

Jahresbericht 2. Dezember 2016

"RAUS – REIN": Feststoffe "RAUS" aus der Gülle und "REIN" in die Vergärung

Neuartiges Konzept zur Verbreitung der Vergärung von Hofdünger in der Schweiz

1. Phase: Machbarkeit

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE Forschungsprogramm Bioenergie CH-3003 Bern www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

MERITEC GmbH Moosstüdlistrasse 12 CH-8357 Guntershausen www.meritec.ch

Autoren:

Urs Meier, MERITEC GmbH, urs.meier@meritec.ch Jean-Louis Hersener, Ingenieurbüro HERSENER, hersener@agrenum.ch Simon Bolli, Genossenschaft Ökostrom Schweiz, simon.bolli@oekostromschweiz.ch Victor Anspach, Genossenschaft Ökostrom Schweiz, victor.anspach@oekostromschweiz.ch

BFE-Bereichsleiter: Sandra Hermle **BFE-Programmleiter:** Sandra Hermle **BFE-Vertragsnummer:** SI/501442-01

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

Inhaltsverzeichnis

Abkürzu	ngen und Begriffe	4
Zusamm	nenfassung	5
Abstract		5
1.	Problemstellung und Lösungsansatz	6
2.	Zielsetzung	6
3.	Grundlagen	
3.1.	Feststoffcharakterisierung	
3.2.	Landwirtschaftliche Biogasanlagen	
3.2.1.	Prozesstechnische Charakterisierung	
3.2.2.	Eingesetzte Substrate	
3.2.3.	Theoretisches Potential im Raum Nord-Ostschweiz	
3.2.4.	Raumplanerische Rahmenbedingungen	
3.3.	Gewerbliche Biogasanlagen	
3.4.	Implementierungsebenen	
3.5.	Logistik	
3.5.1.	Allgemeines	
3.5.2.	Separierung	
3.5.3.	Transporte	
4.	Wirtschaftlichkeit	
4.1.	Logistikkosten	
4.1.1.	Separierung	
4.1.2.	Landwirtschaftliche Transporte	
4.1.3.	Gewerbliche Transporte	
4.1.4.	Ausbringung	
4.2.	Kosten der Vergärung	
4.2.1.	Landwirtschaftliche Biogasanlagen	
4.2.1.1.		
4.2.1.2.	Einsatz von Feststoff zur Substitution von bestehenden Substraten	
4.2.2.	Gewerblich-industrielle Biogasanlagen	
4.3.	Ertrag aus Strom- und Wärme	
4.4.	Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit	
5.	Energiebilanz	
5.1.	Separierung	
5.2.	Transporte	
5.2. 5.2.1.	Landwirtschaftliche Transporte	
5.2.1.	Gewerbliche Transporte	
5.2.2.	Vergärung	
5.3. 5.4.	Ausbringung	
5.4. 5.5.	Zusammenfassung der Energiebilanz	
6.	Akzeptanz	
6.1.	Lieferbetriebe	
6.2.	Logistikunternehmen	
6.3.	Landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber	
6.4.	<u> </u>	
6.5.	Gewerblich-industrielle Biogasanlagenbetreiber	
6.6.	Behörden	
7. 7.1.	Gesamtbeurteilung	
7.1. 7.2.	Beurteilung der Wirtschaftlichkeit	
	Beurteilung der Energiebilanz	
7.3.	Entscheidungsmatrix	
8. 0	Folgerungen und Ausblick	
9. 10.	LiteraturAnhang	
IU.	DUIGUU	41

Abkürzungen und Begriffe

a Jahr

AKh Arbeitskraftstunde, auch Arbeitszeitbedarf je Stunde

BfE Bundesamt für Energie

BGA Biogasanlage
BHKW Blockheizkraftwerk

Co-Substrat Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten, die nicht Hofdünger sind Co-Vergärungsanlage Landwirtschaftliche Biogasanlage, die neben Hofdünger Abfälle mitvergärt

Fahrdistanz Hin- und Rückfahrt

Endlager Zwischenlager nach der Vergärung

Fahrzeit FZ

Fermenter Gasdichter Behälter zur Vergärung

Feststoff fester Anteil nach der Separierung von Rinderrohgülle

Fr. Franken
FS Frischsubstanz
GWh Gigawattstunde

h Stunde

Ho oberer Heizwert oder Brennwert in % d. TS in Prozent der Trockensubstanz

I Lite

LSVA Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe

LW Lastwagen

KEV Kostendeckende Einspeisevergütung

kW Kilowatt Leistung

kWh_{el.} Kilowattstunde elektrisch kWh_{th.} Kilowattstunde thermisch

MwSt Mehrwertsteuer

NZ Nutzlast

PS Pferdestärke (veraltet, heute kW; 1 PS = 0.735 kW)

RB Raumbelastung, Angabe in kg OTS/m³ · d

Rohqülle Gülle, wie sie in der Güllegrube in der Praxis anfällt. Gemisch aus Kot, Harn

und Wasser

RPG Raumplanungsgesetz

t Tonne

Transportdistanz einfache Distanz
TS Trockensubstanz
oTS Organische Substanz
v Geschwindigkeit

VLP-ASPAN Schweizerische Vereinigung für Landesplanung, Sulgenrain 20,

CH-3007 Bern

WZ Wartezeit

Zusammenfassung

Separierte Feststoffe aus Rindergülle weisen über die Vergärung rund viermal mehr nutzbare Energie pro Tonne auf als Rohgülle. Aus diesem Grund könnten separierte Feststoffe dazu beitragen, den Anteil der Hofdünger an erneuerbarer Energie zu erhöhen.

In der vorliegenden Studie wurde die Machbarkeit der Feststoffvergärung in der Nordostschweiz bezüglich Wirtschaftlichkeit, Energiebilanz und Akzeptanz, untersucht. Die Idee besteht darin, den Aufwand zur Bereitstellung der Feststoffe über den Ertrag aus der Vergärung decken zu können. Die Akzeptanz der meisten Akteure ist vorhanden. Gewerblich-industrielle Anlagenbetreiber sind unter den aktuellen Rahmenbedingungen auf Annahmegebühren angewiesen und daher kaum interessiert. Landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber sind aufgrund der höheren Einspeisetarife eher bereit an einer Umsetzung mitzuwirken. Konkrete Interessenten sind vorhanden. Auf bestehenden Anlagen kann die Mitvergärung von Feststoffen kostendeckend durchgeführt werden. Bei Neuanlagen sind Massnahmen zur Leistungssteigerung notwendig. Aus technischer und organisatorischer Sicht ist die Umsetzung problemlos. Der Energieaufwand beträgt rund ein Drittel der Nutzenergie der Feststoffe. Die Machbarkeit ist auf lokaler (bis 6 km), regionaler (bis 15 km) sowie überregionaler (über 15 km Transportdistanz) Ebene gegeben.

Abstract

Compared with untreated cattle slurry the separated solid fraction of slurry contains 4 times more usable energy per metric ton. Therefore, separated solids could help to increase the amount of renewable energy gained of farmyard manure. By means of the feasibility study economic and energetic aspects as well as the acceptance of involved players were evaluated. The intention is to cover costs and energy required by the yield of the digestion. Most of the players accept the idea. Industrial biogas plant operators are less interested because they need to charge fees for the acceptance of raw materials. Agricultural plant operators are more interested in separated solids because they get a higher feed-intariff. Some farmers are willing to take part. The co-digestion of solids is feasible on already running plants and brings in a return. New plants require additional improvements for the increase in efficiency. Technically as well as organizationally it is possible to implement the concept. Only about one third of the gained energy is required to provide solids for the digestion. The study concludes that the feasibility is given on all levels of implementation such as locally up to 6 km, regionally up to 15 km and transregionally exceeding 15 km.

1. Problemstellung und Lösungsansatz

Hofdünger stellt neben Holz das zweitgrösste Biomassepotential in der Schweiz dar. Doch bisweilen werden lediglich ca. 3 % der gesamthaft anfallenden Menge energetisch genutzt [1]. Bisherige Bestrebungen zur vermehrten Anwendung reiner Hofdünger-Biogasanlagen scheiterten in der Praxis bislang u.a. an deren Wirtschaftlichkeit. Die Gründe dafür sind vielseitig. Ein wesentlicher Grund ist die geringe Energiedichte des Hofdüngers – insbesondere der verdünnten Gülle – welche zu einem beschränkten Kosten-Nutzen-Verhältnis führt. Zum einen verschlechtert sich aufgrund des hohen Wasseranteils in der Gülle das Verhältnis vom mengenmässigen Input zum energetischen Output gegenüber energetisch hochkonzentrierten organischen Co-Substraten. Zum anderen benötigen die anfallenden Materialmengen deutlich mehr Bauvolumen, was wiederum die Investitionskosten pro gewonnene Energieeinheit deutlich erhöht. Des Weiteren führen das grosse Volumen und die geringe Energiedichte zu hohen Transportaufwendungen, weshalb sich die reine Güllevergärung in der Praxis eher auf eine lokale Ebene beschränkt.

Bisherige konventionelle Lösungsansätze basieren in der Praxis meist auf der Vergärung unbehandelter Hofdünger, mit den entsprechenden oben genannten Nachteilen. Einen neuen konzeptionellen Ansatz bietet hierbei die Idee, separierte Feststoffe aus unvergorener Rindergülle in bestehenden Biogasanlagen mit zu vergären. Die Ergebnisse der vorangegangenen Studie [2] zeigen auf, dass eine Tonne Feststoffe rund viermal mehr Energie gegenüber einer Tonne Rohgülle aufweist. Der Massenanteil der Feststoffe nach der Separierung beläuft sich hingegen auf weniger als 14 %. Durch eine vorgängige Separierung kann demnach sowohl das Transportvolumen massgeblich reduziert, als auch die Energiedichte wesentlich erhöht werden. Aufgrund dieser entscheidenden Vorteile gegenüber herkömmlichen Konzepten, kann das Hofdünger-Einzugsgebiet einer bestehenden Biogasanlage wesentlich erweitert und so neue Potentiale in der Landwirtschaft erschlossen werden. Zudem können Substratengpässe leichter nivelliert werden. Es entsteht eine Win-win-Situation für Anlagenbetreiber und Landwirte.

2. Zielsetzung

Das Projekt umfasst zwei Phasen: Die Machbarkeit sowie die Planung und erste Realisierung.

Die Zielsetzungen der ersten Projektphase sind:

- Machbarkeit (technisch, organisatorisch, wirtschaftlich sowie energetisch) der Feststoff-Vergärung im Raum Nord-Ostschweiz (Kantone SG, TG, SH, AI, AR und ZH) für landwirtschaftliche und gewerblich-industrielle Biogasanlagen abklären
- Erarbeiten eines Beurteilungsrasters auf Basis der Implementierungsebenen (lokal, regional, überregional) zur Ermittlung der Schwankungsbreite der kritischen Variablen (Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz, Zusatznutzen und Energie) für die Machbarkeit

3. Grundlagen

3.1. Feststoffcharakterisierung

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Nährstoffgehalte sowie der Brennwert (H₀) bezogen auf eine Tonne FS aufgezeigt. Im Vergleich zu Rohgülle liegen der N-Gehalt im Feststoff um rund 25 % und der P-Gehalt etwa um 40 % höher. Der K-Gehalt ist um 10 % tiefer. Der Energieinhalt im Feststoff beträgt das Vierfache gegenüber Rohgülle.

Tabelle 1: Charakterisierung der Feststoffe (Mittelwerte; Rohgülle = Rinderrohgülle; [2])

Produkt	TS OTS		N _{tot}	P ₂ O ₅ K ₂ O		Brennwert (H _o)	
	%	in % d. TS	kg/t	kg/t	kg/t	kWh/t	
Mittelwerte							
Rohgülle	5.9	75.2	2.8	1.0	3.2	268	
Dünngülle	4.0	66.9	2.7	1.0	3.2	175	
Feststoff	22.0	89.5	3.5	1.4	2.9	1102	

Tabelle 2 verweist auf den Energieinhalt (Brennwert H₀), den nutzbaren Energieinhalt (Brennwert abzüglich 12.5 % für Zellsynthese) sowie die Methan- und Energieerträge aus Rohgülle und Feststoff. Diese Daten dienen für die Berechnung der Erträge bei der Vergärung bzw. zum Vergleich der Vergärung von Feststoff mit der Vergärung von Rohgülle.

Tabelle 2: Methan- und Energieertrag von Rohgülle und Feststoff [2]

	Energieinhalt gesamt									
kWh/t	Minimum	Mittelwerte	Maximum							
Rohgülle	230.5	269.1	360.0							
Feststoffe	949.8	1101.5	1262.5							
	Energieinh	alt nutzbar								
kWh/t	Minimum	Mittelwerte	Maximum							
Rohgülle	201.7	235.5	315.0							
Feststoffe	831.1	963.8	1104.7							
	Metha	nertrag								
m ³ /t	Minimum	Mittelwerte	Maximum							
Rohgülle	8.2	10.4	13.2							
Feststoffe	30.7	39.0	43.0							
	Energi	eertrag								
kWh/t	Minimum	Mittelwerte	Maximum							
Rohgülle	81.6	103.4	132.1							
Feststoffe	306.5	389.3	429.2							

3.2. Landwirtschaftliche Biogasanlagen

3.2.1. Prozesstechnische Charakterisierung

Im Projektgebiet (Kantone SG, TG, SH, AI, AR und östlicher Teil ZH) stehen aktuell 16 kleine bis mittlere landwirtschaftliche Biogasanlagen in Betrieb. Die installierte elektrische Leistung reicht von der reinen Hofdünger-Kleinanlage mit rund 25 kW bis zur mittleren Biogasanlage mit rund 350 kW. Im Durchschnitt liegt die installierte elektrische Leistung bei rund 150 kW. Alle Biogasanlagen werden entweder von einzelnen Landwirten oder Zusammenschlüssen von mehreren Landwirten betrieben.

In den letzten vier Jahren hat sich der Anlagenbestand in der Nord-Ostschweiz kaum verändert (Abb. 1). Die Steigerung der Elektrizitätsproduktion ist vor allem auf vermehrten Substrateinsatz und Effizienzgewinne der bestehenden Biogasanlagen zurückzuführen. Aktuell befinden sich jedoch einige Biogasprojekte entweder im Baubewilligungsverfahren oder bereits auf der Springerliste der KEV. Sollten in den kommenden Jahren alle geplanten Biogasanlagen gebaut werden, könnte sich die Anzahl auf 27 erhöhen. Die Energieproduktion könnte damit um über 60 % gegenüber 2015 auf rund 16 GWh steigen.

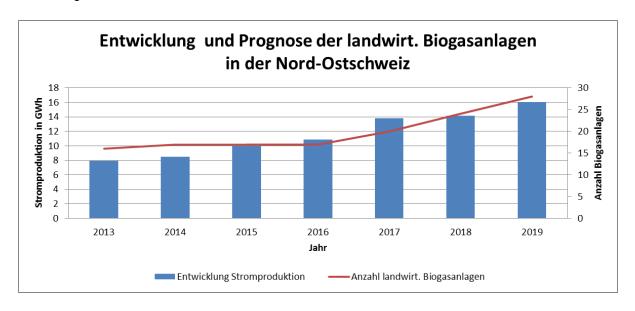


Abbildung 1: Entwicklung und Prognose der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Nord-Ostschweiz

3.2.2. Eingesetzte Substrate

Jeweils die Hälfte der Biogasanlagen wird einstufig (Fermenter und Endlager) oder zweistufig (Fermenter, Nachgärlager und Endlager) betrieben. Kleine Biogasanlagen, mit sehr hohem Hofdüngeranteil im Substratmix werden überwiegend einstufig, grössere Anlagen mit höherem Anteil an Co-Substraten in der Regel zweistufig betrieben.

Alle bestehenden landwirtschaftlichen Biogasanlagen sind Flüssigvergärungsanlagen und setzen mindestens 80 % Hofdünger und landwirtschaftliche Substrate ein. Gesamthaft wurden 2015 rund 78'000 Tonnen Hofdünger in den 16 Biogasanlagen eingesetzt. Im Mittel entspricht dies über 5'000 Tonnen Hofdünger je Anlage, wobei die Spanne von rund 1'000 bis zu über 13'000 Jahrestonnen sehr gross ist. Die Co-Substratmenge landwirtschaftlicher und nicht-landwirtschaftlicher Herkunft lag 2015 bei rund 19'000 Tonnen. Auch hier ist die Spanne sehr gross und reicht von der reinen Hofdüngeranlage ohne Co-Substrateinsatz bis zur Co-Vergärungsanlage mit über 4'000 Tonnen Co-Substraten.

Die Entwicklung des Substrateinsatzes zeigt, dass in den letzten Jahren die Bedeutung der Hofdünger kontinuierlich zugenommen hat (siehe Abb. 2). Für 2016 kann die Hofdüngermenge auf rund 86'000 Tonnen hochgerechnet werden. Der Einsatz von Co-Substraten stieg demgegenüber weniger stark. Dies lässt den Schluss zu, dass die Biogasanlagen kontinuierlich besser ausgelastet werden. Bis 2019 könnte mit dem geplanten Anlagenausbau die Hofdüngermenge nahezu verdoppelt werden. Der Einsatz von Feststoffen kann für einige landwirtschaftliche Biogasanlagen eine zusätzliche, interessante Option darstellen.

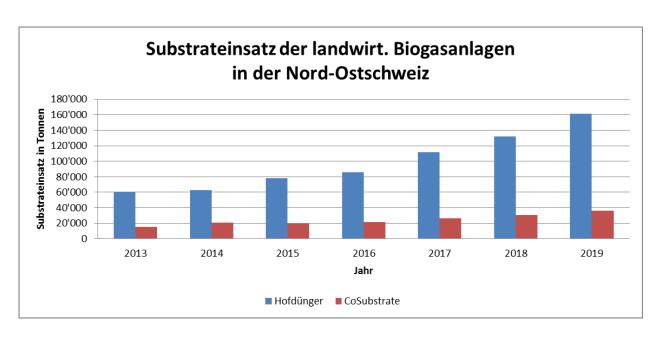


Abbildung 2: Substrateinsatz der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Nord-Ostschweiz

3.2.3. Theoretisches Potential im Raum Nord-Ostschweiz

In Bezug auf den Einsatz separierter Feststoffe aus Rindergülle kristallisieren sich auf den bestehenden Anlagen zwei grundsätzliche Möglichkeiten heraus. Entweder können Feststoffe eingesetzt werden, wenn die Kapazität der Anlage nicht ausgelastet ist, oder es werden Änderungen am bestehenden Substratmix vorgenommen und bisher verarbeitete Substrate durch Feststoffe ersetzt. Ob in Biogasanlagen zusätzliche Substrate eingesetzt werden können, lässt sich näherungsweise an Hand der durchschnittlichen Verweilzeit und der BHKW-Auslastung ableiten.

2015 betrug die durchschnittliche Verweilzeit im Fermenter und Nachgärlager rund 96 Tage. Die Verweilzeit im gasdichten System (inkl. Gärrestlager) betrug rund 121 Tage. Etwa die Hälfte aller Biogasanlagen haben die Möglichkeit zusätzliche Substrate zu verarbeiten. In dieser Arbeit wurden alle Anlagen ab einer Verweilzeit von rund 80 Tagen berücksichtigt. Die andere Hälfte der Biogasanlagen müsste für den Einsatz von Feststoffen auf bestehende Substrate verzichten, um eine ausreichend lange Verweildauer gewährleisten zu können.

Ein weiteres Kriterium stellt die Leistung des installierten BHKW dar. Zusätzliche Feststoffe können nur verarbeitet werden, wenn das daraus produzierte Biogas auch energetisch verwertet werden kann. Von den acht in Frage kommenden Biogasanlagen sind lediglich fünf in der Lage zusätzliche Biogasmengen über das BHKW zu verwerten. Die BHKW der anderen Biogasanlagen sind bereits vollständig ausgelastet.

Weitere Randbedingungen stellt der Trockensubstanzgehalt des gesamten Substratmixes dar, um die Rühr- und Pumpfähigkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus hat für die Anlagenbetreiber Nährstofffrachten, Nährstoffnutzung, finanzielle Aspekte, Gaserträge sowie Entsorgungserlöse für Co-Substrate eine grosse Bedeutung. Diese Aspekte können jedoch nicht für alle Nord-Ostschweizer Biogasanlagen analysiert werden, sondern werden im weiteren Projektverlauf spezifisch für die teilnehmenden Anlagen untersucht.

3.2.4. Raumplanerische Rahmenbedingungen

Nach den gesetzlichen raumplanerischen Grundlagen müssen landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Schweiz einen engen Bezug zur Landwirtschaft haben, um in der Landwirtschaftszone bewilligungsfähig zu sein. Diese Beziehungsabhängigkeit gilt – nebst anderen wichtigen Kriterien auf die hier nicht näher eingegangen wird – insbesondere auch für die auf den Anlagen eingesetzte Biomasse. Hierzu äussert sich die Schweizerische Vereinigung für Landesplanung (VLP-ASPAN) in ihrem Bericht "Energiegewinnung aus Biomasse" vom Juli 2010 folgendermassen:

"Damit Biogasanlagen in der Landwirtschaftszone zonenkonform sind, verlangt Artikel 16a Absatz 1bis RPG, dass die verarbeitete Biomasse einen engen Bezug zur Landwirtschaft sowie zum Standortbetrieb hat. Entsprechend wird vorgeschrieben, dass ein gewisser Anteil der Biomasse aus der Landwirtschaft vor Ort stammt und dass das restliche zu verarbeitende Substrat nicht über weite Distanzen transportiert wird. [...] Die verwendete Biomasse muss einen engen Bezug sowohl zur Landwirtschaft als solcher als auch zum Standortbetrieb haben. Ein gewisser Anteil der Biomasse muss somit aus der Landwirtschaft stammen. Biomasse, die verarbeitet wird, soll nicht über unvernünftig weite Distanzen herangeführt werden. Die Raumplanungsverordnung schreibt eine maximale Fahrdistanz von 15 km für mindestens die Hälfte der Masse der verarbeiteten Substrate vor. Dieser Teil muss mindestens 10 Prozent des Energieinhalts der gesamten verarbeiteten Substrate ausmachen. Die Quellen der restlichen Substrate müssen in der Regel innerhalb einer Fahrdistanz von 50 km liegen. Ausnahmsweise können längere Fahrdistanzen bewilligt werden (Artikel 34a Absatz 2 RPV)."

Die gesetzlichen Grundlagen gewähren offensichtlich einen gewissen Handlungsspielraum der Kantone bei der Planung und Bewilligung von Biogasanlagen. Hierzu äussert sich der VLP-Bericht wie folgt:

"Mit dem unbestimmten Rechtsbegriff «in der Regel» und mit der Gewährung von Ausnahmen von den maximalen Fahrdistanzen wird den Vollzugsbehörden bei der Anwendung der rechtlichen Bestimmungen ein gewisses Ermessen eingeräumt. Es stellt sich die Frage, wie dieses Ermessen auszuüben ist und unter welchen Voraussetzungen Ausnahmen gewährt werden können, beziehungsweise in welchem Rahmen die Kantone die Voraussetzungen für die Gewährung von Ausnahmen umschreiben können."

Gemäss Einschätzung des VLP können beispielsweise gerade für den Transport von Biomasse gewisse Ausnahmen gemacht werden. Hierzu äussert sich der Bericht:

"Sollen Ausnahmen bezüglich der maximalen Fahrdistanzen gewährt werden, so ist im Sinne der obigen Ausführungen und mit Blick auf den Grundsatz der Trennung von Baugebiet und Nichtbaugebiet eine restriktive Praxis zu entwickeln. Die Bewilligungsbehörden haben darauf zu achten, dass der durch die Transporte verursachte Verkehr in einem vernünftigen Verhältnis zu den mit der Energiegewinnung verfolgten energie-, umwelt- und landwirtschaftspolitischen Zielen steht und mit den Anliegen der Raumplanung vereinbar ist. Das setzt eine Gesamtbetrachtung und umfassende Interessenabwägung voraus. Je geringer der Nutzen für die Energiegewinnung und die Sicherung des Landwirtschaftsbetriebs ist und je grösser die Auswirkungen auf Raum, Erschliessung und Verkehr sind, umso weniger rechtfertigt sich eine Ausnahme. Energie- und umweltpolitische Vorteile liegen vor allem in der Nutzung energiereicher Substrate und der Schliessung von Stoffkreisläufen. Für die Beschaffung solcher Substrate können sich längere Wege rechtfertigen. Es soll jedoch so wenig Verkehr wie möglich generiert werden. [...]"²

Die vorliegende Projektidee verspricht sowohl energetische (viermal höhere Nutzenergie gegenüber Rohgülle) als auch ökologische Vorteile (effizienterer Nährstoffeinsatz). Damit liessen sich Ausnahmebewilligungen für die maximale Transportdistanz für 50 % der eingesetzten Biomasse begründen. Entsprechend den obigen Ausführungen sind die raumplanerischen Rahmenbedingungen für den Biomasse-Transport auf landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Tabelle 3 zusammengefasst.

-

¹ Botschaft 2005, BBI 2005 I 7111.

² ARE, Erläuterungen 2007 S. 3; Ruch, Kommentar RPG, Art.16a, Rz. 38.

Tabelle 3: Raumplanerische Rahmenbedingungen für den Biomasse-Transport

Biomasse-Anteil (bezogen auf FS)	Max. Fahrdistanz	Bedingungen und Restriktionen
erste 50 % Biomasseanteil	< 15km	 Mind. 10 % des Energieinhalts der gesamthaft verarbeiteten Substrate keine Ausnahmen in Bezug auf län- gere Transportdistanzen möglich
zweite 50 % Biomasseanteil	< 50km	 "In der Regel" sollten die max. 50 km Radius nicht überschritten werden Ausnahmebewilligungen in Bezug auf längere Transportdistanzen möglich
	> 50km	 Ausnahmebewilligung für längere Transportdistanzen notwendig Vorliegen energie- und umweltpolitischer Vorteile

3.3. Gewerbliche Biogasanlagen

Gewerblich-industrielle Biogasanlagen vergären in der Regel wenig oder keine Hofdünger. Substrate sind Gartenabfälle sowie Abfälle aus der Industrie und dem Gewerbe. Weit verbreitet sind liegende Reaktoren (KOMPOGAS-Verfahren), Flüssigvergärungsanlagen sind seltener. Gewerblich-industrielle Biogasanlagen stehen in der Gewerbe- bzw. Industriezone.

In der Region Nord-Ost-Schweiz sind 9 KOMPOGAS-Anlagen und 3 Flüssigvergärungsanlagen in Betrieb.

In den KOMPOGAS-Anlagen werden etwa 135'000 t und in den Flüssigvergärungsanlagen ca. 65'000 t Substrat im Jahr vergoren. Vier Anlagen speisen das Gas in das Erdgasnetz ein.

KOMPOGAS-Anlagen sind verfahrenstechnisch für eine Mitvergärung von separierten Feststoffen geeignet. Flüssigvergärungsanlagen können Feststoffe nur in Mischung mit Flüssigsubstrat behandeln, da ein pump- bzw. förderbares Gemisch erforderlich ist.

Alle gewerblich-industriellen Biogasanlagen verwerten das Gärgut als Dünger in der Landwirtschaft und müssen daher entsprechende Dienstleistungen durch Lohnunternehmer in Anspruch nehmen, da sie über keine entsprechenden Düngeflächen verfügen.

3.4. Implementierungsebenen

Für eine Umsetzung des Konzepts "RAUS – REIN" sind 3 Ebenen definiert (vgl. Abb. 3). Die 3 Ebenen gelten sowohl für landwirtschaftliche als auch gewerblich-industrielle Biogasanlagen. Für die Transportdistanzen wurde auf lokaler Ebene mit bis zu 6 km auf Basis der Gewässerschutzverordnung (Art. 24, GSchV, SR 814.201) gerechnet. Im regionalen Bereich mit max. 15 km bildet das RPG (vgl. Kapitel 3.2.4.) die Grundlage. Die überregionale Ebene wurde mit über 15 km Transportdistanz berechnet. In den entsprechenden Kalkulationen zu den Transporten wird mit der Fahrdistanz gerechnet, die dem Doppelten der Transportdistanz entspricht (Hin- und Rückfahrt).

Bei den Implementierungsebenen wird unterschieden zwischen Lieferbetrieben, die Feststoffe separieren, Vergärungsanlagenbetreibern, die Feststoffe mitvergären und Abnehmerbetriebe, die das Gärsubstrat als Dünger einsetzen.

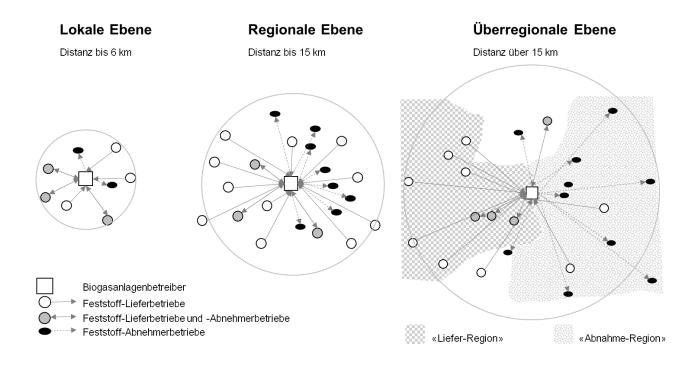


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der 3 Implementierungsebenen mit den entsprechenden Transportdistanzen.

3.5. Logistik

3.5.1. Allgemeines

Zur Bereitstellung von Feststoff für die Vergärung ist ein entsprechendes Logistikkonzept erforderlich (Abb. 4). Darin enthalten sind die Separierung, die Transporte zur Biogasanlage, die Vergärung sowie die Ausbringung mit den jeweiligen Akteuren Lieferbetrieb, Biogasanlagenbetreiber und Abnehmerbetrieb. Auf der gesamten Logistikkette sind zudem verschiedene Dienstleister bei der Separierung und den Transporten notwendig.

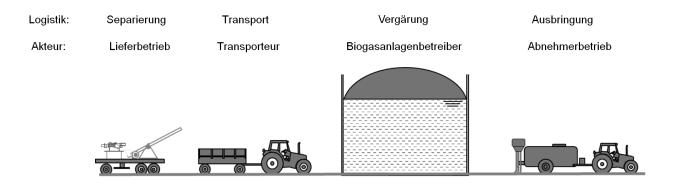


Abbildung 4: Vereinfachtes Schema des Logistikkonzepts von der Bereitstellung von Feststoffen über die Vergärung bis zur Ausbringung.

Bei genauerer Betrachtung sind weitere Unterschiede betreffend der Akteure zu vermerken. Beispielsweise kann die Separierung auch einzelbetrieblich erfolgen oder bei der Ausbringung kann dies der Biogasanlagenbetreiber auf eigenen Flächen bewerkstelligen.

3.5.2. Separierung

Die Separierung oder auch Fest-Flüssig-Trennung der Rohgülle dient der Bereitstellung von Feststoffen (vgl. Abb. A1 und A2 im Anhang, S. 41). Zur Separierung von Rinderrohgülle sind in der Praxis Siebpressschnecken verbreitet (vgl. Abb. A3 im Anhang, S.42). Diese Geräte zeichnen sich durch Robustheit, einfachen Betrieb und einer Nachentwässerung zur Erzielung eines hohen TS-Gehalts in den Feststoffen aus. Andere Geräte, wie beispielsweise Dekantierzentrifugen, werden in der Landwirtschaft selten eingesetzt. Separiergeräte können einzelbetrieblich oder als fahrbare Anlage überbetrieblich eingesetzt werden. Einzelbetriebliche Geräte verfügen in der Regel über eine Durchsatzleistung bis 20 m³/h, überbetriebliche Anlagen meist über 20 m³/h. In den folgenden Kalkulationen wurde ein spezifisches Gewicht der Feststoffe von 650 kg/m³ angenommen [3].

Bei Siebpressschnecken besteht ein Zusammenhang zwischen dem spezifischen Gewicht der Feststoffe, dem TS-Gehalt im Feststoff und der Durchsatzleistung des Geräts (Abb. 5).

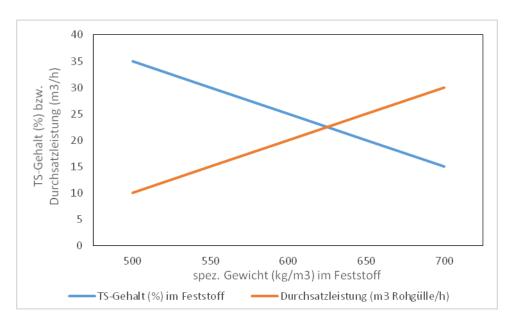


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen spezifischem Gewicht im Feststoff, dem TS-Gehalt im Feststoff und der Durchsatzleistung bei der Separierung von Rindergülle mit einer Siebpressschnecke. Die Abbildung basiert auf Erfahrungswerten verschiedener Praxisversuchen (eigene Erfahrungswerte).

Tabelle 4 verdeutlicht die Massen- und Stoffbilanz bei der Separierung von Rindergülle. Aus 1 t Rohgülle fallen etwa 110 kg Feststoffe an, die knapp die Hälfte der oTS aufweisen. Die Nährstoffe verbleiben überwiegend in der Dünngülle. In den Feststoffen werden somit vor allem TS und oTS angereichert.

Tabelle 4: Massen- und Stoffbilanz bezogen auf 1000 kg Rohgülle bei der Separierung (Mittelwerte) [2]

Produkt	Masse	TS	oTS	N	Р	K
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Rohgülle	1000	58.6	44.3	2.8	0.4	2.6
Dünngülle	892	35.2	23.6	2.4	0.4	2.4
Feststoff	108	23.3	20.9	0.4	0.06	0.2

3.5.3. Transporte

Transporte sind erforderlich um die separierten Feststoffe vom Lieferbetrieb zum Biogasanlagenbetreiber zu transportieren. Zusätzlich sind Transporte zur Ausbringung von Gärsubstrat notwendig. Für die Berechnungen sind zwei Traktortypen mit verschiedenen Transportgeräten, wie Hakengeräte und Anhänger angenommen worden.

Der Einsatz von Lastwagen ist dann sinnvoll, wenn in kurzer Zeit grosse Mengen Transportgüter über weitere Distanzen transportiert werden sollen.

Je besser die Fahrzeuge auf die Ladung angepasst sind, umso effizienter können die Transporte erledigt werden. Für Feststoffe sind Kippfahrzeuge geeignet. Solche Fahrzeuge werden im Baustellenverkehr eingesetzt und sind sehr verbreitet. Nachteilig ist, dass Kipper i.d.R. bei Feststoffen mit einem spezifischen Gewicht von 650 kg/m³, nicht genügend Transportvolumen zur Verfügung stellen können und damit nicht ihre volle Nutzlast erreichen können. Damit wird der Transport energetisch weniger effizient und teuer. Werden die Kipper für die Feststoffe mit höheren Seitenwänden ausgestattet, könnten sie zwar die Nutzlast ausnutzen, wären aber nur noch mit grossen Radladern zu beladen. Landwirtschaftliche Hoflader erreichen diese Beladungshöhen nicht. Daher sind solche Umbauten nicht berücksichtigt worden. Ideal sind daher 40 t-Fahrzeuge mit grossen Kubaturen und gleichzeitiger Kippeinrichtung. Diese Anforderung wird am besten von Lastwagen mit Hakengerät und Abrollmulde erfüllt. Diese Wechselmulden können beim Separator abgestellt werden, leicht von hinten mit einem Hoflader oder Traktor befüllt werden und anschliessend wieder vom Lastwagen mitgenommen werden. An der Biogasanlage kann die Mulde gekippt und in weniger als 10 Minuten entleert werden. Für die Berechnungen wurden drei Fahrzeugtypen ausgewählt:

Der 5-Achs-Kipper und der Sattelschlepper mit Kippsattelauflieger, welche beide weit verbreitet sind, sowie der Lastwagen mit Hakengerät und 40 m³ Abrollmulde. Alle Fahrzeuge weisen ein Gesamtgewicht von 40 t auf.

4. Wirtschaftlichkeit

4.1. Logistikkosten

4.1.1. Separierung

Tab. 5 zeigt die Kostenansätze für einen überbetrieblichen Einsatz eines Separators. Drei Befragte (A – C) bieten die Separierung als Dienstleistung an. Diese Leistung beinhaltet die Anfahrt, Installation, Inbetriebnahme und Wegfahrt des Geräts (Grundtarif und Fahrkosten) sowie einen Stundentarif für den Betrieb des Separators. Der vierte Anbieter (D) stellt den Separator mit einem Grundtarif zur Verfügung und der Landwirt muss alle übrigen Leistungen (Transport und Betrieb) selbst übernehmen. Der Betreiber haftet für Schäden. Unterschiede im Grundtarif liegen einerseits in der Distanz und anderseits im Installationsaufwand begründet. Der Stundentarif ist abhängig von der Durchsatzleistung des Separators. Die Fahrkosten werden ebenfalls unterschiedlich beziffert. Im lokalen Bereich entfallen diese Kosten. Die Durchsatzleistung des Separators hängt von der Zusammensetzung der Gülle ab.

Tabelle 5: Kostenansätze für eine überbetriebliche Separierung (alle Angaben ohne MwSt.)

Anbie- ter	Grundtarif (Installation, Inbetriebnahme) Fr.	Stunden- tarif Fr./h	Fahrkosten	Durchsatz- leistung m³/h	Bemerkung
A	150* 250 300	50	Fr. 1.50/km	20 - 25	*unter optimalen Bedingungen
В	200	50	ab 20 km Fr. 0.5/km	20	
С	35**	105	ab 10 km Fr. 1.80/km	30 - 80	**pro Grube
D	45	-	-	20	Landwirt für den Betrieb zuständig

In der Tab. 6 sind die Kosten in Abhängigkeit der Betriebsgrösse und der Durchsatzleistung berechnet. Dabei wird unterstellt, dass der Separator jeweils zweimal im Jahr Gülle auf dem jeweiligen Betrieb separiert (Grundtarif 2 x Fr. 200.- = Fr. 400.-). Zudem wird angenommen, dass 110 kg Feststoffe pro m³ Rohgülle anfallen. Sowohl für den Grund- als auch Stundentarif wurden durchschnittliche Werte eingesetzt. Die Gesamtkosten pro t Feststoff liegen zwischen Fr. 5.- und Fr. 21.- pro t Feststoff.

Tabelle 6: Separierungskosten in Abhängigkeit der Betriebsgrösse und der Durchsatzleistung bei zweimaliger Separierung pro Betrieb und Jahr (alle Angaben ohne MwSt.)

Betrieb	Güllemenge	Grundtarif	Stundentarif	Gesamtkosten					
GVE	m³/a	Fr./a	Fr./a	Fr./a	Fr./m³	Fr./t Feststoff			
		Durchsa	ntzleistung 20 m	n³/h					
30	990	400	50	2875	2.90	21			
50	1650	400	50	4525	2.74	20			
100	3300	400	50	8650	2.62	19			
		Durchsa	ntzleistung 30 m	n³/h					
30	990	400	50	2050	2.07	15			
50	1650	400	50	3150	1.91	14			
100	3300	400	50	5900	1.79	13			
	Durchsatzleistung 80 m³/h								
30	990	400	50	1019	1.03	7			
50	1650	400	50	1431	0.87	6			
100	3300	400	50	2463	0.75	5			

Die Separierung wird generell geschätzt als praxistaugliche Massnahme, wegen des besseren Handlings der Dünngülle im Vergleich zu Rohgülle und geringerer bis keiner Mahdbildung nach der Ausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler. Bei Betrieben mit Nährstoffüberversorgung ist die P-Reduktion, wenn die Feststoffe vom Betrieb geführt werden können, ein Vorteil. Aktuell dient der Einsatz der Separierung primär der Bereitstellung von Feststoffen als Einstreumaterial für die Tierhaltung. Damit kann ein Strohzukauf (Kosten, Nährstoffzufluss) vermieden werden. Ein Einsatz der Feststoffe als Einstreumaterial führt zu einer geringeren Menge, die der Vergärung zugeführt werden können.

Einschränkend für einen vermehrten überbetrieblichen Einsatz der Separierung in der Praxis wirken sich aus, dass der Gerätebetrieb teilweise nur mit geschultem Personal bzw. mit dauernder Betreuung von Anlagen mit geringen Durchsatzleistungen (weniger als 15 m³/h) erfolgt. Dies verursacht hohe Personalkosten. Es kann vermieden werden mit dem Einsatz sehr leistungsfähiger Separieranlagen mit mehr als 100 m³/h oder mit einfach zu handhabenden Geräten, die vom Bauern leicht selbst bedient werden können. Zudem ist die Tierproduktion nicht immer konstant. Ist die anfallende Güllemenge geringer und damit die Nährstoffmenge kleiner, besteht ein geringerer Bedarf einer Separierung.

Fazit:

Die Kosten der Separierung werden beeinflusst durch:

- Jährliche Güllemenge pro Separiergerät (Auslastungsgrad)
- Anfall von Gülle auf den Lieferbetrieben
- Durchsatzleistung des Separators
- Grundtarif und Stundentarif
- Einsatzform des Separators (überbetrieblich durch Dritte oder durch Landwirte)

4.1.2. Landwirtschaftliche Transporte

Tab. 7 zeigt die Grundlagen zu den Kostenkalkulationen, die auf den Maschinenkosten der Agroscope [4] basieren.

Tabelle 7: Kostengrundlagen für landwirtschaftliche Transporte (alle Angaben ohne MwSt. und ohne LSVA), [4]

Arbeit	Lohnansatz f. ausserlandwirtschaftliche Arbeit	Fr./AKh	48
Traktor	75 – 89 kW (102 – 121 PS)	Fr./h	44
Traktor	90 – 104 kW (122 – 142 PS)	Fr./h	53
Transportanhänger	2-achsig, 15 t, hydraulisch-kippbar	Fr./h	50
Hakengerät	mit Container, 22 t	Fr./h	88
Ladezeit	Transportanhänger, 15 t = 23 m ³ Feststoffe	h/Ladung	0.38
	Hakengerät, 22 t = 34 m ³ Feststoffe	h/Ladung	0.56
Abladezeit	Transportanhänger, 15 t, = 23 m³ Feststoffe	h/Ladung	0.083
	Hakengerät, 22 t = 34 m ³ Feststoffe	h/Ladung	0.167

Die Transportkosten sind in der Tabelle 8 dargestellt. Es wurden 4 Varianten berücksichtigt, wobei Variante 1 einen Traktor mit 75 - 89 kW und einem Anhänger mit 15 t Nutzlast beinhaltet (vgl. Abb. A4 im Anhang, S.43). Die folgenden Varianten 2 bis 4 basieren auf einem Traktor mit 90 bis 104 kW und entsprechenden Transportgeräten mit zwei unterschiedlichen Hakengeräten (vgl. Abb. A5 im Anhang, S. 43) und zwei Anhängern. Im lokalen Bereich liegen die Kosten bei Fr. 6.- pro t Feststoff. Auf lokaler Ebene kostet die Tonne Feststoff zwischen Fr. 5.- bis Fr. 7.-. Im regionalen Bereich sind mit Kosten von Fr. 8.- bis Fr. 11.- und im überregionalen Bereich Fr. 25.- bis Fr. 33.- pro t Feststoff zu rechnen. Marktübliche Preise liegen unter Fr. 25.-/t.

Tabelle 8: Kosten für Transporte im landwirtschaftlichen Bereich mit unterschiedlichen Zugfahrzeugen und Transportgeräten in Abhängigkeit der Implementierungsebene (alle Angaben ohne MwSt. und ohne LSVA)

Var	Variante: Ein 15 t/Anhänger bzw. 15 t Feststoffe, 23 t Gesamtgewicht, 20 km/h									
Implemen-			Arbeit				spez.			
tierungs-	Transport-		(inkl.	Traktor	Trsp	Gesamt-	Gesamt-			
ebene	distanz	Fahrdistanz	Wartezeit)	75 - 89 kW	Anhänger	kosten	kosten			
Distanz	km	km	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr./t			
lokal	6	12	51	26	30	108	7			
regional	15	30	70	44	50	164	11			
überregional	50	100	182	147	167	496	33			
Vari	ante: Ein Hal	kengerät 22 t	bzw. 22 t Fes	tstoffe, 32 t	Gesamtgewi	ht, 30 km,	/h			
Implemen-			Arbeit		Hacken-		spez.			
tierungs-	Transport-		(inkl.	Traktor	gerät mit	Gesamt-	Gesamt-			
ebene	distanz	Fahrdistanz	Wartezeit)	90 - 104 kW	Container	kosten	kosten			
Distanz	km	km	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr./t			
lokal	6	12	54	32	53	139	6			
regional	15	30	83	53	35	171	8			
überregional	50	100	195	177	293	665	30			
	Variante: E	in Hakenger	it Tridem, 33	t, 40 t Gesar	ntgewicht, 30	km/h				
lokal	6	12	60	32	30	121	5			
regional	15	30	88	53	75	216	9			
überregional	50	100	200	177	250	627	25			
Vari	ante: Zwei 1	5 t/Anhänger	bzw. 28 t Fes	tstoffe, 40 t	Gesamtgewi	cht, 30 km	/h			
lokal	6	12	64	32	60	156	6			
regional	15	30	93	53	100	246	9			
überregional	50	100	205	177	333	715	26			

Bei den Kosten für das Aufladen der Feststoffe in die Transportgeräte können Hoflader- oder Frontladertarife eingesetzt werden. Die Kosten liegen zwischen Fr. 1.15.-/t Feststoff für den Hoflader bzw. Fr. 0.6/t Feststoff für den Frontlader. Da diese Kosten auf dem jeweiligen Landwirtschaftsbetrieb anfallen und durch den Landwirt selbst ausgeführt werden, sind diese Kosten in der Tabelle 8 nicht aufgeführt.

Fazit:

- Die Transportkosten liegen im lokalen und regionalen Bereich bei Fr. 5.- bis Fr. 7.- pro t Feststoff
- Auf regionaler Ebene ist mit Kosten im Bereich von Fr. 8.- bis Fr. 11.- pro t zu rechnen
- Im überregionalen Bereich belaufen sich die Kosten auf Fr. 25.- bis Fr. 33.- pro t Feststoff
- Grössere Transportkapazitäten sind kostengünstiger als kleine

4.1.3. Gewerbliche Transporte

Für den Transport der Feststoffe wurden ausschliesslich Lastwagen mit Kippeinrichtung [5, 6] berücksichtigt. Die Preise wurden bei verschiedenen Transportunternehmen erfragt und gemittelt. Bei Aufträgen, welche längerfristige Fahrzeugauslastungen gewährleisten, kann mit tieferen Preisen gerechnet werden

Drei Fahrzeugtypen wurden gerechnet:

- 40 t Kipper mit einer Nutzlast von 23 t bzw. 17 m³, WZ: 40 Minuten (Abb. A 6 im Anhang, S. 47)
- 40 t Kippsattelzug mit Nutzlast von 24 t bzw. 24 m³, WZ: 50 Minuten
- 40 t LW mit Abrollmulde, Zuladung von 25 t bzw. 40m³, WZ: 60 Minuten (Abb. A7 im Anhang, S. 47)

Die Fahrzeuge inklusive Arbeit werden pro Stunde ab Standort verrechnet (hin- und zurück). Dabei setzt sich der Preis aus der reinen Fahrzeit und einer Wartezeit für das Laden bzw. Abladen zusammen. Die Preise für die Wartezeiten sind günstiger als die reine Fahrzeit und werden mit rund 70 % des Fahrpreises kalkuliert. Die Wartezeiten hängen vom Ladevolumen ab. Die Beladung erfolgt mit hofeigenen Maschinen (Hoflader, Traktor mit Frontlader) bei der Separieranlage zu Lasten des Lieferbetriebes. Aufgrund des spezifischen Gewichtes der Feststoffe und des zur Verfügung stehenden Ladevolumens kann nur der Lastwagen mit der 40 m³ Abrollmulde die volle Nutzlast ausnutzen. Die anderen beiden Kipper laden weniger Gewicht und sind daher teurer pro transportierte Tonne (Tab. 9 bzw. Tab. 10). Insbesondere der 40 t Kipper, welcher aufgrund des spezifischen Gewichtes der Feststoffe am wenigsten seine Nutzlast erreichen kann, würde in der Praxis nicht für überregionale Transporte eingesetzt.

In der Tabelle 9 sind die Kostenansätze und Annahmen für die LW-Transporte erwähnt.

Tabelle 9: Kostenansätze und Annahmen für verschiedene Lastwagen (LW) (alle Angaben ohne MwSt. und ohne LSVA)

Fahrzeug	Fahrkosten	Wartezeit	Transportierte
			Feststoffmenge
	Fr./h	Fr./h	t
40 t Kipper	187	131	11
40 t Kippsattelzug	192	135	16
40 t Abrollmulde	240	168	25

Tabelle 10 zeigt die Kosten für den LW-Transport inklusive der angenommenen Wartezeiten. Sie belaufen sich auf Fr. 10.- bis Fr. 15.- im lokalen Bereich, Fr. 13.- bis Fr.19.- im regionalen Bereich und Fr. 24.- bis Fr. 36.- pro Tonne Feststoff im überregionalen Bereich.

Tabelle 10: Kosten für den LW-Transport inkl. Wartezeiten (alle Angaben ohne MwSt. und ohne LSVA)

Variante	Fahrdistanz	V	Fahrzeit 40 t Kippe		per	40 t Kipp- sattelzug		40 t Abrollr	mulde
	km	km/h	h	Fr./Fuhre	Fr./t	Fr./Fuhre	Fr./t	Fr./Fuhre	Fr./t
lokal	12	20	0.60	167	15	182	11	245	10
regional	30	40	0.75	209	19	228	14	306	13
überregional	100	70	1.43	398	36	434	27	583	24

Es zeigt sich, dass der 5-Achs-Kipper insbesondere im überregionalen Bereich aufgrund des kleinen Ladevolumens und der hohen Kosten ungeeignet ist.

Wie bei den landwirtschaftlichen Transporten beschrieben, können für das Aufladen der Feststoffe Hoflader oder Frontlader eingesetzt werden. Die Kosten liegen zwischen Fr. 1.15.-/t Feststoff für den Hoflader bzw. Fr. 0.6/t Feststoff für den Frontlader. Da diese Arbeit durch den Landwirt selbst ausgeführt, sind diese Kosten in der Tabelle 12 nicht aufgeführt.

Fazit:

- Kosten für den Transport mit LW betragen im lokalen und regionalen Bereich zwischen Fr.
 10.- bis Fr. 19.- pro t Feststoff
- Im überregionalen Gebiet liegen die Kosten bei Fr. 24.- bis Fr. 27.- pro t Feststoff
- Die Transportkosten sind im Wesentlichen vom Fassungsvermögen abhängig
- Lastwagen sind gegenüber Traktoren bei längeren Transportdistanzen günstiger

4.1.4. Ausbringung

Tabelle 11 zeigt die Grundlagen zu den Kostenkalkulationen für die Ausbringung der Gärreste, die auf den Maschinenkosten der Agroscope basieren [4]. Es wird unterstellt, dass nur flüssiges Gärsubstrat ausgebracht wird.

Tabelle 11: Kostengrundlagen für landwirtschaftliche Transporte und Gärgülleausbringung (alle Angaben ohne MwSt. und ohne LSVA), [4]

Arbeit	Lohnansatz für ausserlandwirtschaftliche Arbeit	Fr./AKh	48
Traktor	90 – 104 kW (122 – 142 PS)	Fr./h	53
Fass mit Schlepp- schlauch	12 m Schleppschlauch + 12'000 l Fass (29 m³/h)	Fr./h	51
Ladezeit	Schleppschlauch + 12'000 l Fass	h/Ladung	0.08
Ausbringungszeit	Schleppschlauch + 12'000 I Fass (29 m³/h)	h/Ladung	0.41

Die spezifischen Transport- und Ausbringungskosten sind in Tabelle 12 dargestellt. In der Tabelle wird ein Traktor mit 90 - 104 kW mit einem Schleppschlauchverteiler berechnet. Im lokalen Bereich liegen die Kosten bei knapp Fr. 5.- pro m³ Gärgülle. Auf regionaler Ebene kostet der m³ Gärgülle rund Fr. 8.-. Im überregionalen Bereich sind mit Kosten von etwa Fr. 20.- zu rechnen.

Tabelle 12: Spezifische Gesamtkosten für den Transport und die Ausbringung in Abhängigkeit der Implementierungsebene (alle Angaben ohne MwSt. und ohne LSVA)

Variante	Trans- port- distanz	Fahr- distanz	Arbeit für Fahrzeit (30 km/h)	Arbeit für Beladen und Aus- bringung	Traktor 90 -104 kW	Fass mit Schlepp- schlauch	Gesamt- kosten	spez. Gesamt- kosten
Distanz	km	km	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr./m³
lokal	6	12	20	24	47	45	136	4,7
regional	15	30	48	24	79	76	226	7,8
überregional	50	100	160	24	203	195	582	20,1

Die Ausbringung von Flüssiggärsubstrat auf überregionaler Ebene, dürfte in der Praxis die Ausnahme sein.

Die Gesamtkosten der Gärgüllelogistik und Ausbringung werden als spezifische Gesamtkosten je m³ Gärgülle ausgewiesen. Die Menge an Gärgülle, die eine Biogasanlage wegführen und ausbringen muss, richtet sich nach den Nährstofffrachten – insbesondere Stickstoff und Phosphor.

Eine Tonne Feststoffe enthält beispielsweise rund 3.6 kg Stickstoff und rund 1 kg Phosphor. Gärgülle von einer Biogasanlage hingegen weist 3 kg Stickstoff und 1,4 kg Phosphor auf. Somit müssen für jede Tonne Feststoff rund 1.2 Tonnen Gärgülle weggeführt werden, damit die Nährstoffbilanz aufgeht.

Fazit:

- Die Ausbringkosten liegen im lokalen und regionalen Bereich bei Fr. 5.- bis Fr. 8.- pro m³
 Flüssiggärsubstrat
- Die Ausbringung auf überregionaler Ebene stellt die Ausnahme dar
- Der höhere Nährstoffgehalt im Feststoff steigert die Effizienz bei der Ausbringung

4.2. Kosten der Vergärung

4.2.1. Landwirtschaftliche Biogasanlagen

4.2.1.1. Einsatz von Feststoff als zusätzliches Substrat

Im Folgenden wird die Möglichkeit eines zusätzlichen Einsatzes von Feststoffen in bestehenden Biogasanlagen untersucht (vgl. Kapitel 3.2.). Für die Analyse der Kosten der Vergärung wird daher unterstellt, dass die Fixkosten der Biogasanlage im Status Quo – also der Ausgangslage vor Einsatz von zusätzlichen Feststoffen – gedeckt werden. Somit sind für die Kostenanalyse lediglich die variablen Kosten zu berücksichtigen, welche bei einem zusätzlichen Substratinput auf den Biogasanlagen tatsächlich entstehen. Die relevantesten variablen Kosten auf der Biogasanlage sind die Maschinenkosten (bspw. für die Beschickung) und zusätzliche Arbeitskosten, die die Feststoffe verursachen. Die Daten in der Tabelle 13 sind aus Branchenkennzahlen der Genossenschaft Ökostrom Schweiz abgeleitet worden.

Tabelle 13: Variable Kosten der Vergärung in Fr./t Feststoff [7]

Kosten	Fr./t Feststoff					
Variable Anlagenkosten	tief mittel hoch					
Arbeitskosten	7.0	9.3	11.6			
Maschinenkosten	1.7	2.2	2.8			

4.2.1.2. Einsatz von Feststoff zur Substitution von bestehenden Substraten

Eine weitere Herangehensweise ist die Betrachtung der Vollkosten der Vergärung. Die Vollkosten sind insbesondere dann wichtig, wenn bestehende Substrate durch Feststoffe substituiert werden sollen. Die folgenden Berechnungen zu den Vollkosten basieren auf einer Zusammenstellung typischer Kosten von Biogasanlagen in der Schweiz. Dabei wurden drei unterschiedliche Typen von landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit Landwirtschaftsbonus entwickelt:

- Typ A: kleine landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten
 (5'000 t Substratinput pro Jahr Rindergülle, Rindermist und Co-Substrate)
- Typ B: mittlere landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten
 (7'360 t Substratinput pro Jahr Rindergülle, Schweinegülle und Co-Substrate)
- Typ C: grosse landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten
 (12'000 t Substratinput pro Jahr Rindergülle, Schweinegülle, Rindermist und Co-Substrate)

Die detaillierte tabellarische Beschreibung dieser drei Typen von Biogasanlage findet sich in Anhang (Tabellen A1 – A3).

Aus den Investitions- und Betriebskosten der drei typischen Biogasanlagen lassen sich die Vollkosten der Vergärung ableiten und auf die eingesetzte Inputmenge Substrat verteilen (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Vollkosten der Vergärung von typischen Biogasanlagen [7]

	Kosten in Fr. je t Gesamtinputsubstrat						
	BGA klein BGA mittel BGA gross						
	(65kW)	(140 kW)	(200 kW)				
Vollkosten Biogasanlage	36.9	64.1	46.8				

Die Vollkosten der Vergärung liegen zwischen rund Fr. 37.-/t Substrat bei den kleinen Biogasanlagen (Typ A), rund Fr. 47.-/t Substrat bei den grossen Biogasanlagen (Typ C) und rund Fr. 64.-/t Substrat bei den mittleren Biogasanlagen (Typ B).

Auf Basis der typischen Biogasanlagen lässt sich im nächsten Schritt auch berechnen, welchen Gewinnbeitrag ein maximal möglicher Einsatz von Feststoffen in den Biogasanlagen erreicht (Tab. 15). Bei den Feststoffen wurde dabei unterstellt, dass die Separierung und der Transport zur Biogasanlage nicht berücksichtigt sind. Darüber hinaus wurde unterstellt, dass die Vollkosten der Biogasanlage unverändert bleiben.

Der wichtigste limitierende Faktor für den Einsatz von Feststoffen bei den typischen Biogasanlagen stellen nicht die Verweilzeit, die Raumbelastung oder die installierte BHKW-Kapazität dar, sondern der mittlere Trockensubstanzgehalt des Gesamtsubstratinputs. Da es sich bei allen Biogasanalgen um Flüssigvergärungsanlagen handelt, muss das Gärsubstrat rühr- und pumpfähig sein. Die maximale Grenze für ein pumpfähiges Substratgemisch ist näherungsweise bei einem Trockensubstanzgehalt von maximal 15 % festzulegen.

Für alle typischen Biogasanlagen wurde der Substratmix im folgenden Schritt so angepasst, dass die Einsatzmenge von Feststoffen gesteigert und damit Rinder- und ggf. Schweinegülle substituiert wur-

de, bis der Trockensubstanzgehalt des Substratmix 15 % beträgt – also die maximale Grenze. Dabei könnten folgende Mengen an Feststoffen eingesetzt werden:

Typ A: 1'830 t Feststoff/a
Typ B: 760 t Feststoff/a
Typ C: 870 t Feststoff/a

Da Feststoffe gegenüber Gülle einen höheren Energiegehalt aufweisen, kann durch die Substitution eine Steigerung der Energieproduktion erreicht werden. Auf Grundlage der höheren Energieproduktion resultieren höhere Nettoerlöse (vgl. Tabelle 15). Der Nettoerlös ist bei der kleinen Biogasanlage mit rund Fr. 41.-/t Feststoff am höchsten. Die kleine Biogasanlage ist in der Lage die grösste Menge Gülle durch Feststoffe zu substituieren. Bei der mittleren Biogasanlage liegt der Nettoerlös noch bei rund Fr. 38.-/t Feststoff und bei der grossen Biogasanlage bei rund Fr. 24.-/ t Feststoff.

Tabelle 15: Nettoerlöse mittels Einsatz von Feststoffen auf typischen Biogasanlagen

	Nettoerlös in Fr. je t Feststoff					
	BGA klein BGA mittel BGA gross					
	(65kW)	(140 kW)	(200 kW)			
Nettoerlös aus Feststoff						

Fazit:

- Der Einsatz von Feststoff ist sowohl als zusätzliches Substrat, als auch in Substitution von bestehenden Substraten in Biogasanlagen möglich.
- Wird Feststoff zusätzlich zu einem bestehenden Substratmix eingesetzt, müssen die zusätzlichen variablen Kosten berücksichtigt werden, die durchschnittlich rund Fr. 12.-/t betragen.
- Bei einer Substitution bestehender Substrate müssen Vollkosten der Vergärung berücksichtigt werden, welche zwischen rund Fr. 37.-/t und Fr. 64.-/t Feststoff liegen.
- Die Nettoerlöse bei der Substitution von Gülle durch Feststoff liegen zwischen rund Fr. 24.-/t und Fr. 41.-/t Feststoff.

4.2.2. Gewerblich-industrielle Biogasanlagen

Alle gewerblich-industriellen Biogasanlagen sind als Entsorgungsanlagen anzusehen. Ein wirtschaftlicher Betrieb setzt entsprechende Anliefergebühren für die Substrate voraus. In der Regel betragen diese Gebühren etwa Fr. 100.-/t und mehr.

Die Betriebskosten belaufen sich auf schätzungsweise mehr als Fr. 80.-/t. Zusätzlich fallen weitere Kosten für die Ausbringung des Gärsubstrats von ca. Fr. 20.-/t an. In der Literatur sind auch höhere Betriebskosten von gegen Fr. 170.-/t zu finden [8].

Die Einspeisetarife für Strom belaufen sich auf Rp. 21 bis Rp. 23/kWhel.

Bei einem durchschnittlichen Energieertrag von etwa 390 kWh/t Feststoff bzw. etwa 130 kWh_{el.}/t und einem mittleren Einspeisetarif von Rp.22/kWh_{el.} resultiert ein Ertrag von knapp Fr. 30.-/t Feststoff. Ohne Anliefergebühren ist die Vergärung von Feststoff auf gewerblich-industriellen Biogasanlagen nicht wirtschaftlich.

Hingegen ist festzustellen, dass bei höheren Energieerträgen, beispielsweise durch Vorbehandlung der separierten Feststoffe, eine entsprechende Reduktion der Anliefergebühr oder eine kostenlose Anlieferung erwartet werden kann. Bei deutlich höheren Energieerträgen könnte eine Bezahlung der angelieferten Feststoffe angenommen werden.

Fazit:

- Gewerblich-industrielle Biogasanlagen verlangen Gebühren bei der Substratannahme
- Im besten Fall kann eine kostenlose Anlieferung erfolgen
- Eine Steigerung des Energieertrages könnte zukünftig die Situation verändern

4.3. Ertrag aus Strom- und Wärme

Zur Kalkulation der Erträge aus Strom- und Wärme bei der Vergärung separierter Feststoffe sind die in Tabelle 2 ausgewiesenen Methanerträge [2] unterstellt worden.

Tabelle 15: Ertrag aus Strom- und Wärme bei der Vergärung von Feststoff (Angaben pro t Feststoff)

Feststoff	Minimum	Mittelwert	Maximum	Einheit
Bruttoenergie	306	389	429	kWh _{th.} /t
Nettostrom	103.6	131.6	145.1	kWh _{el.} /t
Nettowärme (genutzt)	36.8	47.7	51.5	kWh _{th.} /t
Einspeisetarife: Strom	Rp. 40/kW	h _{el.} , Wärme	Rp. 5/kWh _t	h.
Stromerlös	41.5	52.7	58.1	Fr./t
Wärmeerlös	1.8	2.3	2.6	Fr./t
Gesamterlöse	43.3	55.0	60.7	Fr./t
Einspeisetarife: Strom	Rp. 45/kW	h _{el.} , Wärme	Rp. 5/kWh _t	h.
Stromerlös	46.6	59.2	65.3	Fr./t
Wärmeerlös	1.8	2.3	2.6	Fr./t
Gesamterlöse	48.4	61.5	67.9	Fr./t

Tabelle 15 zeigt die Erträge aus Strom und Wärme in Abhängigkeit der Bruttoenergie im Feststoff sowie dem Einspeisetarif für Strom und Wärme. Die Schwankungsbereiche liegen in Abhängigkeit der Einspeisetarife zwischen Fr. 43.- und Fr. 68.-/t Feststoff.

4.4. Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit

Die Tabelle 16 fasst im oberen Teil die Kosten zur Bereitstellung der Feststoffe mit den entsprechenden Schwankungsbereichen zusammen. Es wurde von marktüblichen Kostenbereichen, v.a. beim Transport und der Ausbringung, ausgegangen. Aus der Gegenüberstellung wird bei geringem Kostenaufwand zur Bereitstellung der Feststoffe und nur variable Kosten der Vergärung ein Gewinn von bis zu Fr. 45.-/t erzielt. Bei höheren Kosten ergibt sich ein Verlust von bis zu Fr. 33.-/t. Sogar unter Berechnung der Vollkosten bei der Vergärung kann ein Gewinn von bis zu Fr. 16.-/t realisiert werden. Bei hohen Bereitstellungskosten sind hingegen entsprechende Verluste von bis zu Fr. 81.-/t zu verzeichnen.

Tabelle 16: Gegenüberstellung von Aufwand und Ertrag. Links nur mit den variablen Kosten bei der Vergärung und rechts mit den Vollkosten berechnet.

Bereitstellungskosten	Fr./t Feststoff B		Bereitstellungskosten	Fr./t Feststoff	
	von	bis		von	bis
Separierung	5	20	Separierung	5	20
Transport	5	30	Transport	5	30
Vergärung, nur variable Kosten	8	16	Vergärung, Vollkosten	37	64
Ausbringung	5	10	Ausbringung	5	10
Gesamt	23	76	Gesamt	52	124
Ertrag (Strom u. Wärme)	68	43	Ertrag (Strom u. Wärme)	68	43
Gewinn/Verlust	45	-33	Gewinn/Verlust	16	-81

In der Tabelle 17 sind die Kosten aufgeteilt nach der Implementierungsebene und in der oberen Hälfte mit variablen sowie in der unteren Hälfte mit den Vollkosten der Vergärung berechnet. Es ist zu erkennen, dass bei minimalem Ertrag aus der Vergärung (Fr. 43.-/t Feststoff.) nur im lokalen Umkreis ein Gewinn resultiert. Bei maximalem Ertrag aus der Vergärung (Fr. 68.-/t.) sind auf allen Ebenen Gewinne möglich.

Tabelle 17: Gegenüberstellung von Aufwand und Ertrag in Abhängigkeit der Implementierungsebene. Oben in der Tabelle nur mit den variablen Kosten bei der Vergärung und unten mit den Vollkosten berechnet.

Implementierungsebene	lokal	regional	überregional	Bemerkungen
Separierung	15	15	15	aktuelle Kosten
Transport	6	11	27	Durchschnittskosten
Vergärung, nur variable Kosten	12	12	12	Durchschnittskosten
Ausbringung	5	5	5	nurlokale Ebene
Gesamt	38	43	59	Fr./t Feststoff
Ertrag tief (Strom u. Wärme)	43	43	43	miminaler Ertrag
Gewinn/Verlust	5	0	-16	Fr./t Feststoff
Ertrag hoch (Strom u. Wärme)	68	68	68	maximaler Ertrag
Gewinn/Verlust	30	25	9	Fr./t Feststoff
Implementierungsebene	lokal	regional	überregional	Bemerkungen
Separierung	15	15	15	aktuelle Kosten
Transport	6	11	27	Durchschnittskosten
Vergärung, Vollkosten	49	49	49	Mittelwert
Ausbringung	5	5	5	nur lokale Ebene
Gesamt	75	80	96	Fr./t Feststoff
Ertrag tief (Strom u. Wärme)	43	43	43	miminaler Ertrag
Gewinn/Verlust	-32	-37	-53	Fr./t Feststoff
Ertrag hoch (Strom u. Wärme)	68	68	68	maximaler Ertrag
Gewinn/Verlust	-7	-12	-28	Fr./t Feststoff

Feststoffe werden aus Rohgülle separiert. Der Ertrag von Strom und Wärme aus der Vergärung von Rohgülle kann somit mit dem Ertrag aus der Vergärung von Feststoff verglichen werden (Tab. 18). Dabei wird deutlich, dass ausgehend vom mittleren Energieertrag von 103 kWh_{th}/t Gülle [2] ein Gesamterlös von knapp Fr. 15.- bis Fr. 17.-/t Gülle erzielt wird.

Feststoffe dagegen erzielen mit Fr. 43.- bis Fr. 68.-/t einen deutlich höheren Ertrag. Die Differenz liegt zwischen Fr. 28.- bis Fr. 51.-/t.

Tabelle 18: Vergleich mit Gülle

Energieertrag	103.4	kWh _{th.} /t	Mittelwert (LEVER 2016)
Bruttostrom	39.3	kWh _{el.} /t	
Nettostrom	35.0	kWh _{el.} /t	
Stromerlös	14.0	Fr./t	bei Rp. 40/kWhel.
Stromerlös	15.7	Fr./t	bei Rp. 45/kWhel.
Bruttowärme	41.4	kWh _{th.} /t	
Nettowärme	24.8	kWh _{th.} /t	
genutzt	12.4	kWh _{th.} /t	
Wärmeerlös	0.6	Fr./t	bei Rp. 5/kWhth.
	Min.	Max.	
Gesamterlös	14.6	16.4	Fr./t Gülle
Gesamterlös	43	68	Fr./t Feststoff
Differenz	+ 28.4	+ 51.6	Fr./t Feststoff

Fazit:

- Bei tiefen Kosten und hohen Erlösen erzielt die Feststoffvergärung Gewinne
- Mit variablen Kosten ist die Vergärung lokal und regional kostendeckend bis gewinnbringend
- Feststoffvergärung ist um Fr. 28.- bis Fr. 51.-/t wirtschaftlicher als die Vergärung von Rohgülle

5. Energiebilanz

5.1. Separierung

Für die Kalkulation des Energiebedarfs bei der Separierung wurde mit einem TS-Gehalt der Rindergülle von 5.9 % und einem oTS-Anteil von 75.2 % ausgegangen (Mittelwerte) [2]. Die Abtrennung der Feststoffe liegt bei 39 % und diejenige der oTS bei 46 % (Mittelwerte) [2].

Der Strombedarf (Tab. 19) nimmt mit zunehmender Durchsatzleistung ab. Er beläuft sich auf ca. 13 kWhel/t Feststoff bei einzelbetrieblichem Geräteeinsatz und tiefen Durchsatzleistungen. Im Bereich eines überbetrieblichen Geräteeinsatzes liegen die Werte bei 4 bis 6 kWhel/t Feststoff. Höhere Durchsatzleistungen können den Energiebedarf auf rund 3 kWhel/t reduzieren.

Tabelle 19: Strombedarf bei der Separierung (Grundlagen und Rohgülle basieren auf den Mittelwerten [2])

Durchsatz	m ³ /h	10	20	30	40	50	60	70	80
Leistung	kW	15	15	15	20	20	25	25	25
Feststoffmenge	t/h	1.08	2.16	3.24	4.32	5.40	6.48	7.56	8.64
Strombedarf	kWh/t Feststoff	13.06	6.53	4.35	4.42	3.54	3.72	3.19	2.79

5.2. Transporte

5.2.1. Landwirtschaftliche Transporte

Die Transporte dienen zur Dislozierung der Feststoffe vom Lieferbetrieb zum Biogasanlagenbetreiber. Als ersten Schritt müssen die Feststoffe in entsprechende Ladegeräte umgeladen werden. Der entsprechende Energieaufwand verdeutlicht Tabelle 20. Es wurde dabei zwischen Hoflader und Frontlader unterschieden. Der Energiebedarf liegt beim Hoflader mit mehr als 1 kWh/t bzw. knapp 5 MJ/t um rund die Hälfte tiefer als beim Frontlader mit 2.5 kWh/t bzw. 9 MJ/t.

Tabelle 20: Energiebedarf für das Aufladen der Feststoffe mit Hoflader bzw. Frontlader

Aufladen	Einheit	Hoflader	Frontlader
Тур	kW	44	49 - 66
Dieselverbrauch	kg/h	4.2	16.8
Dieselverbrauch	kg/t Feststoff	0.11	0.22
Ladegewicht	t/Ladung	0.65	1.3
Energiebedarf	kWh/t Feststoff	1.3	2.5
Energiebedarf	MJ/t Feststoff	4.6	9.2

Die Grundlagen zur Berechnung des Energiebedarfs für Transporte basieren auf dem FAT-Bericht Nr. 611 [9].

Der Energiebedarf für den Transport der Feststoffe ohne Aufladen liegt zwischen gut 2 bis 28 kWh bzw. 9 bis 100 MJ/t Feststoff (Tab. 21). Mit dem Aufladen der Feststoffe beläuft sich der Energiebedarf pro Tonne auf knapp 4 bis 30 kWh/t bzw. 14 bis 110 MJ/t.

Der relativ hohe Energiebedarf für das Aufladen ist auf den entsprechend hohen Zeitaufwand zurückzuführen. Für den Hoflader sind dies etwa 1.5 Min. pro t und für den Frontlader etwa die Hälfte.

Tabelle 21: Energiebedarf für landwirtschaftliche Transporte inkl. Aufladen der Feststoffe

1. Variante	e Traktor 74 k	W, Anhänger	2-achsig, Gesamt	23 t, Nutzlast 15.	.25 t; 30 km/h		inkl. Aı	ufladen	
	Transport-		Diesel-						
Ebene	distanz	Fahrdistanz	verbrauch total	Energiebedarf	Energiebedarf	Hoflader	44 kW	Frontlader	49 - 66 kW
Distanz	km	km	g Diesel	kWh/t Fest	MJ/t Fest	kWh/t Fest	MJ/t Fest	kWh/t Fest	MJ/t Fest
lokal	6	12	3671	2.8	11.5	4.1	16.1	5.4	20.7
regional	15	30	8075	6.2	28.8	7.5	33.3	8.8	37.9
überregional	50	100	26917	20.8	95.8	22.1	100.4	23.4	105.0
2. Variante 1	Fraktor 74 kW,	3-Seitenkipp	oer Tandem, Gesa	mt 26 t, Nutzlast	16.8 t; 30 km/h		inkl. A	ufladen	
lokal	6	12	4220	3.0	10.7	4.2	15.3	5.5	19.8
regional	15	30	10550	7.4	26.7	8.7	31.3	10.0	35.8
überregional	50	100	35165	24.7	89.0	26.0	93.5	27.2	98.1
3. Variante T	raktor 100 kW	/, Hackengerä	it Tandem, Gesam	nt 27.2 t, Nutzlast	t 16.3 t; 30 km/h	inkl. Aufladen			
lokal	6	12	4625	3.3	12.1	4.6	16.6	5.9	21.2
regional	15	30	11562	8.4	30.1	9.6	34.7	10.9	39.3
überregional	50	100	38539	27.9	100.5	29.2	105.1	30.4	109.6
4. Variante T	raktor 100 kW	<i>l,</i> Hackengerä	it Tridem, Gesamt	39.2 t, Nutzlast	25.05 t; 30 km/h		inkl. Aı	ufladen	
lokal	6	12	6414	3.0	10.9	4.3	15.5	5.6	20.0
regional	15	30	16036	7.6	27.2	8.8	31.8	10.1	36.4
überregional	50	100	53452	25.2	90.7	26.4	95.3	27.7	99.8
5. Variante Traktor 100 kW, 2 Anhänger 2-achsig, Gesamt 40 t, Nutzlast 28.3 t; 30 km/h						inkl. Aı	ufladen		
lokal	6	12	6105	2.5	9.2	3.8	13.7	5.1	18.3
regional	15	30	15261	6.4	22.9	7.6	27.5	8.9	32.1
überregional	50	100	50872	21.2	76.4	22.5	81.0	23.8	85.6

5.2.2. Gewerbliche Transporte

Auch bei den gewerblichen Transporten ist ein Aufladen der Feststoffe notwendig, wobei dieselben Berechnungsgrundlagen wie bei den landwirtschaftlichen Transporten berücksichtigt wurden (vgl. Tab.20).

Lastwagen sind im Gegensatz zu Traktoren für Transportaufgaben optimiert. Ihre Motoren wurden in den letzten zehn Jahren sowohl in Bezug auf Schadstoffausstoss als auch Verbrauch stark weiterentwickelt [10].

Für alle Transportberechnungen (Tab. 21) wurden nur 40 t Fahrzeuge berücksichtigt, jedoch mit unterschiedlichen Aufbauten und unterschiedlichen Ladekapazitäten. Ihre Nutzlasten liegen zwischen 17 und 25 Tonnen. Während ein normaler Baustellenkipper zwar 17 t Nutzlast aufweist, kann er wegen des beschränkten Ladevolumens nur rund 11 t Feststoffe zuladen. Der Kippsattelzug mit einer Nutzlast von 25 t, kann aufgrund seiner voluminöseren Aufbauten rund 17 t Feststoffe laden. Am besten geeignet ist der 5-Achs-Lastwagen mit aufgebautem Hakengerät und einer 40 m³ Abrollmulde. Dieses Fahrzeug kann aufgrund der voluminösen Mulde die volle Nutzlast von 25 t an Feststoffen transportieren.

Die Verbrauchswerte wurden den jeweiligen Aufbauten (transportierte Feststoffmenge) und Einsatzgebieten (lokal bis überregional) angepasst. Für den lokalen Verkehr wurde ein Verbrauch von bis zu 43 l/100 km angenommen. Hier muss die Masse mehrmals beschleunigt und abgebremst werden, was einen höheren Verbrauch ergibt. Die Durchschnittgeschwindigkeit liegt bei 20 km/h. Im regionalen Bereich liegt der angesetzte Verbrauch bei 35 bis 40 l/100 km, was bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h rund 0.3 g/km entspricht. Leerfahrzeuge bewegen sich im Bereich von 24 bis 30 l/100 km oder 0.2 bis 0.25 g/km. Der Verbrauch eines beladenen 40 t Kippsattelzuges im Überlandlandverkehr (vorwiegend Autobahn) liegt zwischen 30 bis 35 Liter Diesel pro 100 km [11, 12]. Dies entspricht 0.25-0.29 g/km. Die angenommene Durchschnittgeschwindigkeit liegt dabei bei rund 70 km/h.

Die Vorteile der Lastwagen liegen klar im überregionalen Verkehr, wo sie gegenüber den landwirtschaftlichen Traktoren mit Anhänger massiv effizienter (weniger Treibstoff pro km und Tonne) Güter transportieren können. Im lokalen bzw. regionalen Bereich ist der Energieverbrauch verglichen mit den langsameren Traktorengespannen nicht markant besser.

Tabelle 21: Energiebilanz gewerblicher Transporte

		1. Variar		inkl. Au	ufladen				
	Transport-								
Ebene	distanz	Fahrdistanz	Transport total	Energiebedarf	Energiebedarf	Hoflader	44 kW	Frontlade	49 - 66 kW
Distanz	km	km	g Diesel	kWh/t Fest	MJ/t Fest	kWh/t Fest	MJ/t Fest	kWh/t Fest	MJ/t Fest
lokal	6	12	3180	3.4	12.3	4.7	16.9	6.0	21.4
regional	15	30	7950	8.5	30.7	9.8	35.3	11.1	39.9
überregional	50	100	22296	23.9	94.7	25.2	99.2	26.5	103.8
		2. Varia	ante Kippsattelzug	J		inkl. Aufladen			
lokal	6	12	3540	2.6	9.4	3.9	14.0	5.2	18.6
regional	15	30	8850	6.5	23.5	7.8	28.1	9.1	32.7
überregional	50	100	25700	19.0	68.3	20.2	72.8	21.5	77.4
		3. Variante H	lakengerät/Mulde	40m3			inkl. Au	ufladen	
lokal	6	12	3660	1.8	6.5	3.1	11.1	4.3	15.7
regional	15	30	9150	4.5	16.3	5.8	20.8	7.1	25.4
überregional	50	100	22440	11.1	39.9	12.3	44.5	13.6	49.1

5.3. Vergärung

Bei den drei typischen Biogasanlagen (Tab. 22) liegt der Eigenstrom- und Wärmebedarf zwischen 15 und 17 kWh_{el.}/t bzw. zwischen 49 bis 82 kWh_{th.}/t.

Tabelle 22: Eigenstrom- und Wärmebedarf zur Vergärung von Feststoff

Anlagentyp	Eigenstrombedarf (kWhel./t)	Eigenwärmebedarf (kWhth./t)
Grosse BGA	16.1	82.1
Mittlere BGA	17.4	65.7
Kleine BGA	14.9	49.2

Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, dass der Eigenwärmeverbrauch von diversen Faktoren abhängt:

- Je kleiner die Anlage, desto höher der %-Anteil an Eigenwärmeverbrauch
- Je grösser der Anteil an flüssigem Hofdünger (Gülle) am Gesamtsubstratmix, desto höher der %-Anteil an Eigenwärmeverbrauch
- Je nach klimatischen Bedingungen schwankt der Eigenwärmebedarf der Anlage
- Je nach baulicher, technischer und konzeptioneller Ausführung der Anlage unterscheidet sich der Eigenwärmebedarf deutlich
- Durch steigende Energieproduktion reduziert sich der Eigenwärmebedarf

Eine ausführliche Herleitung des Eigenwärmebedarfs findet sich im Anhang.

5.4. Ausbringung

Wie in den entsprechenden Kostenberechnungen (vgl. Tab. 11) sind beim Energieaufwand zur Ausbringung der Gärreste nur flüssige Substrate angenommen worden (Tab. 23).

 Tabelle 23: Energiebedarf für das Ausbringen von Gärresten

V	ariante Trakto	or 90 - 104 kW	, Schleppschlauch	verteiler, 12000 l	Fass
Ebene	Transport- distanz	Fahrdistanz	Transport total	Energiebedarf	Energiebedarf
Distanz	km	km	g Diesel	kWh/t Feststoff	MJ/t Feststoff
lokal	6	12	4251	4.2	15.1
regional	15	30	10627	10.4	37.6
überregional	50	100	35422	34.8	125.5

Der Energieaufwand liegt zwischen 4 bis 35 kWh/t bzw. 15 bis 125 MJ/t Feststoff. In der Regel werden Gärreste bei landwirtschaftlichen Biogasanlagenbetreibern im lokalen Bereich ausgebracht. Somit liegt der Energieaufwand bei 4 kWh/t bzw. 15 MJ/t.

5.5. Zusammenfassung der Energiebilanz

In der Tabelle 24 sind sämtliche Energieaufwendungen zur Bereitstellung und Vergärung der Feststoffe mit den entsprechenden Schwankungsbereichen dargestellt.

Die Bereitstellung der Feststoffe für die Vergärung benötigt je nach Distanz etwa 6 bis 37 kWh/t, die Vergärung ca. 64 bis 98 kWh/t sowie die Ausbringung 4 bis 35 kWh/t. Der Gesamtenergieaufwand beläuft sich auf 74 bis 170 kWh/t.

Tabelle 24: Zusammenfassung der gesamten Aufwendungen für die Logistik, aufgeteilt in landwirtschaftliche (obere Hälfte der Tabelle) und gewerbliche Transporte (untere Hälfte der Tabelle) und der Vergärung im Vergleich zum Energieinhalt der Feststoffe sowie dem Energieanteil

Logistik	Separ	ierung	Transporte La	andwirtschaft	Verg	ärung	Ausbr	ingung	Ges	amt
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff
lokal	2.8	6.5	3.8	5.9	64.1	98.2	4.2	34.8	74.9	145.4
regional	2.8	6.5	7.5	10.9	64.1	98.2	4.2	34.8	78.6	150.5
überregional	2.8	6.5	22.1	30.4	64.1	98.2	4.2	34.8	93.2	170.0
Logistik	Separ	ierung	Transporte	e Gewerbe	Verg	ärung	Ausbr	ingung	Ges	amt
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff
lokal	2.8	6.5	3.1	6.0	64.1	98.2	4.2	34.8	74.1	145.5
regional	2.8	6.5	5.8	11.1	64.1	98.2	4.2	34.8	76.9	150.6
überregional	2.8	6.5	12.3	26.5	64.1	98.2	4.2	34.8	83.4	166.0

In der Tabelle 25 sind in der linken Spalte nochmals die Daten des gesamten Energieaufwands dargestellt (vgl. Tab. 24). Verglichen mit der Nutzenergie der Feststoffe, Strom und Wärme, die zwischen 306 und 429 kWh/t variiert, liegt das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag zwischen 17 und 55 % bzw. im Mittel bei weniger als 40 %.

Bezogen auf den Energieinhalt der Feststoffe (Brennwert H_o) beträgt der Anteil aller Aufwendungen rund 8 bis knapp 14 %.

Eine Leistungssteigerung bei der Vergärung der Feststoffe könnte den Anteil deutlich reduzieren, was im Vergleich mit dem Energieinhalt (Brennwert) klar ersichtlich wird.

Tabelle 25: Vergleich von Gesamtenergieaufwand und Nutzenergie sowie Energieinhalt im Feststoff

Logistik	Ges	amt	Nutzenergie	(Strom&Wärme)	Bili	anz	Anteil an Nu	tzenergie	Energieinha	lt Brennwert
Trsp Landw.	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	%	%	%	%
Einheit	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
lokal	74.9	145.4	306.5	429.2	161.1	354.3	17.4	47.5	5.9	15.3
regional	78.6	150.5	306.5	429.2	156.0	350.6	18.3	49.1	6.2	15.8
überregional	93.2	170.0	306.5	429.2	136.5	336.0	21.7	55.5	7.4	17.9
Logistik	Ges	amt	Nutzenergie	(Strom&Wärme)	Bil	anz	Anteil an Nu	tzenergie	Energieinha	lt Brennwert
Trsp Gewerbe	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	kWh/t F	eststoff	%	%	%	%
Einheit	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
lokal	74.1	145.5	306.5	429.2	161.0	355.1	17.3	47.5	5.9	15.3
regional	76.9	150.6	306.5	429.2	155.9	352.3	17.9	49.1	6.1	15.9
überregional	83.4	166.0	306.5	429.2	140.5	345.8	19.4	54.2	6.6	17.5

Fazit:

- Den weitaus grössten Anteil am Energiebedarf weist die Vergärung auf
- Der gesamte Energiebedarf liegt anteilsmässig bei weniger als 40 % der Nutzenergie
- Das Energiepotential (Brennwert) im Feststoff lässt sich nur durch leistungssteigernde Massnahmen besser nutzen

6. Akzeptanz

6.1. Lieferbetriebe

Bei den befragten Lieferbetrieben hängt die Bereitschaft an einer Separierung und Bereitstellung von Feststoff zur Vergärung mitzumachen, u.a. vom Kosten-Nutzen-Verhältnis ab. In der Praxis hat sich gezeigt, dass das Separieren bis zu etwa Fr. 2.- pro m³ Rohgülle bzw. ca. Fr. 15.- pro t Feststoff durchgeführt wird. Höhere Kosten werden nur in Ausnahmefällen bezahlt. Die Separierung dient in der Regel zur Bereitstellung von Feststoff als Ersatz von Einstreu. Dies führte in den letzten Jahren zu einer Verbreitung der Separierung in der Ostschweiz. Als weitere Argumente für das Separieren werden keine Mahdbildung bei der Ausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler, weniger Futterverschmutzung, bessere Eignung der Dünngülle im Futterbau sowie die Möglichkeit Nährstoffe zu exportieren genannt.

Für eine Umsetzung der Feststoffvergärung zeichnen sich 3 grundsätzliche Typen von Lieferbetrieben ab:

- Wenn für den Lieferbetrieb keinerlei Kosten anfallen, ist die Mehrheit der Betriebe bereit Feststoffe zu liefern
- Lieferbetriebe, die einen betrieblichen Nährstoffüberschuss aufweisen, könnten bereit sein die Kosten für die Separierung und allenfalls einen Teil der Transportkosten zu übernehmen. Diese Kosten müssen geringer als der Transport von Rohgülle sein.

- Lieferbetriebe, die die Vorteile der Separierung für ihren Betrieb erkennen und deshalb bereit sind Feststoffe zur Vergärung abzugeben. Dazu gehören auch Betriebe, die einen Beitrag zur energetischen Nutzung von Hofdünger leisten möchten.

Bei den Recherchen sind zusätzliche Einschränkungen erkannt worden. Einige Käseproduzenten (Tilsiter- und Appenzellerkäse) nehmen keine Milch von Betrieben, die Feststoffe als Einstreuersatz einsetzen entgegen. Diese Betriebe könnten hingegen ebenfalls für das Konzept "RAUS – REIN" Interesse zeigen.

6.2. Logistikunternehmen

Alle befragten Unternehmen unterstützen die Idee und sind bereit ihre Dienstleistungen anzubieten. Bei einer längeren Laufzeit des Projektes, wären sie bereit die Kosten in Folge besserer Auslastung zu reduzieren.

6.3. Landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber

Für landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber wurde am 28.10.2016 ein Workshop organisiert. Die Teilnehmer haben die Informationen positiv aufgenommen. Es spricht grundsätzlich nichts gegen den Feststoff-Einsatz in der Vergärung, sofern die prozess-technischen Grundlagen vorhanden sind. Aufgrund der aktuell positiven Co-Substratsituation im Raum Ostschweiz liegen bei den meisten Teilnehmern die Prioritäten vorerst auf lukrativeren Substraten für die ein Entsorgungspreis verlangt werden kann. Zwei Anlagenbetreiber wären auf Anhieb für einen Versuch bereit. Weitere Betriebe haben nachträglich ihr Interesse an einer Teilnahme bekundet.

Während der Diskussion stellten sich folgende Punkte heraus:

- Feststoffe werden als positives Substrat eingestuft, bei dem man weiss, was man hat. Es sei klar besser und verfahrenstechnisch einfacher als z.B. Pferde- oder Hühnermist.
- Verfahrenstechnisch wird das Material als einfach für die Vergärung beurteilt. Ein Eintrag über den Feststoffdosierer oder die Vorgrube ist leicht möglich.
- Gewisse Vorbehalte bestehen noch in Bezug auf den hohen TS-Gehalt der Feststoffe. Von Seiten der Anlagenbetreiber kam mehrmals die Rückmeldung, dass sie mit dem TS-Gehalt unter den heutigen Substratbedingungen bereits am oberen Maximum angelangt seien, und grundsätzlich keine Substrate mit hohen TS-Gehalten mehr annehmen können. Für eine bessere Auslastung der Anlage wäre das Material eine Alternative. Ein weiterer Vorteil wird in der guten und unkomplizierten Lagerfähigkeit gesehen. Grundsätzlich könnte dadurch die Problematik allfälliger saisonaler Schwankungen beim Substratanfall ausgeglichen werden.
- Ein höherer Gasertrag wäre willkommen, was für eine Vorbehandlung der Feststoffe zur Steigerung des Gasertrags spricht.
- Die Separierung und ihre Vorteile werden positiv bewertet.
- Ein grosses Problem beim vorgestellten konzeptionellen Ansatz wird darin gesehen, dass heute für die Entsorgung von Nährstoffen hohe Entsorgungspreise bezahlt werden. Die Nährstoffentlastung durch die Separierung wird als zu gering erachtet, um daraus überhaupt noch Entsorgungserlöse zu generieren. Somit steht die Separierung in Konkurrenz zur Entsorgung von überschüssigem Hühnermist.
- Ein Fragezeichen sind mögliche Antibiotikarückstände, die evtl. die Biogasbiologie stören könnten. Dies hingegen trifft für alle Hofdünger zu.
- Als primäre mögliche Lieferbetriebe werden einerseits Betriebe mit Nährstoffüberschuss (TG, SG, AR, AI) und intensive Milchviehbetriebe mit "dicker Gülle" genannt, die für die Ausbringung sowieso separieren müssen.

 Weitere Interessenten einer Feststofflieferung stellen Betriebe dar, die separieren um Einstreumaterial zu ersetzen und auch einen Anteil zur energetischen Nutzung bereitstellen würden.

6.4. Gewerblich-industrielle Biogasanlagenbetreiber

Da alle befragten gewerblich-industriellen Anlagenbetreiber mit geringeren Einspeisetarifen operieren müssen, sind die Interessen an einer Beteiligung zur Umsetzung gering. In der Regel muss eine Gebühr für die Behandlung des Materials bezahlt werden. Denkbar ist auch eine Gratisanlieferung der Feststoffe, was hingegen die Ausnahme darstellen dürfte. Die Feststoffe werden als gut geeignet und problemlos für den Biogasanlagenbetrieb eingestuft. Teilweise wird der Nährstoffgehalt als hoch angesehen, weil der notwendige Flächenbedarf zur Ausbringung entsprechend organisiert werden muss. Ein Anlagenbetreiber könnte sich in Zukunft eine Umstellung der bisherigen Materialzufuhr auf Feststoffe vorstellen, wenn ein entsprechender Landwirtschaftsbonus erzielt werden könnte und mittels einer Vorbehandlung der Gasertrag der Feststoffe markant erhöht werden könnte.

6.5. Abnehmerbetriebe

Abnehmerbetriebe sind Landwirtschaftsbetriebe, die über ausreichende Flächen verfügen. Die Vorteile der Gärsubstrate sind erhöhtes Fliessverhalten, geringere Geruchsemissionen und besser verfügbare Nährstoffe. Typische Ausbringregionen in der Nord-Ost-Schweiz sind der Kanton Schaffhausen und das Zürcher Weinland.

6.6. Behörden

Die Idee, Feststoffe einer Vergärung zuzuführen, wird bei den angefragten Behördenvertretern generell positiv beurteilt. Die vorteilhaften Wirkungen der Separierung, insbesondere die gute Eignung der Dünngülle im Futterbau sowie die problemlose Ausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler werden übereinstimmend geschätzt. Die Ausbringung der Dünngülle mittels Schleppschlauch wird teilweise als Umsetzungsbedingung erwogen. Keiner der befragten Behördenmitglieder sieht gesetzliche Hindernisse für die Umsetzung. Als Einschränkung wird genannt, dass der Bau neuer Biogasanlagen sehr lange dauert und damit einer raschen Umsetzung im Wege steht sowie vermehrte Transporte, die sich bei einer Bewilligung auswirken könnten.

Fazit:

- Die Akzeptanz praktisch aller Beteiligten ist gegeben
- Gewerblich-industrielle Anlagenbetreiber zeigen eingeschränktes Interesse
- Die bestehenden Vorbehalte k\u00f6nnten mittels Pilotbetrieb in der Praxis reduziert und die wesentlichen Vorteile der Feststoffverg\u00e4rung aufgezeigt werden

7. Gesamtbeurteilung

7.1. Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Zur Beurteilung des Konzepts "RAUS – REIN" aus Sicht der Kosten wurden Varianten mit verschiedenen Annahmen berechnet (vgl. Kapitel 4) und gesamthaft dargestellt (Abb. 6). Dabei sind die minimalen und die maximalen Kosten aufgezeigt und mit dem "realisierten" Ertrag aus der Vergärung, Strom und Wärme, verglichen worden. Der "realisierte" Ertrag berechnet sich aus den erzielten Gasmengen [2] multipliziert mit den KEV-Tarifen. Zusätzlich wurde der maximal mögliche Ertrag auf Basis des Brennwerts (H_o), der bei vollständiger biochemischer Umwandlung, abzüglich 12.5 % für die Zellsynthese, berechnet und gegenübergestellt. Damit kann die Ertragsobergrenze bzw. das Ertragspotential aufgezeigt werden.

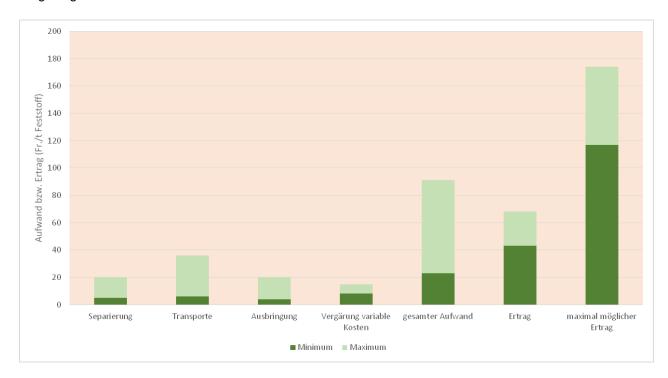


Abbildung 6: Kosten der Feststoffbereitstellung und –vergärung, nur <u>variable Kosten</u> für die Vergärung berechnet, im Vergleich mit dem Ertrag und dem maximal möglichen Ertrag.

Unter der Voraussetzung tiefer Bereitstellungskosten ist ein wirtschaftlicher Betrieb realisierbar. Bei hohen Kosten, beispielsweise für Anlieferung und Ausbringung im überregionalen Bereich, übersteigen die Kosten den Ertrag.

Im Vergleich zum maximal möglichen Ertrag, der nur mit einer entsprechenden Leistungssteigerung der Vergärung erreichbar ist, wäre ein kostendeckender Anlagenbetrieb problemlos möglich. Die zusätzlichen Aufwendungen einer Leistungssteigerung sind dabei jedoch nicht berücksichtigt.

In Abbildung 7 sind die Kosten unter Berücksichtigung der Vollkosten bei der Vergärung dargestellt. Es zeigt sich, dass nur unter günstigsten Bedingungen und hohen Kostenerträgen bei der Vergärung ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Die Vollkosten der Vergärung sind bei Neuanlagen ausschlaggebend. Eine Kostendeckung könnte erst über eine Leistungssteigerung bei der Vergärung von Feststoffen erreicht werden.

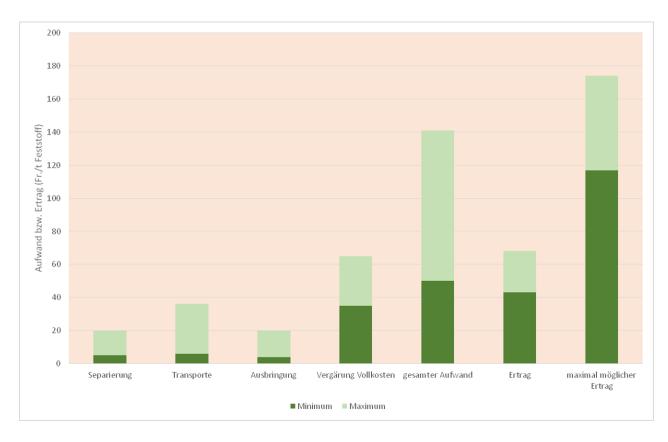


Abbildung 7: Kosten der Feststoffbereitstellung und –vergärung mit <u>Vollkosten</u> berechnet, im Vergleich mit dem Ertrag und dem maximal möglichen Ertrag.

7.2. Beurteilung der Energiebilanz

In Abbildung 8 ist der Energieaufwand zur Bereitstellung und Vergärung der Feststoffe ersichtlich. In der Darstellung sind jeweils der minimale und die maximale Energiebedarf aufgezeigt und mit dem realisierten Ertrag aus der Vergärung [2], in Form von Strom und Wärme, verglichen. Zusätzlich wurde der maximal nutzbare Ertrag auf Basis des Brennwerts (H_o), der bei vollständiger biochemischer Umwandlung, abzüglich 12.5 % für die Zellsynthese, realisiert werden könnte.

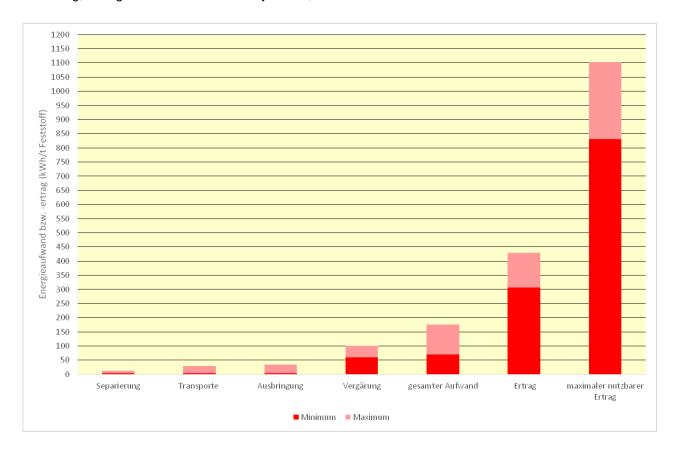


Abbildung 8: Energieaufwand und –ertrag im Vergleich zum maximal nutzbaren Energieertrag basierend auf der maximal erzielbaren Gasausbeute.

Den grössten Aufwand benötigt die Vergärung mit bis zu 86 %. Sowohl im lokalen und regionalen Bereich als auch im überregionalen Bereich ist der Energiebedarf zur Bereitstellung der Feststoffe, verglichen mit demjenigen der Vergärung gering.

Aus energetischer Sicht wird unter ungünstigsten Bedingungen maximal 58 % der aus der Vergärung realisierte Ertrag zur Bereitstellung und Vergärung der Feststoffe benötigt. In den meisten Fällen liegt der Energieaufwand bei weniger als 40 %.

Der maximal mögliche Ertrag aus Feststoffen in Form von Biogas liegt zwischen 830 und 1100 kWh/t. Im Durchschnitt liegt der Energieaufwand somit bei rund 15 % des maximal nutzbaren Ertrags. Um dies zu erreichen, ist eine Leistungssteigerung der Vergärung notwendig, wobei deren Energieaufwand zusätzlich berücksichtigt werden müsste.

7.3. Entscheidungsmatrix

Eine detaillierte Analyse der Kostenstrukturen und der Erträge aus der Vergärung ermöglicht die Entscheidung, ob Feststoffe als Substrat in der Praxis auf landwirtschaftlichen Anlagen eingesetzt werden können.

Als Grundlage für die Entscheidungsmatrix (vgl. Tab. 28) dienen Tabelle 26 und Tabelle 27.

Tabelle 26: Zusammenstellung der Kosten- und Ertragsanteile und der entsprechenden Kennzeichnung (tief, mittel, hoch)

Kostenant	eile (Fr.	/t Fest	stoff)			
Kennzeichnung	tie	ef	mi	ttel	ho	ch
Kostenanteile	von	bis	von	bis	von	bis
Separierung	5	7	8	15	16	20
Transporte Landwirtschaft	6	7	8	11	12	33
Transporte Gewerbe	10	13	14	20	21	36
Ausbringung	4	5	6	8	9	20
Vergärung 1 mit variablen Kosten	8	10	11	12	13	15
Vergärung 2 mit Vollkosten	35	40	41	50	51	65
Ertragsant	eile (Fr.	/t Fest	stoff)			
Ertrag mit tiefen Tarifen	4:	3	5	5	6	1
Ertrag mit hohen Tarifen	48	3	6	2	6	8

In Tabelle 27 sind die Kosten mit den entsprechenden Bandbreiten aufgelistet. Den einzelnen Kostenbzw. Ertragsbereichen wurde eine entsprechende Kennzeichnung, tief, mittel und hoch zugeordnet.

Tabelle 27: Kennzeichnung der einzelnen Kosten- und Ertragsanteile der Szenarien A – E (vgl. Tabelle 31)

	K	Costenanteile			
Szenarien	А	В	С	D	E
Separierung	mittel	tief	mittel	mittel	mittel
Transport Landwirtschaft	mittel-hoch	tief	hoch	mittel-hoch	mittel-hoch
Transport Gewerbe	mittel	tief-mittel	hoch	mittel	mittel
Ausbringung	mittel-hoch	tief	hoch	mittel-hoch	mittel-hoch
Vergärung 1 variable Kosten	mittel	tief	hoch	hoch	hoch
Vergärung 2 Vollkosten	tief	tief	hoch	hoch	hoch
	E	rtragsanteile			
Ertrag mit tiefen Tarifen	tief-mittel	hoch	tief	tief-hoch	tief
Ertrag mit hohen Tarifen	hoch	hoch	tief	hoch	hoch

In Tabelle 28 sind die Szenarien A bis E mit den zugeordneten Kennzeichnungen der einzelnen Kosten- bzw. Ertragsanteilen zusammengestellt.

					0.40	Cranario A. "Bravia"	"Drawie"		Sammerico E	A. "RAinin	mine / Washing		Cronsvio	P. "RASS	minim /h/limin	" contra	Cronsei	05" -U	"annario D. "20 % Ctoingrand"		Tourse F	"CE 0/ C+	oigennag
Alteria	Linfor	Abrohman	Transmost	V consideration	T bearing A	Harron A.	Fraxis	ì	olibinated in	WILLIAM A	Szenario B. Minimum/Maximum		or mercand	THE STATE OF	Szenario C. Maximum/Immum		- Parish	4 mod 4	Ĭ_	9117	Szendilot. 03 % Stelgerung	20 00 00	≝_
Akteul		betrieb	Abileilliei- Italisporte vergatung betrieb	Sin is	Aurwand Eruag Aurwand	72 21	zu Ertrag	00 00	Aurwand Enriag Aurwand	2	zu Ertrag	09 oN	Aurwand Ertrag Aurwand	8 5 5	zu Ertrag	No Go	Aurwand Errrag Aurwand	17 ge 11 1	Z	0 Go	Aurwand Ertrag Aurwand	ag Aurwand zu Ertrag	trag No G
					Fr./t F	Fr./t Fr	Fr./t	? Fr	Fr./t F	Fr./t F	Fr./t	j j	Fr./t	Fr./t	Fr./t	? Fr.	Fr./t F	Fr./t Fi		? Fr./t	Fr./t		ć
			Landw.	Varganna 1	39	43	4		23	68	45		43	43	0		40	26	16			7.1	59
Varianto 1	20	10/10/	Gewerbe	vergarding t	45	43	-5		27	68	41		47	43	-4		46	56	10		48	71	23
٨٩١١٩١٢	020	E C	Landw.	Vorgania 2	62	68	9		50	68	18		93	43	-50		78	88	10			112	20
			Gewerbe	vergarung z	68	68	0		54	68	14		97	43	-54		84	88	4			112	14
			Landw.	Vorestina 1	41	43	2		24	89	44		47	43	4		42	72	30			7.1	27
C chairman			Gewerbe	vergarung 1	47	43	4-		28	68	40		51	43	89		48	72	24			71	21
variante z	lokal	regional	Landw.	Vorgania 2	64	89	4		51	89	17		97	43	-54		80	88	8		94 1	112	18
			Gewerbe	v =1 gal uli g 2	70	68	-5		55	68	13		101	43	-58		98	88	2			112	12
			Landw.	Vorgenna 1	25	19	9		28	99	40		58	43	-15		26	72	16		58	71	13
Vorionto 3	lokol	über-	Gewerbe	vergarung 1	61	61	0		32	68	36		62	43	-19		62	88	26			7.1	7
vallality v		regional	Landw.	Vorgania 3	78	89	-10		55	89	13		108	43	-65		94	88	9-		108 1	112	4
			Gewerbe	vergarung 2	84	68	-16		59	68	6		112	43	-69		100	88	-12		114 1	112	-2
			Landw.	Voresting 1	43	55	12		25	68	43		47	43	4-		44	99	12			7.1	25
V. carioneto			Gewerbe	vergarung 1	48	55	7		31	99	37		54	43	-11		49	72	23		5.1	7.1	20
Valiante 4 legiona	280	E CON	Landw.	C Partagnac/A	99	89	2		52	89	16		26	43	-54		82	88	9		96 1	112	16
			Gewerbe	vergarding 4	7.1	68	÷-		58	68	10		104	43	-61		87	88	1			112	11
			Landw.	Vorgänne 1	45	48	c		26	68	42		51	43	8-		46	63	17			7.1	23
	logoipos		Gewerbe	r Simpsian	20	48	-5		32	68	36		58	43	-15		51	72	21			7.1	18
٨٩١١٩١٢	2010	- dg 0 a	Landw.	Vargining 2	68	68	0		23	68	15		101	43	-58		84	88	4			112	14
			Gewerbe	vergarding 4	73	68	-5		59	68	9		108	43	-65		89	88	-1			112	9
			Landw.	Vorgänng 1	59	19	2		30	99	38		62	43	-19		09	72	12			7.1	6
Works 6	longing	über-	Gewerbe	vergalung 1	64	19	ņ		36	68	32		69	43	-26		9	79	14		29	71	4
٨٩١١٩١	2000	regional	Landw.	Vorgering 2	82	68	-14		57	68	11		112	43	69-		98	88	-10		112 1	112	0
			Gewerbe	v <1 gal uli g 4	87	68	-19		63	99	5		119	43	-76		103	88	-15		117 1	112	-5
			Landw.	Vargining 1	26	55	-1		29	68	39		99	43	-25		57	26	-1			71	12
Varianta 7	über-	leyel	Gewerbe	, eigaiang +	51	22	4		37	68	31		7.1	43	-28		52	72	20		54	7.1	17
٨٩١١٩١٢٩	regional	540	Landw.	Vorgana 3	79	68	-11		26	68	12		118	43	-75		95	88	-7			112	m
			Gewerbe	vergarung z	74	68	9-		64	68	4		121	43	-78		90	88	-5		104 1	112	8
			Landw.	Variation 1	58	55	Υ		30	68	38		72	43	-29		59	72	13			7.1	10
V/00100400	über-		Gewerbe	م دا هوا طاق	53	55	2		38	68	30		75	43	-32		54	72	18		26	7.1	15
٨٩١١٩١	regional	- rgioila	Landw.	Varganna	81	68	-13		57	99	11		122	43	-79		97	88	6-		111 1	112	1
			Gewerbe	vergarding 4	20	89	8-		99	99	3		125	43	-82		92	88	-4		106 1	112	9
			Landw.	Vargining 1		22	-17		34	99	34		83	43	-40		73	72	-5		75	71	4-
Variante 9	über-	über-	Gewerbe	+ 8	29	55	-12		42	89	26		86	43	-43		68	88	20			7.1	1
	regional	regional	_	Vergärung 2	95	89	-27		61	99	7		133	43	-90		111	88	-23			112	-13
			Controrbo	10		00	0	J		_													

In der Tabelle 28 sind die Szenarien A bis E erwähnt. Farblich sind die Entscheide markiert, wobei grün als Go, rot als No Go und gelb als indifferent bezeichnet sind.

Es wurden folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

Szenario A: "Praxis"

Entspricht im Grossen und Ganzen der momentanen Situation mit Kosten für die Separierung und Transporte im mittleren Bereich. Die Kosten der Ausbringung liegen im Mittelbereich, ausser bei der überregionalen Ebene mit hohen Werten. Varianten 1 und 2 sind sogar mit einem tiefen Ertrag (Fr. 43.-/t) knapp kostendeckend bis gewinnbringend umsetzbar. Bei den restlichen Varianten sind höhere Erträge notwendig. Bei allen Varianten mit Vollkosten müssen die höchsten Erträge unterstellt werden, damit auf lokaler und teilweise regionaler Ebene ein kostendeckender Betrieb möglich sein kann. Werden Feststoffe überregional transportiert oder ausgebracht, ist kein wirtschaftlicher Betrieb erzielbar.

Szenario B: "Minimum/Maximum"

Extremszenario mit tiefen Kosten und maximal erzielbaren Erträgen. Einzig bei den gewerblichen Transporten wurde mit bis zu mittleren Kosten gerechnet. Dieses Szenario weist durchweg gewinnbringende Varianten auf. Einzig bei überregionalem Transport und Ausbringung tritt ein Verlust auf.

Szenario C: "Maximum/Minimum"

Extremszenario mit hohen Kosten und minimal erzielbaren Erträgen. Einzig bei der Separierung wurde mit mittleren Kosten gerechnet. Unter diesen Annahmen ist nur bei Variante 1 mit variablen Kosten der Vergärung von einem knapp kostendeckenden Betrieb auszugehen.

Szenario D: "30 % Steigerung"

Es wurde eine Leistungssteigerung der Vergärung von 30 % unterstellt. Dies könnte nach bisherigen Erkenntnissen (LEVER 2016) in der Praxis umgesetzt werden. Die Kosten der Separierung, der Transporte als auch der Ausbringung sind mit dem Szenario A "Praxis" identisch. Die Kosten für die Vergärung sind hoch berechnet. Die Erträge sind im Fall variabler Kosten dem jeweiligen Aufwand entsprechend zugeordnet worden und liegen deswegen zwischen tief bis hoch. Deshalb ist ein direkter Vergleich mit anderen Szenarien nicht möglich. Unter Einrechnung der Vollkosten sind hohe Erträge unterstellt worden. In Varianten mit überregionaler Ebene ist damit kein kostendeckender Betrieb zu realisieren.

Szenario E: "65 % Steigerung"

Die Leistungssteigerung mit 65 % stellt ein Blick in die Zukunft dar. Zur Kalkulation sind wiederum dieselben Bereitstellungskosten angenommen worden, wie für Szenario A und D. Die Kosten für die Vergärung sind hoch berechnet. Erträge aus der Vergärung der Feststoffe sind im Fall variabler Vergärungskosten tief und bei Vollkosten hoch berechnet.

Fazit:

- Unter aktuellen Rahmenbedingungen k\u00f6nnen Feststoffe auf lokaler und regionaler Ebene wirtschaftlich auf Landwirtschaftlichen Biogasanlagen mitvergoren werden
- Im überregionalen Bereich sind nur wenige Varianten wirtschaftlich
- Eine Leistungssteigerung ab 30 % verbessert die Wirtschaftlichkeit auch bei Anrechnung höherer Kosten der Vergärung (Vollkosten). Eine Leistungssteigerung ermöglicht den Neubau von Biogasanlagen, die hauptsächlich Feststoffe vergären

8. Folgerungen und Ausblick

Aus den vorgegangenen Arbeiten können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Feststoffe liefern rund viermal mehr Energie als Gülle. Ihre Bereitstellung erfolgt durch Separieren, ein in der Landwirtschaft bekanntes und akzeptiertes Verfahren
- Aus raumplanerischer und energetischer Sicht ist eine weitere Transportdistanz als bei Gülle zulässig
- Der Transport kann problemlos über am Markt verfügbare Fahrzeuge erledigt werden. Das Material kann lokal und ggf. regional mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen transportiert werden. Überregional ist der Einsatz von Lastwagen, sowohl energetisch als auch ökonomisch, sinnvoller
- Energetisch wird für das Separieren, das Be- und Entladen sowie den Transport ein kleiner Anteil (rund 7%) der in den Feststoffen enthaltenen Nutzenergie verwendet. Für die Vergärung wird hingegen, wie auch bei der Rohgülle, ein beachtlicher Teil der Nutzenergie in Form von Wärme verbraucht. Die Energiebilanz bleibt jedoch bei allen Annahmen positiv
- Gewerbliche Biogasanlagenbetreiber sind nur in Ausnahmefällen an Feststoffen interessiert, da ihr Geschäftsmodell i.d.R. auf Entsorgungsgebühren basiert
- Bei bestehenden landwirtschaftlichen BGA kann Gülle durch Feststoffe substituiert werden. Der maximale Anteil an der FS wird durch die Pump- bzw. Rührfähigkeit limitiert
- Bei der Substitution von Rohgülle auf bestehenden Anlagen ist die Berechnung der Wirtschaftlichkeit mit variablen Kosten der Vergärung zulässig. Unter dieser Annahme sind alle Anlagengrössen (gross, mittel, klein) auf allen Implementierungsebenen wirtschaftlicher, als der Betrieb mit Rohgülle
- Alle berechneten Varianten (siehe Entscheidungsmatrix) sind auf Berechnungsgrundlage der variablen Kosten für die Feststoffvergärung knapp kostendeckend bis gewinnbringend
- Legt man eine Vollkostenrechnung zu Grunde, kommt keine BGA in die Gewinnzone
- Die Akzeptanz des Konzeptes RAUS-REIN wurde generell von allen Akteuren (Behörden, Lieferbetriebe, BGA-Betreiber, Logistiker) neutral bis positiv aufgenommen. Mehrere Anlagenbetreiber zeigen Interesse, Feststoffe auf ihrer Anlage einzusetzen. Anlagenbetreiber, die vor allem auf Entsorgungsgebühren oder auf hohe Gaserträge aus den Co-Substraten setzen, sind weniger interessiert
- Auch bei den auf den ersten Blick unwirtschaftlichen Varianten sind unter günstigen Bedingungen, wie beispielsweise kostenoptimierte Bereitstellung, trotzdem Gewinne erzielbar.
 Der Neubau von reinen Feststoffanlagen ist nur mit einer entsprechenden Leistungssteigerung wirtschaftlich interessant
- Aufgrund der momentanen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen kann ohne Steigerung der Effizienz oder ohne spezielle Förderungsmassnahmen nur ein beschränkter Anteil des Hofdüngerpotentials erschlossen werden

Abbildung 9 zeigt die Machbarkeit des Konzeptes "RAUS – REIN" unter Berücksichtigung der Implementierungsebenen lokal, regional und überregional.

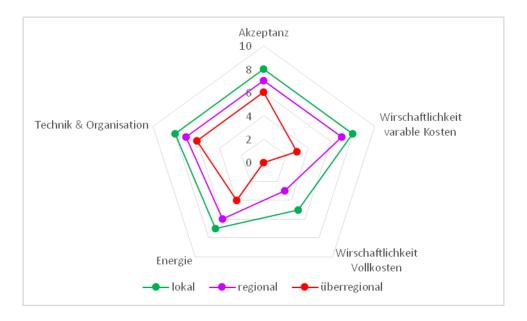


Abbildung 9: Netzdiagramm zur Machbarkeit des Konzeptes "RAUS - REIN"

Die Skala reicht von Null bis 10, wobei 10 als der maximal erreichbare Wert gilt.

Aufgrund von Gesprächen und Befragungen konnte der Akzeptanz Werte von 8 auf lokaler bis 6 auf überregionaler Ebene zugeordnet werden.

Die Wirtschaftlichkeit unter Anrechnung der variablen Kosten bei der Vergärung liegt ebenfalls bei 8 bzw. 7 für die lokale bzw. regionale Ebene. Kritisch mit dem Wert drei muss die überregionale Ebene beurteilt werden, weil nur unter günstigen Bedingungen eine Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

Bei Vollkosten der Vergärung sind maximale Erträge aus der Vergärung der Feststoffe notwendig, was zu einer sehr vorsichtigen Beurteilung führt. Die Werte liegen zwischen 5 für die lokale, drei für die regionale und Null für die überregionale Ebene. Derzeit kann nur in Ausnahmefällen, bei tiefen Bereitstellungskosten und hohen Gaserträgen, eine Machbarkeit in Frage kommen.

Aus Sicht der Energiebilanz sind alle Ebenen positiv. Überregional kann der Anteil am Energieaufwand zur Bereitstellung der Feststoffe bis zur Hälfte der Energie aus der Vergärung ansteigen, weshalb ein Wert von vier zugeteilt wurde. Bei der lokalen und regionalen Ebene spielen, im Gegensatz zur Vergärung, die Separierung und die Transporte eine geringe Rolle. Daher wurden sie mit 7 (lokal) bzw. 6 (regional) bewertet.

Der Aspekt der Technik bis hin zur Vergärung ist problemlos. Bei der Vergärung fehlen konkrete Erfahrungen aus der Praxis zur Vergärung von Feststoffen. Fragen der Beschickung bzw. des kritischen TS-Gehaltes bei der Substratmischung sind zu klären. Die Anforderungen an die Organisation steigen mit der Implementierungsebene von lokal bis zu überregional an. Für die Organisation sind entsprechende Lösungen zu finden, die effiziente Arbeitsabläufe garantieren. Aus den genannten Gründen wird der lokalen Ebene ein Wert von 8 zugewiesen, der regionalen und überregionalen Ebene der Wert 7 bzw. 6.

Empfehlung:

- Die Voraussetzung für die Machbarkeit ist auf lokaler und regionaler Implementierungsebene erreichbar
- Noch offene Fragen können auf einer Praxisanlage geklärt werden
- Bei zwei Anlagenbetreibern ist eine Umsetzung als Pilot zu prüfen

9. Literatur

- [1] Oetli B., et al., Potentiale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz, im Auftrag des BfE, INFRAS, 2004
- [2] LEVER Leistungssteigerung der Vergärung von Rindergülle zu Biogas durch innovative Vorbehandlung und neuartige Reaktorsysteme ARGE LEVER, mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Energie (BFE), Schlussbericht, 2016
- [3] Nährstoffausgleich in und zwischen den Regionen Strategien für NRW, Transport und Export von Gülle Ökonomische Konsequenzen für den Betrieb, Präsentation , Landwirtschaftskammer Nordrheinwestfalen, Deutschland (keine Jahresangabe)
- [4] Maschinenkosten 2016, Christian Gazzarin, Ökonomie, AgroscopeTransfer Nr. 142, 52 S., 2016
- [5] Schmitz Cargobull the Trailer Company, Datenblatt Sattelauflieger, S.KI LIGHT Baustelle S.KI 24 SL 8.2 AK, Schmitz Cargobull AG, D- 48612 Horstmar
- [6] Agir LKW Flotte «Für jedes Gut das richtige Gefährt», Prospekt der Agir-Gruppe . Alte Obfelderstrasse 55 . 8910 Affoltern am Albis
- [7] Biomasse Suisse: Typische Kosten von Biogasanlagen in der Schweiz. Aktualisierung 2015 (unveröffentlicht), 2015
- [8] Edelmann W., Schleiss K., Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe, im Auftrag des BFE und BUWAL, 2001
- [9] FAT-Bericht Nr. 611, Transportleistung und –kosten, Edwin Stadler, Isidor Schiess, Helmut Ammann, Agroscope FAT Tänikon, 8 S., 2004
- [10] Energiebedarfs- und Emissionsvergleich von LKW und Bahn im Güterfernverkehr Aktualisierung 2011, Abschlussbericht, Michael Spielmann et al., PE INTERNATIONAL AG, D-70771 Leinfelden Echterdingen, Sept. 2011
- [11] Shell LKW-Studie, Fakten Trends und Perspektiven im Strassengüterverkehr bis 2030, Herausgeber: Shell Deutschland Oil Gmbh, 22284 Hamburg
- [12] KFZ-Anzeiger, Erstaunlich sparsam Test Volvo FH 500 Globetrotter XL, Stünings Medien GmbH, Krefeld; S. 8-10, 17/2010
- [13] Böttcher, Jörg (Hrsg.) (2013): Management von Biogas-Projekten Rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte, ISBN 978-3-642-20955-0, S. 291, Springer Gabler, Heikendorf (D)

10. Anhang



Abbildung A1: Links Rohgülle und rechts Dünngülle nach der Separierung von Rindergülle



Abbildung A2: Separierte Feststoffe



Abbildung A3: Mobile Siebpressschnecke für den überbetrieblichen Einsatz



Abbildung A4: Transportanhänger als 2-Achs-Seitenkipper

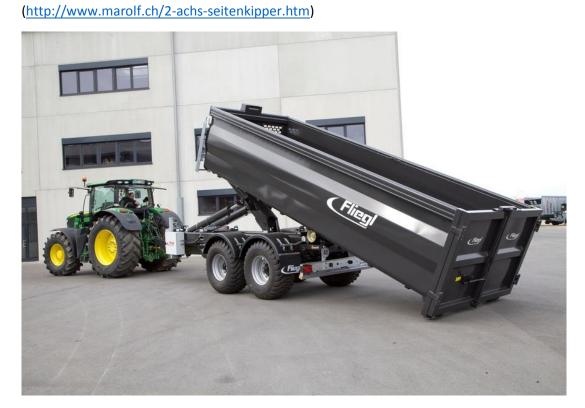


Abbildung A5: Traktorgezogenes Hakengerät mit befahrbarer Abrollmulde

(http://www.fliegl-baukom.de/hakenlift-abrollkipper/150/1190/312/)



Abbildung A6: 5-Achs-Kipper, 40 t

(http://www.peterfahrzeugbau.ch/media/Fahrzeug-Ablieferungen/2012/16618 62.jpg)



Abbildung A7: 5-Achs-Lastwagen mit Abrollmulde, 40 t

(http://www.utag.li/Produkte/Abrollkipper/Projekte/tabid/299/language/de-CH/Default.aspx)

Tabelle A 1: Typ A: Kleine landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten

Typ A: kleine landwirtschaftliche Biogasanlage		
Eckdaten		
Input	t FS/a	5'000
Biogasproduktion	m3	160'000
Durchschnittliche Biogasproduktion pro Tonne	m3/t FS	32
Äquivalente Leistung	kW	41
Installierte elektrische Leistung	kW	65
Installierte thermische Leistung	kW	85
Stromproduktion Brutto	kWh/a	308'000
Eigener Strombedarf	%	15
Stromproduktion Netto	kWh/a	261'800
Wärmeproduktion Brutto	kWh/a	422'400
Eigener Wärmebedarf	%	60
Wärmeproduktion Netto	kWh/a	168'960
Geschätzt extern genutzter Abwärme	%	20
Volllaststuden	h/a	4'750
Teillaststunden	h/a	7'500
Substratmengen in Tonnen Frischmasse pro Jahr	t/a [FS]	
Hofdünger	4'500	
Gülle - Rind	3'960	
Mist - Rind	540	
Landur Abfallavadulta	500	
Landw. Abfallprodukte Gemüseabfälle (verdorbenes Gemüse, Rüstabfälle)	500	
Co-Substrate	0	
keine	0	
Gesamtsubstratmenge Input Biogasanlage	5'000	
desantsubstratmenge input biogasamage	3 000	
Investitionstkosten		
Investitionskosten	Fr /a	1'100'000
Investionshosen	11./4	1 100 000
% Anteil an Gesamtinvestitionskosten		
Bauliche Teilen	%	40
Technischen Teilen	%	30
MSR Teilen	%	10
BHKW	%	15
Sonstiges	%	5
Detrickalvactor		
Betriebskosten Personalkosten	Fr./a	35'820
Energiekosten	Fr./a	2'950
Kosten Biomasse Input	Fr./a	3'000
Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten /	F1./a	3 000
Maschinenkosten Teleskoplader /		32'250
Vollwartungsvertrg BHKW	Er /a	32 230
Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut	Fr./a Fr./a	21'000
Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle		21 000
QS, Kontrollen, Analysen	Fr./a Fr./a	2'265
Versicherungen	Fr./a	3'300
Sonstige Kosten	Fr./a	2'650
Rückstellungen für Rückbau	Fr./a	1'650
Total	Fr./a	104'885
1 0001	r1./d	104 003
Erträge	·	
Ertrag Entsorgungsgebühren	Fr./a	0
Ertrag Wärmeverkauf	1	3675
Ertrag Verkauf Düngerprodukt	Fr./a	1440
Total	Fr./a	5'115

Tabelle A 2: Typ B: Mittlere landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten

Typ B: mittlere landwirtschaftliche Biogasanlage mit C	o-Substi	raten
Eckdaten	1	
Input	t FS/a	7'360
Biogasproduktion	m3	430'000
Durchschnittliche Biogasproduktion pro Tonne	m3/t FS	54
Äquivalente Leistung	kW	121
Installierte elektrische Leistung	kW	140
Installierte thermische Leistung	kW	165
Stromproduktion Brutto Eigener Strombedarf	kWh/a	906'870 12
Stromproduktion Netto	kWh/a	798'046
Wärmeproduktion Brutto		1'029'420
Eigener Wärmebedarf	KW11/a	38
Wärmeproduktion Netto	kWh/a	638'240
Geschätzt extern genutzter Abwärme	% KWII/ a	20
Volllaststuden	h/a	6'480
Teillaststunden	h/a	7'500
Teliasistunuen	11/ a	7 300
Substratmengen in Tonnen Frischmasse pro Jahr	t/a [FS]	
Hofdünger	5'760	
Gülle - Rind	3'520	
Gülle- Schwein	2'240	
Landw. Abfallprodukte	0	
keine	0	
Co-Substrate	1'600	
Grüngut, Grünschnitt aus Siedlungsgebiet	160	
Gemüseabfälle	800	
Getreideabgang	240	
Kaffeesatz	160	
Glycerin	160	
Milchzentrifugat	80	
Gesamtsubstratmenge Input Biogasanlage	7'360	
Investitionstkosten		
Investitionskosten	Fr /a	2'200'000
Investionskosten	11./4	2 200 000
% Anteil an Gesamtinvestitionskosten		
Bauliche Teilen	%	42
Technischen Teilen	%	28
MSR Teilen	%	10
BHKW	%	15
Sonstiges	%	5
Betriebskosten		
Personalkosten	/	48'925
	Fr./a	
Energiekosten	Fr./a Fr./a	2'615
Kosten Biomasse Input	· · · · · · · ·	
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten /	Fr./a Fr./a	98'000
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW	Fr./a	98'000 97'975
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540 3'300
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540 3'300
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540 3'300
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge	Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540 3'300 306'165
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge Ertrag Entsorgungsgebühren	Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540 3'300 306'165
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge Ertrag Entsorgungsgebühren Ertrag Wärmeverkauf	Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540 3'300 306'165 50'370 12'510
Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge Ertrag Entsorgungsgebühren	Fr./a	98'000 97'975 34'180 0 2'160 5'470 13'540 3'300 306'165 50'370 12'510 3'970

 Tabelle A 3: Typ C: Grosse landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten

Typ C: grosse landwirtschaftliche Biogasanlage m	it Co-Subs	traten
Eckdaten	nt Co Subs	traten
Input	t FS/a	12'000
Biogasproduktion	m3	720'000
Durchschnittliche Biogasproduktion pro Tonne	m3/t FS	60
Äquivalente Leistung	kW	
Installierte elektrische Leistung	kW	200
Installierte thermische Leistung	kW	212
Stromproduktion Brutto		1'559'520
Eigener Strombedarf	%	11
Stromproduktion Netto		1'387'973
Wärmeproduktion Brutto		1'641'600
Eigener Wärmebedarf	%	34
Wärmeproduktion Netto		1'083'456
Geschätzt extern genutzter Abwärme	%	20
Volllaststuden	h/a	7'800
Teillaststunden	h/a	7'800
Substratmengen in Tonnen Frischmasse pro Jahr	t/a [FS]	
Hofdünger	9'600	
Gülle - Rind	5'280	
Gülle - Schwein	3'552	
Mist - Rind	768	
Landw. Abfallprodukte	500	
keine	0	
Co-Substrate	2'400	
Gemüseabfälle	960	
Getreideabgang	288	
Kaffeesatz	288	
Glycerin	240	
Rückstände aus Fettabscheidern (pflanzlich)	264	
Milchzentrifugat	360	
Gesamtsubstratmenge Input Biogasanlage	12'000	
Investitionstkosten		
Investitionskosten	Fr./a	210001000
		2.990.000
	,	2'990'000
% Anteil an Gesamtinvestitionskosten	1 0/1	
Bauliche Teilen	%	42
Bauliche Teilen Technischen Teilen	%	42 33
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen	% %	42 33 10
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW	% % %	42 33 10 10
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen	% %	42 33 10
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW	% % %	42 33 10 10
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges	% % %	42 33 10 10
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten	% % % %	42 33 10 10 5
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten	% % % % Fr./a	42 33 10 10 5 81'845
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten	% % % % Fr./a Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input	% % % % Fr./a Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW	% % % % % % % % % % % % % % % % % % %	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut	% % % % % % % % % % % % % % % % % % %	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle	% % % % % % % % % % % % % % % % % % %	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen	% % % % % % % % % % % % % % % % % % %	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle	% % % % % % % % % % % % % % % % % % %	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten	% % % % % % % % % % % % % % % % % % %	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen	% % % % Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570 5'880
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten	% % % % % Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570 5'880 19'160
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total	% % % % % Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570 5'880 19'160 4'485
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge	% % % % % % Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570 5'880 19'160 4'485 335'863
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge Ertrag Entsorgungsgebühren	% % % % % % Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570 5'880 19'160 4'485 335'863
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge Ertrag Entsorgungsgebühren Ertrag Wärmeverkauf	% % % % % % Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570 5'880 19'160 4'485 335'863
Bauliche Teilen Technischen Teilen MSR Teilen BHKW Sonstiges Betriebskosten Personalkosten Energiekosten Kosten Biomasse Input Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrg BHKW Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle QS, Kontrollen, Analysen Versicherungen Sonstige Kosten Rückstellungen für Rückbau Total Erträge Ertrag Entsorgungsgebühren	% % % % % % Fr./a	42 33 10 10 5 81'845 7'760 44'020 105'553 61'865 725 4'570 5'880 19'160 4'485 335'863

Tabelle A4:Berechnung Energieerträge - hohe KEV-Vergütung

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Energiegehalt Methan	9.97	9.97	9.97	kWh/m³ Methan
Bruttoenergie	306.5	389.3	429.2	kWh/a (Bruttoenergie)
el. Wirkungsgrad	38%	38%	38%	elektr. Wirkungsgrad
Bruttostrom	116.5	147.9	163.1	kWh/a (Stromproduktion)
Verluste	1%	1%	1%	Transformationsverluste
Eigenstrombedarf	10%	10%	10%	Eigenstrombedarf
Nettostrom	103.6	131.6	145.1	kWh/a (Netto-Stromproduktion)
Einspeisepreis Strom	0.45	0.45	0.45	Fr./kWh (Verkaufspreis Strom)
Stromerlös Netto	46.6	59.2	65.3	Fr. /t Feststoff

Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
therm. Wirkungsgrad	40%	40%	40%	therm Wirkungsgrad
Bruttowärme	122.6	155.7	171.7	kWh/a (Wärmeproduktion)
Eigenwärmebedarf BGA	40%	40%	40%	in %
Nettowärme	73.6	93.4	103.0	kWh/a (Wärmeproduktion)
genutzte Wärme	50%	50%	50%	in %
genutzte Nettowärme	36.8	46.7	51.5	kWh/a (Wärmeproduktion)
Wärmepreis	0.05	0.05	0.05	Fr./kWh (Verkaufspreis Wärme)
Wärmeerlös Netto	1.8	2.3	2.6	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	48.5	61.6	67.9	Fr. /t Erlös je t Feststoff

Tabelle A5:Berechnung Energieerträge - niedrige KEV-Vergütung

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Energiegehalt Methan	9.97	9.97	9.97	kWh/m³ Methan
Bruttoenergie	306.5	389.3	429.2	kWh/a (Bruttoenergie)
el. Wirkungsgrad	38%	38%	38%	elektr. Wirkungsgrad
Bruttostrom	116.5	147.9	163.1	kWh/a (Stromproduktion)
Verluste	1%	1%	1%	Transformationsverluste
Eigenstrombedarf	10%	10%	10%	Eigenstrombedarf
Nettostrom	103.6	131.6	145.1	kWh/a (Netto-Stromproduktion)
Einspeisepreis Strom	0.40	0.40	0.40	Fr./kWh (Verkaufspreis Strom)
Stromerlös Netto	41.5	52.7	58.1	Fr. /t Feststoff

Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
therm. Wirkungsgrad	40%	40%	40%	therm Wirkungsgrad
Bruttowärme	122.6	155.7	171.7	kWh/a (Wärmeproduktion)
Eigenwärmebedarf BGA	40%	40%	40%	in %
Nettowärme	73.6	93.4	103.0	kWh/a (Wärmeproduktion)
genutzte Wärme	50%	50%	50%	in %
genutzte Nettowärme	36.8	46.7	51.5	kWh/a (Wärmeproduktion)
Wärmepreis	0.05	0.05	0.05	Fr./kWh (Verkaufspreis Wärme)
Wärmeerlös Netto	1.8	2.3	2.6	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	43.3	55.0	60.6	Fr. /t Erlös je t Feststoff

Anhang: Herleitung des Eigenwärmebedarfs

Der Eigenwärmebedarf von Biogasanlagen basiert auf der Arbeit von Biomasse Suisse "Typische Kosten von Biogasanlagen in der Schweiz" von 2015. Diese Zahlen für die Modellanlagen wurden überschlagsmässig berechnet und sind demnach als Grössenordnungen zu verstehen (siehe Tabelle A6). Des Weiteren ist zu beachten, dass sich die Gülleanteile im Substratmix wesentlich voneinander unterscheiden.

Tabelle A6: Mittlerer Eigenwärmeverbrauch typischer Schweizer Biogasanlagen in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung [7]

Anlagenleistung [kW _{el.}]	Mittlerer Eigenwärmebedarf [%]
65	60
85 - 100	63
125 - 140	38
150 - 180	30
200 - 220	34
250 - 270	28

Vergleicht man diese Richtwerte mit den Ergebnissen einer Grosserhebung des Deutschen Biomasse-Forschungszentrum auf über 200 Biogasanlagen in Deutschland, zeigt sich ein vergleichbares Bild (s. Tabelle A7).

Tabelle A7: Mittlerer Eigenwärmebedarf auf Biogasanlagen in Deutschland [13]

Anlagenleistung [kWel.]	Mittlerer Eigen- wärmebedarf [%]	Standardabweichung	berücksichtigte Rückmeldungen (Anzahl)
≤ 70	49	19	15
71 - 150	45	15.9	21
151 - 500	26	16.2	119
501 - 1'000	23	13.3	55
> 1'000	14	7.9	18
Gesamt	27	17.3	228

Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, dass der Eigenwärmeverbrauch von diversen Faktoren abhängt. Folgende grundlegende Einflussfaktoren sind dabei zu beachten:

- Je kleiner die Anlage, desto höher der %-Anteil an Eigenwärmeverbrauch
- Je grösser der Anteil an flüssigem Hofdünger (Gülle) am Gesamtsubstratmix, desto höher der %-Anteil an Eigenwärmeverbrauch
- Je nach klimatischen Bedingungen schwankt der Eigenwärmebedarf der Anlage
- Je nach baulicher, technischer und konzeptioneller Ausführung der Anlage unterscheidet sich der Eigenwärmebedarf deutlich
- Durch die steigende Energieproduktion reduziert sich der Eigenwärmebedarf

Bei der Abschätzung und Herleitung des Eigenwärmeverbrauchs der Modellanlagen im Anhang A1 – A3 müssen die oben genannten Sachverhalte mitberücksichtigt und die Werte aus Tabelle A8 nach unten korrigiert werden.

Tabelle A8: Mittlerer geschätzter Eigenwärmeverbrauch in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung

Anlagenleistung [kWel.]	Mittlerer Eigenwärmebe- darf [%]	Eigenwärmeverbrauch/t Feststoff [kWh/t]
65	50	82.1
140	40	65.7
200	30	49.2

Der abgeschätzte Eigenwärmebedarf pro Tonne eingesetztem Feststoff schwankt zwischen 49 und 82 kWh/t.