. und 19. November 2002 in Berlin/Potsdam
- [14] Diverse Unternehmerofferten 2002 - interne Dokumente, unveröffentlicht
- [15] Vorstudie Ammoniak-Emissionsreduktion im Kanton Luzern – Amt für Umweltschutz des Kanton Luzern; 2002
- [16] Pressecommuniqués VSG, 11. Juni 2002
- [17] [www.erdgas.ch](http://www.erdgas.ch)
- [18] [www.erdgasfahrzeug.de](http://www.erdgasfahrzeug.de)
- [19] [www.erdgasfahrzeug.de](http://www.erdgasfahrzeug.de) – Rubrik „Fahrzeuge“
- [20] BUWAL-Studie „Ökopprofile von Treibstoffen“
- [21] EMPA Untersuchung – AVES-Bulletin; März 2002
- [22] ENGVA – Press release 12.12.2001

**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · [office@bfe.admin.ch](mailto:office@bfe.admin.ch) · [www.admin.ch/bfe](http://www.admin.ch/bfe)

BBL Bestellnummer 805.xxx d / 00.00 / 0000