



Schlussbericht 1. Phase

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

Neuartiges Konzept zur Verbreiterung der Vergärung von Hofdünger in der Schweiz

1. Phase : Machbarkeit





MERITEC



Datum: 2. Dezember 2016

Ort: Bern

Auftraggeberin:

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

Ko-Finanzierung:

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
CH-3003 Bern
www.blw.admin.ch

Auftragnehmer/in:

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

Autor/in:

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-Bereichsleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501442-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



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 Annahmgebühren 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.



Summary

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-in-tariff. 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.



Vorwort zur ersten Projektphase

Herkömmliche Lösungsansätze bei der Vergärung basieren in der Praxis meist auf der Vergärung unbehandelter Hofdünger. Einen konzeptionell neuen Ansatz bietet die Idee, separierte Feststoffe aus unvergorener Rindergülle in bestehenden Biogasanlagen mit zu vergären. Die höhere Energiedichte separierter Feststoffe gegenüber Rohgülle sprechen für einen Einsatz bei der Gewinnung erneuerbarer Energie aus Hofdüngern. Durch eine vorgängige Separierung kann sowohl das Transportvolumen massgeblich reduziert, als auch die Energiedichte erhöht werden. Aufgrund dieser entscheidenden Vorteile gegenüber herkömmlichen Konzepten, kann das Hofdünger-Einzugsgebiet einer bestehenden Biogasanlage erweitert und so neue Potentiale in der Landwirtschaft erschlossen werden. Zudem können Substratengpässe leichter nivelliert werden.

Das Projekt „RAUS – REIN“: Feststoffe „RAUS“ aus der Gülle und „REIN“ in die Vergärung besteht aus zwei Phasen: die Machbarkeit des Konzeptes und die Planung und erste Realisierung.

Für die Unterstützung des Projekts bedanken wir uns herzlich bei Frau Sandra Hermle vom Bundesamt für Energie sowie Herrn Markus Lötscher und Herrn Mathias Kuhn vom Bundesamt für Landwirtschaft.



[leere Seite, damit Inhaltsverzeichnis/Kapitel 1 auf ungerader Seite]



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Summary	4
Vorwort zur ersten Projektphase	5
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Problemstellung und Lösungsansatz	10
2 Zielsetzung	10
3 Grundlagen.....	11
3.1 Feststoffcharakterisierung	11
3.2 Landwirtschaftliche Biogasanlagen	12
3.2.1 Prozesstechnische Charakterisierung	12
3.2.2 Eingesetzte Substrate	12
3.2.3 Theoretisches Potential im Raum Nord-Ostschweiz	13
3.2.4 Raumplanerische Rahmenbedingungen	14
3.3 Gewerbliche Biogasanlagen	16
3.4 Implementierungsebenen	17
3.5 Logistik.....	18
3.5.1 Allgemeines	18
3.5.2 Separierung	18
3.5.3 Transporte	20
4 Wirtschaftlichkeit.....	21
4.1 Logistikkosten	21
4.1.1 Separierung	21
4.1.2 Landwirtschaftliche Transporte.....	23
4.1.3 Gewerbliche Transporte	25
4.1.4 Ausbringung.....	27
4.2 Kosten der Vergärung	28
4.2.1 Landwirtschaftliche Biogasanlagen	28
4.2.2 Gewerblich-industrielle Biogasanlagen	31
4.3 Ertrag aus Strom und Wärme.....	32
4.4 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit.....	32
5 Energiebilanz	35
5.1 Separierung	35
5.2 Transporte	35
5.2.1 Landwirtschaftliche Transporte.....	35
5.2.2 Gewerbliche Transporte	36



5.3	Vergärung	37
5.4	Ausbringung.....	38
5.5	Zusammenfassung der Energiebilanz	38
6	Akzeptanz	40
6.1	Lieferbetriebe.....	40
6.2	Logistikunternehmen	40
6.3	Landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber	40
6.4	Gewerblich-industrielle Biogasanlagenbetreiber	41
6.5	Abnehmerbetriebe	42
6.6	Behörden	42
7	Gesamtbeurteilung.....	43
7.1	Beurteilung der Wirtschaftlichkeit	43
7.2	Beurteilung der Energiebilanz	45
7.3	Entscheidungsmatrix	46
8	Folgerungen und Ausblick	49
9	Referenzen	52
10	Anhang	53



Abkürzungsverzeichnis

BFE.....	Bundesamt für Energie
BGA.....	Biogasanlage
BLW.....	Bundesamt für Landwirtschaft
FM.....	Frischmasse
Fr.....	Franken
h.....	Stunden
IG.....	Interessengemeinschaft
kg.....	Kilogramm
kW.....	Kilowatt
kWh.....	Kilowattstunden
l.....	Liter
NH ₄	Ammonium
oTS.....	Organische Substanz (Glühverlust)
t.....	Tonne bzw. Tonnen
TS.....	Trockensubstanz, Rückstand nach Trocknung bei 105 °C während 24 h
TS-Abtrennung	Abtrennung oder Abscheidung der Trockensubstanz bei der Separierung oder Filtration, die in den Feststoffen enthalten ist (in %)



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 Substratengässe 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 (Ho) 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 in % d. TS	N _{tot} kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Brennwert (H _o) 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 Ho), 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
Energieinhalt nutzbar			
kWh/t	Minimum	Mittelwerte	Maximum
Rohgülle	201.7	235.5	315.0
Feststoffe	831.1	963.8	1104.7
Methanertrag			
m ³ /t	Minimum	Mittelwerte	Maximum
Rohgülle	8.2	10.4	13.2
Feststoffe	30.7	39.0	43.0
Energieertrag			
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 (Abbildung 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.

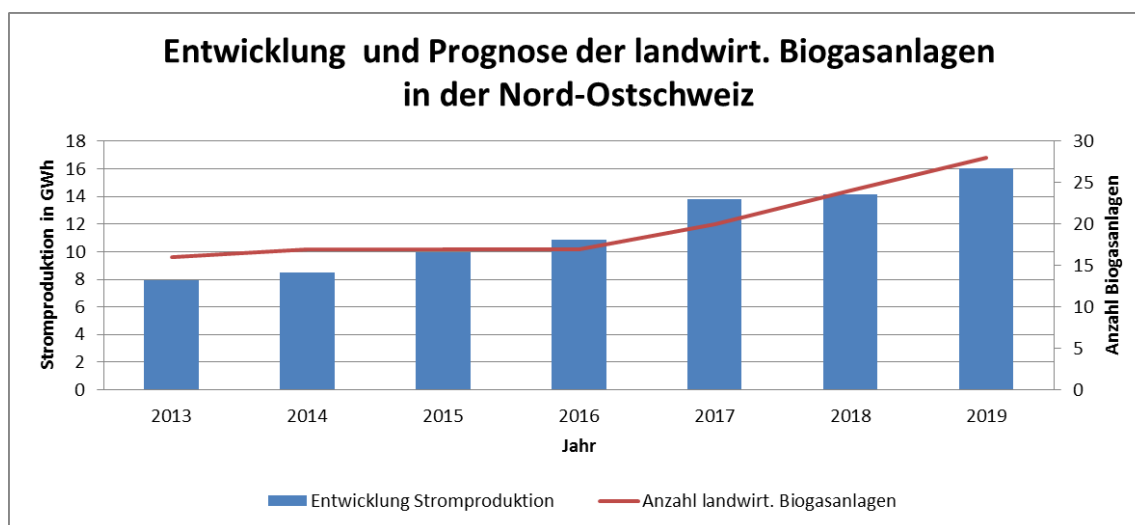


Abbildung 1: Entwicklung und Prognose der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Nord-Ostschweiz

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 Abbildung 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.

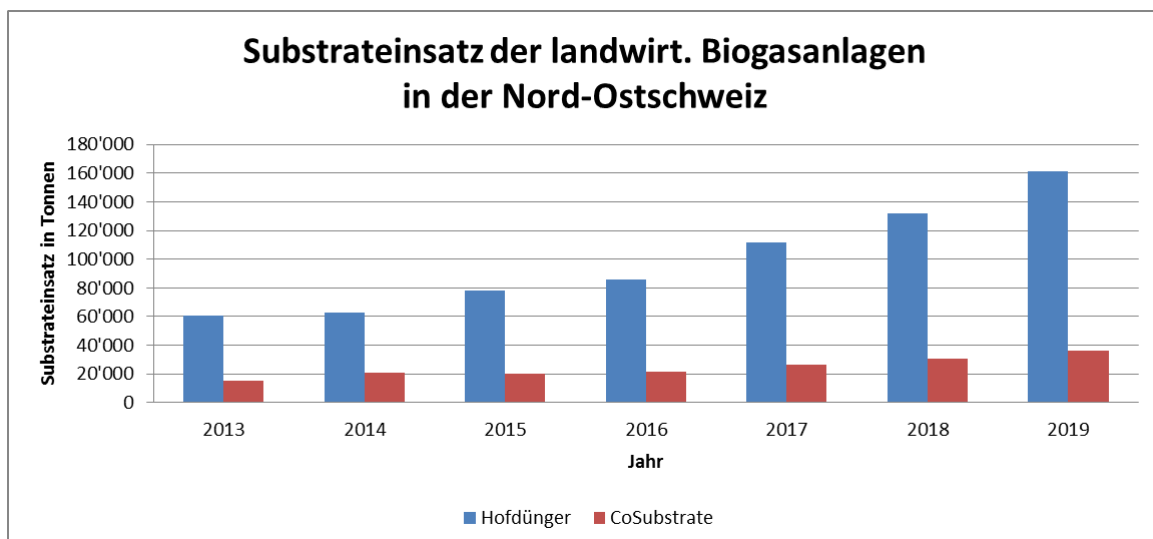


Abbildung 2: Substrateinsatz der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Nord-Ostschweiz

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 (Botschaft 2005, BBl 2005 I 7111). 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. [...]“ (ARE, Erläuterungen 2007 S. 3; Ruch, Kommentar RPG, Art. 16a, Rz. 38).

Die vorliegende Projektidee verspricht sowohl energetische (viermal höhere Nutzenergie gegenüber Rohgülle) als auch ökologische Vorteile (effizienterer Nährstoffeinsatz). Damit liessen sich Ausnahmegewilligungen 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.

Tabelle 3: Raumplanerische Rahmenbedingungen für den Biomasse-Transport

Biomasse-Anteil (bezogen auf FS)	Max. Fahrdistanz	Bedingungen und Restriktionen
erste 50 % Biomasseanteil	< 15km	<ul style="list-style-type: none">• Mind. 10 % des Energieinhalts der gesamthaft verarbeiteten Substrate• keine Ausnahmen in Bezug auf längere Transportdistanzen möglich
zweite 50 % Biomasseanteil	< 50km	<ul style="list-style-type: none">• „In der Regel“ sollten die max. 50 km Radius nicht überschritten werden• Ausnahmegewilligungen in Bezug auf längere Transportdistanzen möglich
	> 50km	<ul style="list-style-type: none">• Ausnahmegewilligung 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. Abbildung 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 Fahrtdistanz 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.

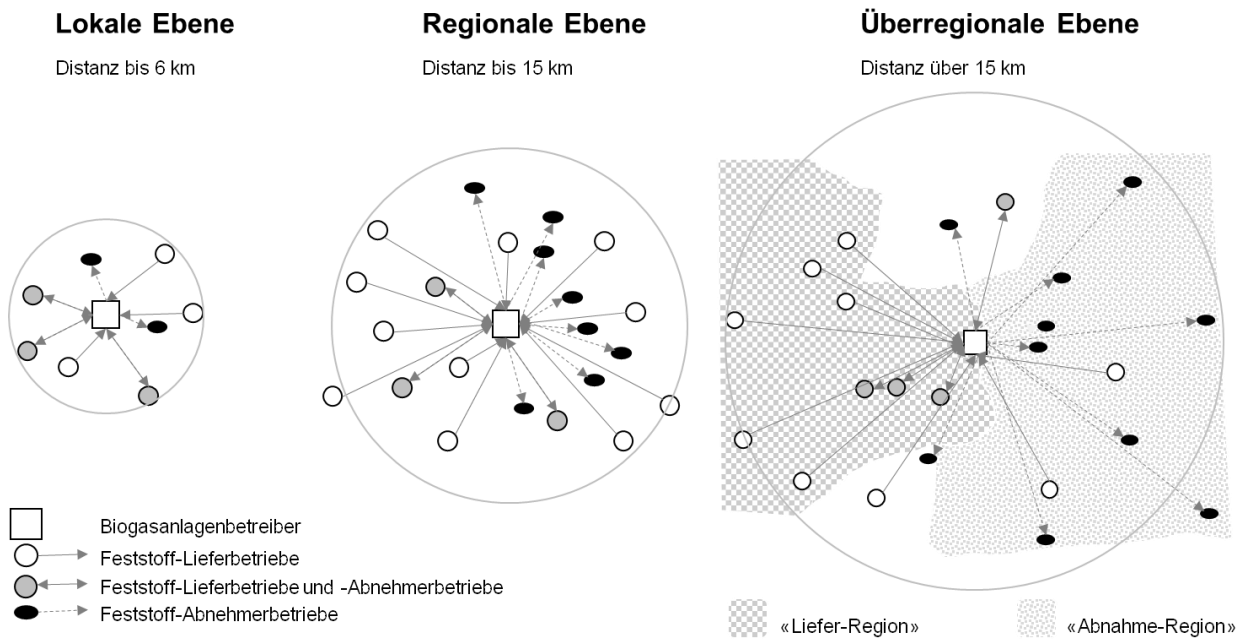


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der 3 Implementierungsebenen mit den entsprechenden Transportdistanzen.



3.5 Logistik

3.5.1 Allgemeines

Zur Bereitstellung von Feststoff für die Vergärung ist ein entsprechendes Logistikkonzept erforderlich (Abbildung 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.

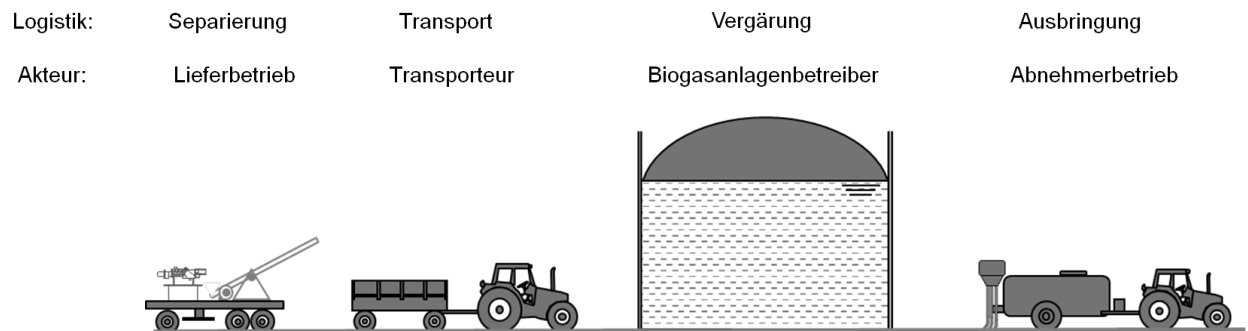


Abbildung 4: Vereinfachtes Schema des Logistikkonzepts von der Bereitstellung von Feststoffen über die Vergärung bis zur Ausbringung.

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 (Abbildung 5).

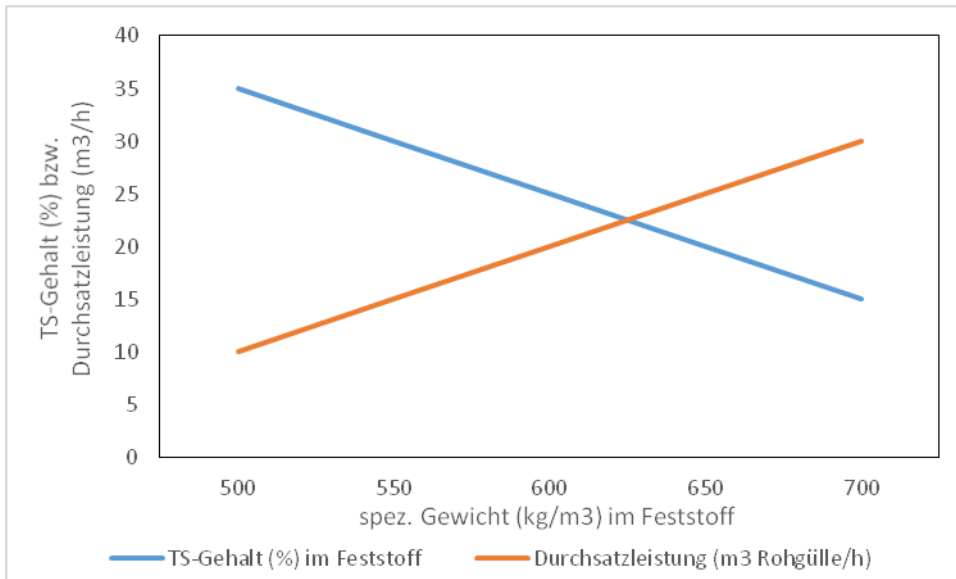


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen spezifischem Gewicht im Feststoff, dem TS-Gehalt im Feststoff und der Durchsatzleistung bei der Separierung von Rindergülle mit einer Siebpressschnecke. Die Abbildung basiert auf Erfahrungswerten verschiedener Praxisversuchen (eigene Erfahrungswerte).

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 kg	TS kg	oTS kg	N kg	P kg	K 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/m^3 , 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 Kippsattelaufleger, welche beide weit verbreitet sind, sowie der Lastwagen mit Hakengerät und 40 m^3 Abrollmulde. Alle Fahrzeuge weisen ein Gesamtgewicht von 40 t auf.



4 Wirtschaftlichkeit

4.1 Logistikkosten

4.1.1 Separierung

Tabelle 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 andererseits 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.)

Anbieter	Grundtarif (Installation, Inbetriebnahme) Fr.	Stundentarif Fr./h	Fahrkosten	Durchsatzleistung m ³ /h	Bemerkung
A	150.-* 250.- - 300.-	50.-	Fr. 1.50/km	20 - 25	*unter optimalen Bedingungen
B	200.-	50.-	ab 20 km Fr. 0.5/km	20	
C	35.-**	105.-	ab 10 km Fr. 1.80/km	30 - 80	**pro Grube
D	45.-	-	-	20	Landwirt für den Betrieb zuständig

In der Tabelle 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	Gülemenge	Grundtarif	Stundentarif	Gesamtkosten		
GVE	m ³ /a	Fr./a	Fr./a	Fr./a	Fr./m ³	Fr./t Feststoff
Durchsatzleistung 20 m ³ /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
Durchsatzleistung 30 m ³ /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 m ³ /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 Schleppschauchverteiler. Bei Betrieben mit Nährstoffübersversorgung 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 Strohkauf (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 Gülemenge geringer und damit die Nährstoffmenge kleiner, besteht ein geringerer Bedarf einer Separierung.

Fazit:

Die Kosten der Separierung werden beeinflusst durch:

- Jährliche Gülemenge 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

Tabelle 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	
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 m ³ 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. Abbildung 13 im Anhang, S.54). Die folgenden Varianten 2 bis 4 basieren auf einem Traktor mit 90 bis 104 kW und entsprechenden Transportgeräten mit zwei unterschiedlichen Hakengeräten (vgl. Abbildung 14 im Anhang, S. 55) 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)

Variante: Ein 15 t/Anhängen bzw. 15 t Feststoffe, 23 t Gesamtgewicht, 20 km/h							
Implementierungsebene	Transportdistanz	Fahrdistanz	Arbeit (inkl. Wartezeit)	Traktor	Trsp.-Anhängen	Gesamtkosten	spez. Gesamtkosten
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
Variante: Ein Hakengerät 22 t bzw. 22 t Feststoffe, 32 t Gesamtgewicht, 30 km/h							
Implementierungsebene	Transportdistanz	Fahrdistanz	Arbeit (inkl. Wartezeit)	Traktor	Hacken-gerät mit Container	Gesamtkosten	spez. Gesamtkosten
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: Ein Hakengerät Tridem, 33 t, 40 t Gesamtgewicht, 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
Variante: Zwei 15 t/Anhängen bzw. 28 t Feststoffe, 40 t Gesamtgewicht, 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 Frontlader tarife eingesetzt werden. Die Kosten liegen zwischen Fr. 1.15.-/t Feststoff für den Hoflader bzw. Fr. 0.60/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 (Tabelle 9 bzw. Tabelle 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 km	v km/h	Fahrzeit h	40 t Kipper		40 t Kipp-sattelzug		40 t Abrollmulde	
				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 Schleppschlauch	12 m Schleppschlauch + 12'000 l Fass (29 m ³ /h)	Fr./h	51
Ladezeit	Schleppschlauch + 12'000 l Fass	h/Ladung	0.08
Ausbringungszeit	Schleppschlauch + 12'000 l Fass (29 m ³ /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	Transportdistanz	Fahrdistanz	Arbeit für Fahrzeit (30 km/h)	Arbeit für Beladen und Ausbringung	Traktor 90 -104 kW	Fass mit Schleppschlauch	Gesamtkosten	spez. Gesamtkosten
	km	km	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr./m ³
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

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		
	tief	mittel	hoch
Variable Anlagenkosten			
Arbeitskosten	7.0	9.3	11.6
Maschinenkosten	1.7	2.2	2.8



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 (Tabelle 31 - Tabelle 33).

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 (65kW)	BGA mittel (140 kW)	BGA gross (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 (Tabelle 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 Biogasanlagen 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 wurde, 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 (65kW)	BGA mittel (140 kW)	BGA gross (200 kW)
Nettoerlös aus Feststoff	40.7	38.1	23.6

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 kWhel./t und einem mittleren Einspeisetarif von Rp.22/kWhel. 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 16: 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/kWh_{el}, Wärme Rp. 5/kWh_{th}.				
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/kWh_{el}, Wärme Rp. 5/kWh_{th}.				
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 16 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 17 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 17: Gegenüberstellung von Aufwand und Ertrag. Links nur mit den variablen Kosten bei der Vergärung und rechts mit den Vollkosten berechnet.

Bereitstellungskosten	Fr./t Feststoff		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 18 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 18: 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	nur lokale 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 (Tabelle 19). Dabei wird deutlich, dass ausgehend vom mittleren Energieertrag von 103 kWh/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 19: 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/kWh _{el.}
Stromerlös	15.7	Fr./t	bei Rp. 45/kWh _{el.}
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/kWh _{th.}
	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 (Tabelle 20) 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 20: 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 21. 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 21: Energiebedarf für das Aufladen der Feststoffe mit Hoflader bzw. Frontlader

Aufladen	Einheit	Hoflader	Frontlader
Typ	kW	44	49 - 66
Dieserverbrauch	kg/h	4.2	16.8
Dieserverbrauch	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 (Tabelle 22). 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 22: Energiebedarf für landwirtschaftliche Transporte inkl. Aufladen der Feststoffe

1. Variante Traktor 74 kW, Anhänger 2-achsig, Gesamt 23 t, Nutzlast 15.25 t; 30 km/h					inkl. Aufladen				
Ebene	Transport-	Diesel-		Energiebedarf		Hoflader 44 kW		Frontlader 49 - 66 kW	
Distanz	distanz	Fahrdistanz	verbrauch total	kWh/t Fest	MJ/t Fest	kWh/t Fest	MJ/t Fest	kWh/t Fest	MJ/t Fest
	km	km	g Diesel						
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 Traktor 74 kW, 3-Seitenkipper Tandem, Gesamt 26 t, Nutzlast 16.8 t; 30 km/h					inkl. Aufladen				
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 Traktor 100 kW, Hackengerät Tandem, Gesamt 27.2 t, Nutzlast 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 Traktor 100 kW, Hackengerät Tridem, Gesamt 39.2 t, Nutzlast 25.05 t; 30 km/h					inkl. Aufladen				
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. Aufladen				
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.21).

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 (Tabelle 23) 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 Durchschnittsgeschwindigkeit 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 Durchschnittsgeschwindigkeit 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 Traktorengespanssen nicht markant besser.

Tabelle 23: Energiebilanz gewerblicher Transporte

1. Variante Kipper 17m3 40t						inkl. Aufladen			
Ebene	Transport-	Fahrdistanz	Transport 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	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. Variante Kippsattelzug						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 Hakengerät/Mulde 40m3						inkl. Aufladen			
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 (Tabelle 24) liegt der Eigenstrom- und Wärmebedarf zwischen 15 und 17 kWh_{el}./t bzw. zwischen 49 bis 82 kWh_{th}./t.

Tabelle 24: Eigenstrom- und Wärmebedarf zur Vergärung von Feststoff

Anlagentyp	Eigenstrombedarf (kWh _{el} ./t)	Eigenwärmebedarf (kWh _{th} ./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. Tabelle 11) sind beim Energieaufwand zur Ausbringung der Gärreste nur flüssige Substrate angenommen worden (Tabelle 25).

Tabelle 25: Energiebedarf für das Ausbringen von Gärresten

Variante Traktor 90 - 104 kW, Schleppschlauchverteiler, 12000 l Fass					
Ebene	Transport-	Fahrdistanz	Transport total	Energiebedarf	Energiebedarf
Distanz	distanz	km	g Diesel	kWh/t Feststoff	MJ/t Feststoff
	km				
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 26 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 26: 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	Separierung		Transporte Landwirtschaft		Vergärung		Ausbringung		Gesamt	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit	kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff	
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	Separierung		Transporte Gewerbe		Vergärung		Ausbringung		Gesamt	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Einheit	kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff	
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 27 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 Ho) 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 27: Vergleich von Gesamtenergieaufwand und Nutzenergie sowie Energieinhalt im Feststoff

Logistik	Gesamt		Nutzenergie (Strom&Wärme)		Bilanz		Anteil an Nutzenergie		Energieinhalt Brennwert	
	kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		%		%	
Trsp Landw.	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	Gesamt		Nutzenergie (Strom&Wärme)		Bilanz		Anteil an Nutzenergie		Energieinhalt Brennwert	
	kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		kWh/t Feststoff		%		%	
Trsp Gewerbe	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 anteilmässig 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 Futtermverschmutzung, bessere Eignung der Dünggülle 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 Antrieb 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 könnten mittels Pilotbetrieb in der Praxis reduziert und die wesentlichen Vorteile der Feststoffvergärung 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 (Abbildung 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 Gas-mengen [2] multipliziert mit den KEV-Tarifen. Zusätzlich wurde der maximal mögliche Ertrag auf Basis des Brennwertes (H_o), der bei vollständiger biochemischer Umwandlung, abzüglich 12.5 % für die Zell-synthese, berechnet und gegenübergestellt. Damit kann die Ertragsobergrenze bzw. das Ertragspoten-tial aufgezeigt werden.

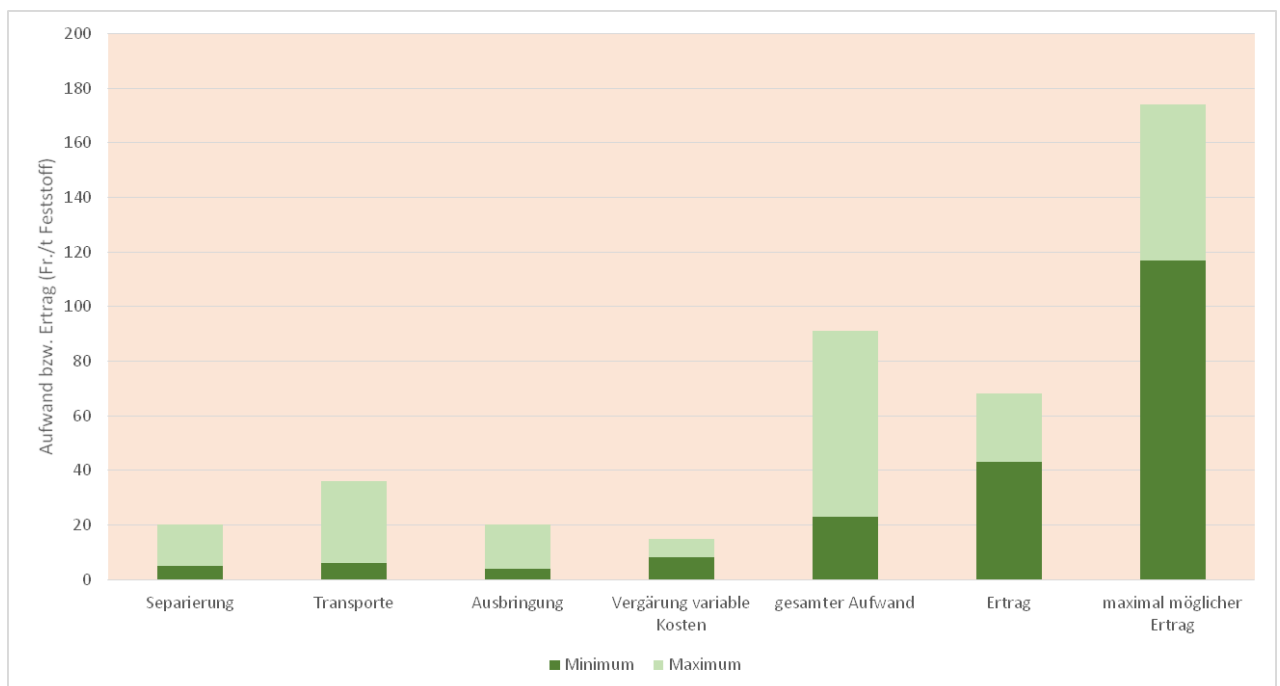


Abbildung 6: Kosten der Feststoffbereitstellung und –vergärung, nur variable Kosten für die Vergärung berechnet, im Vergleich mit dem Ertrag und dem maximal möglichen Ertrag.

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.

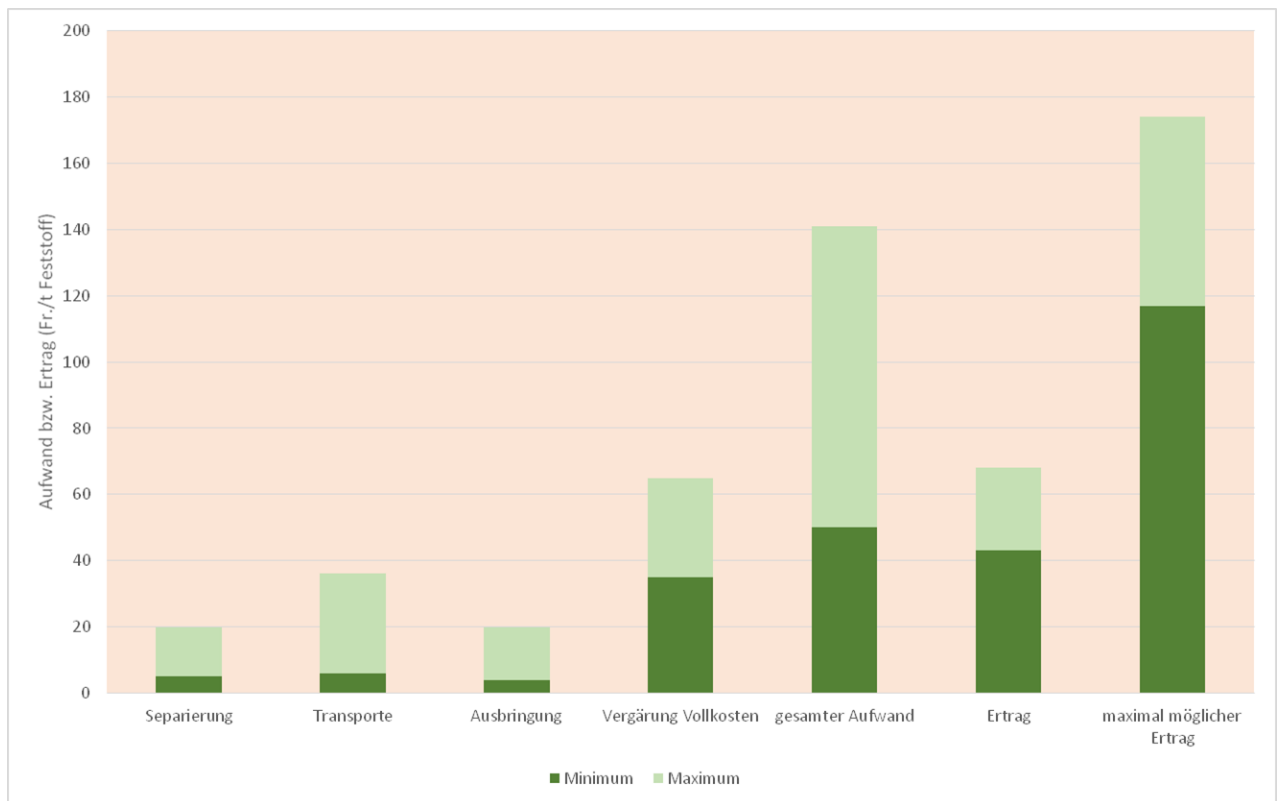


Abbildung 7: Kosten der Feststoffbereitstellung und –vergärung mit Vollkosten berechnet, im Vergleich mit dem Ertrag und dem maximal möglichen Ertrag.



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 Brennwertes (Ho), der bei vollständiger biochemischer Umwandlung, abzüglich 12.5 % für die Zellsynthese, realisiert werden könnte.

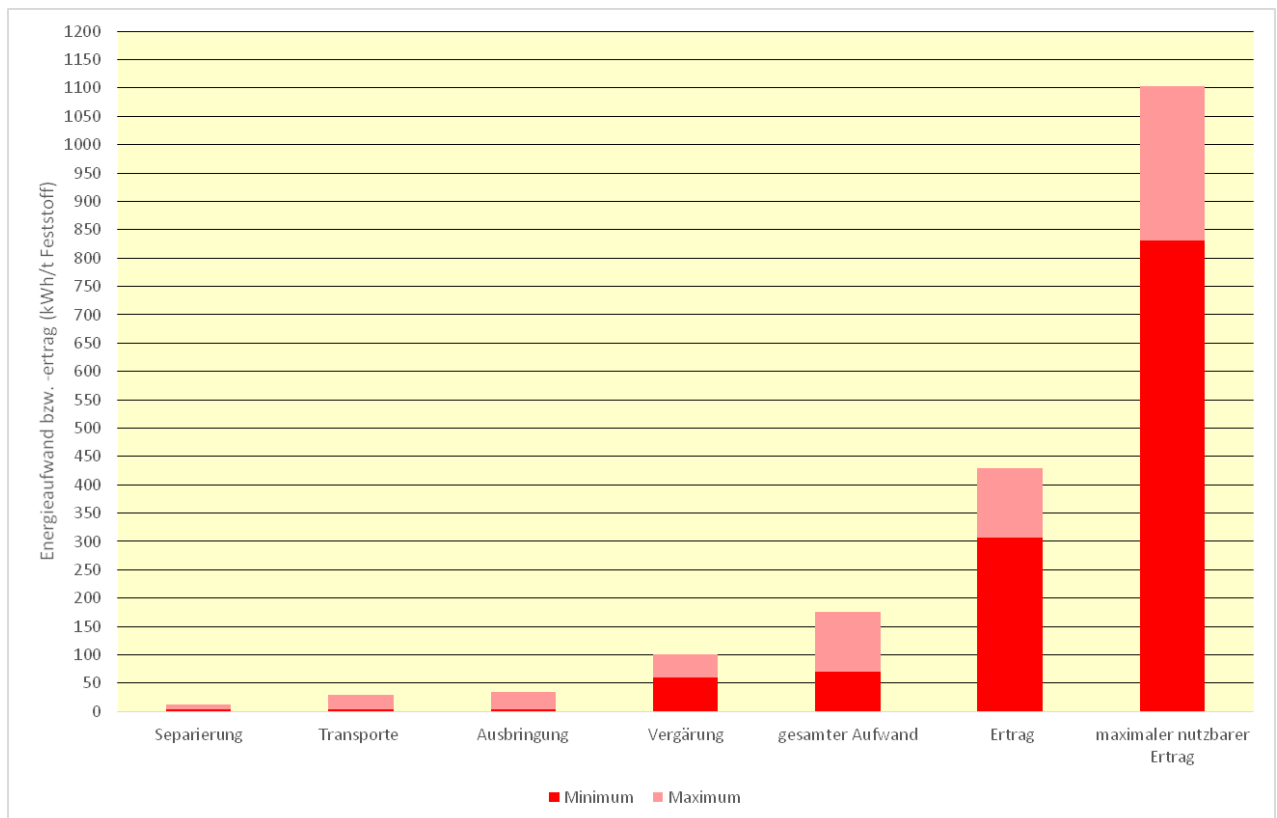


Abbildung 8: Energieaufwand und –ertrag im Vergleich zum maximal nutzbaren Energieertrag basierend auf der maximal erzielbaren Gasausbeute.

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 28 und Tabelle 29.

Tabelle 28: Zusammenstellung der Kosten- und Ertragsanteile und der entsprechenden Kennzeichnung (tief, mittel, hoch)

Kostenanteile (Fr./t Feststoff)						
Kennzeichnung	tief		mittel		hoch	
	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
Ertragsanteile (Fr./t Feststoff)						
Ertrag mit tiefen Tarifen	43		55		61	
Ertrag mit hohen Tarifen	48		62		68	

In Tabelle 29 sind die Kosten mit den entsprechenden Bandbreiten aufgelistet. Den einzelnen Kosten- bzw. Ertragsbereichen wurde eine entsprechende Kennzeichnung, tief, mittel und hoch zugeordnet.

Tabelle 29: Kennzeichnung der einzelnen Kosten- und Ertragsanteile der Szenarien A – E (vgl. Tabelle 31)

Kostenanteile					
Szenarien	A	B	C	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
Ertragsanteile					
Ertrag mit tiefen Tarifen	tief-mittel	hoch	tief	tief-hoch	tief
Ertrag mit hohen Tarifen	hoch	hoch	tief	hoch	hoch

In Tabelle 30 sind die Szenarien A bis E mit den zugeordneten Kennzeichnungen der einzelnen Kosten- bzw. Ertragsanteilen zusammengestellt. In der Tabelle 30 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.



Tabelle 30: Entscheidungsmatrix mit den Szenarien A bis E

Akteur	Lieferbetrieb	Abnehmerbetrieb	Transportvergütung	Szenario A: "Praxis"			Szenario B: "Minimum/Maximum"			Szenario C: "Maximum/Minimum"			Szenario D: "30% Steigerung"			Szenario E: "65% Steigerung"			
				Aufwand	Ertrag	Aufwand zu Ertrag	Aufwand	Ertrag	Aufwand zu Ertrag	Aufwand	Ertrag	Aufwand zu Ertrag	Aufwand	Ertrag	Aufwand zu Ertrag	Aufwand	Ertrag	Aufwand zu Ertrag	
				Fr./t	Fr./t	?	Go	No Go	?	Go	No Go	?	Go	No Go	?	Go	No Go	?	
Variante 1	lokal	lokal	Landw. Vergütung 1	39	43	4	25	68	45	43	43	0	40	56	16	42	71	29	
			Gewerbe	45	43	-2	27	68	41	47	43	-4	46	56	10	48	71	23	
Variante 2	lokal	regional	Landw. Vergütung 2	62	68	6	57	68	18	93	43	-50	78	88	10	92	112	20	
			Gewerbe	68	68	0	54	68	14	97	43	-54	84	88	4	98	112	14	
Variante 3	lokal	überregional	Landw. Vergütung 1	41	43	2	24	68	44	47	43	-4	42	72	30	44	71	27	
			Gewerbe	47	43	-4	28	68	40	51	43	-8	48	72	24	50	71	21	
Variante 4	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	64	68	4	51	68	17	97	43	-54	80	88	8	94	112	18	
			Gewerbe	70	68	-2	55	68	13	101	43	-58	86	88	2	100	112	12	
Variante 5	regional	lokal	Landw. Vergütung 1	55	61	6	28	68	40	58	43	-15	56	72	16	58	71	13	
			Gewerbe	61	61	0	32	68	36	62	43	-19	62	88	26	64	71	7	
Variante 6	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	78	68	-10	55	68	13	108	43	-65	94	88	-6	108	112	4	
			Gewerbe	84	68	-16	59	68	9	112	43	-69	100	88	-12	114	112	-2	
Variante 7	regional	lokal	Landw. Vergütung 1	43	55	12	31	68	43	47	43	-4	44	56	12	46	71	25	
			Gewerbe	48	55	7	31	68	37	54	43	-11	49	72	23	51	71	20	
Variante 8	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	66	68	2	52	68	16	97	43	-54	82	88	6	96	112	16	
			Gewerbe	71	68	-3	58	68	10	104	43	-61	87	88	1	101	112	11	
Variante 9	regional	lokal	Landw. Vergütung 1	45	48	3	26	68	42	51	43	-8	46	63	17	48	71	23	
			Gewerbe	50	48	-2	32	68	36	58	43	-15	51	72	21	53	71	18	
Variante 10	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	68	68	0	53	68	15	101	43	-50	84	88	4	96	112	14	
			Gewerbe	73	68	-5	59	68	9	108	43	-65	89	88	-1	103	112	9	
Variante 11	regional	lokal	Landw. Vergütung 1	59	61	2	30	68	38	62	43	-19	60	72	12	62	71	9	
			Gewerbe	64	61	-3	36	68	32	69	43	-26	65	79	14	67	71	4	
Variante 12	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	82	68	-14	57	68	11	112	43	-69	98	88	-10	112	112	0	
			Gewerbe	87	68	-19	63	68	5	119	43	-76	103	88	-15	117	112	-5	
Variante 13	regional	lokal	Landw. Vergütung 1	56	55	-1	29	68	39	68	43	-25	57	56	-1	59	71	12	
			Gewerbe	51	55	4	37	68	31	71	43	-28	52	72	20	54	71	17	
Variante 14	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	79	68	-11	56	68	12	118	43	-75	95	88	-7	109	112	3	
			Gewerbe	74	68	-6	64	68	4	121	43	-78	90	88	-2	104	112	8	
Variante 15	regional	lokal	Landw. Vergütung 1	58	55	-3	30	68	38	72	43	-29	59	72	13	61	71	10	
			Gewerbe	53	55	2	38	68	30	75	43	-32	54	72	18	56	71	15	
Variante 16	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	81	68	-13	57	68	11	122	43	-79	97	88	-9	111	112	1	
			Gewerbe	76	68	-8	65	68	3	125	43	-82	92	88	-4	106	112	6	
Variante 17	regional	lokal	Landw. Vergütung 1	72	55	-17	34	68	34	83	43	-40	73	72	-2	75	71	-4	
			Gewerbe	67	55	-12	42	68	26	86	43	-43	68	88	20	70	71	-1	
Variante 18	regional	lokal	Landw. Vergütung 2	95	68	-27	61	68	7	133	43	-90	111	88	-23	125	112	-13	
			Gewerbe	90	68	-22	69	68	-1	136	43	-93	106	88	-18	120	112	-8	



In Tabelle 30 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 können 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.

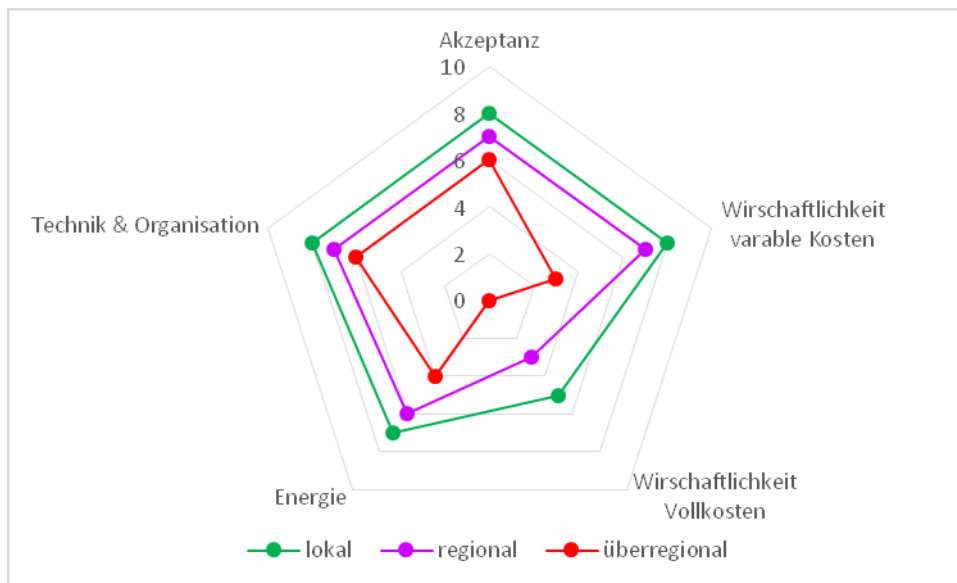


Abbildung 9: Netzdiagramm zur Machbarkeit des Konzeptes „RAUS – REIN“

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 Referenzen

[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 Sattelaufleger, 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 10: Links Rohgülle und rechts Dünngülle nach der Separierung von Rindergülle (HERSENER)



Abbildung 11: Separierte Feststoffe (HERSENER)



Abbildung 12: Mobile Siebpressschnecke für den überbetrieblichen Einsatz (HERSENER)



Abbildung 13: Transportanhänger als 2-Achs-Seitenkipper

<http://www.marolf.ch/2-achs-seitenkipper.htm>



Abbildung 14: Traktorgezogenes Hakengerät mit befahrbarer Abrollmulde

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



Abbildung 15: 5-Achs-Kipper, 40 t

(http://www.peterfahrzeugbau.ch/media/Fahrzeug-Ablieferungen/2012/16618_62.jpg)



Abbildung 16: 5-Achs-Lastwagen mit Abrollmulde, 40 t

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



Tabelle 31: 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
Volllaststunden	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
Landw. Abfallprodukte		500
Gemüseabfälle (verdorbenes Gemüse, Rüstabfälle)		500
Co-Substrate		0
keine		0
Gesamtsubstratmenge Input Biogasanlage		5'000
Investitionskosten		
Investitionskosten	Fr./a	1'100'000
% Anteil an Gesamtinvestitionskosten		
Bauliche Teilen	%	40
Technischen Teilen	%	30
MSR Teilen	%	10
BHKW	%	15
Sonstiges	%	5
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 / Maschinenkosten Teleskopklader / Vollwartungsvertrg BHKW	Fr./a	32'250
Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut	Fr./a	21'000
Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle	Fr./a	0
QS, Kontrollen, Analysen	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
Erträge		
Ertrag Entsorgungsgebühren	Fr./a	0
Ertrag Wärmeverkauf		3675
Ertrag Verkauf Düngerprodukt	Fr./a	1440
Total	Fr./a	5'115



Tabelle 32: Typ B: Mittlere landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten

Typ B: mittlere landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten		
Eckdaten		
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	kWh/a	906'870
Eigener Strombedarf	%	12
Stromproduktion Netto	kWh/a	798'046
Wärmeproduktion Brutto	kWh/a	1'029'420
Eigener Wärmebedarf	%	38
Wärmeproduktion Netto	kWh/a	638'240
Geschätzt extern genutzter Abwärme	%	20
Volllaststunden	h/a	6'480
Teillaststunden	h/a	7'500
Substratmengen in Tonnen Frischmasse pro Jahr		
Hofdünger	t/a [FS]	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
Investitionskosten		
Investitionskosten	Fr./a	2'200'000
% Anteil an Gesamtinvestitionskosten		
Bauliche Teilen	%	42
Technischen Teilen	%	28
MSR Teilen	%	10
BHKW	%	15
Sonstiges	%	5
Betriebskosten		
Personalkosten	Fr./a	48'925
Energiekosten	Fr./a	2'615
Kosten Biomasse Input	Fr./a	98'000
Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskopklader / Vollwartungsvertrg BHKW)	Fr./a	97'975
Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut	Fr./a	34'180
Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle	Fr./a	0
QS, Kontrollen, Analysen	Fr./a	2'160
Versicherungen	Fr./a	5'470
Sonstige Kosten	Fr./a	13'540
Rückstellungen für Rückbau	Fr./a	3'300
Total	Fr./a	306'165
Erträge		
Ertrag Entsorgungsgebühren	Fr./a	50'370
Ertrag Wärmeverkauf	Fr./a	12'510
Ertrag Verkauf Düngerprodukt	Fr./a	3'970
Total	Fr./a	66'850



Tabelle 33: Typ C: Grosse landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten

Typ C: grosse landwirtschaftliche Biogasanlage mit Co-Substraten		
Eckdaten		
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	kWh/a	1'559'520
Eigener Strombedarf	%	11
Stromproduktion Netto	kWh/a	1'387'973
Wärmeproduktion Brutto	kWh/a	1'641'600
Eigener Wärmebedarf	%	34
Wärmeproduktion Netto	kWh/a	1'083'456
Geschätzt extern genutzter Abwärme	%	20
Volllaststunden	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
Investitionskosten		
Investitionskosten	Fr./a	2'990'000
% Anteil an Gesamtinvestitionskosten		
Bauliche Teilen	%	42
Technischen Teilen	%	33
MSR Teilen	%	10
BHKW	%	10
Sonstiges	%	5
Betriebskosten		
Personalkosten	Fr./a	81'845
Energiekosten	Fr./a	7'760
Kosten Biomasse Input	Fr./a	44'020
Betriebs- und Materialkosten (bauliche und technische Materialkosten / Maschinenkosten Teleskoplader / Vollwartungsvertrag BHKW)	Fr./a	105'553
Kosten für Transport und Ausbringung Gärgut	Fr./a	61'865
Kosten für Entsorgung, Rückstände, Abfälle	Fr./a	725
QS, Kontrollen, Analysen	Fr./a	4'570
Versicherungen	Fr./a	5'880
Sonstige Kosten	Fr./a	19'160
Rückstellungen für Rückbau	Fr./a	4'485
Total	Fr./a	335'863
Erträge		
Ertrag Entsorgungsgebühren	Fr./a	49'596
Ertrag Wärmeverkauf	Fr./a	20'373
Ertrag Verkauf Düngerprodukt	Fr./a	12'171
Total	Fr./a	82'140



Tabelle 34: Berechnung Energieerträge - hohe KEV-Vergütung

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Energiegehalt Methan	9.97	9.97	9.97	kWh/m ³ 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 35: Berechnung Energieerträge - niedrige KEV-Vergütung

Strom	Mini- mum	Mit- tel	Maxi- mum	
Energiegehalt Methan	9.97	9.97	9.97	kWh/m ³ 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	Mini- mum	Mit- tel	Maxi- mum	
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 36). Des Weiteren ist zu beachten, dass sich die Gülleanteile im Substratmix wesentlich voneinander unterscheiden.

Tabelle 36: 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 37).

Tabelle 37: Mittlerer Eigenwärmebedarf auf Biogasanlagen in Deutschland [13]

Anlagenleistung [kW _{el.}]	Mittlerer Eigenwärmebedarf [%]	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 38 nach unten korrigiert werden.

Tabelle 38: Mittlerer geschätzter Eigenwärmeverbrauch in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung

Anlagenleistung [kWel.]	Mittlerer Eigenwärmebedarf [%]	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.



Schlussbericht 2. Phase

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

Neuartiges Konzept zur Verbreiterung der Vergärung von Hofdünger in der Schweiz

2. Phase : Planung & erste Realisierung





MERITEC



Datum: 30. Juli 2018

Ort: Bern

Auftraggeberin:

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

Ko-Finanzierung:

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
CH-3003 Bern
www.blw.admin.ch

Auftragnehmer/in:

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

Autor/in:

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-Bereichsleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/501442-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Anhand von drei landwirtschaftlichen Biogasanlagen (BGA) wurde das Konzept separierte Feststoffe aus Rindergülle auf seine Praktikabilität bei der Vergärung geprüft.

Die Umsetzung auf lokaler Ebene zeigt die besten Chancen. Die Vorteile der Separierung werden von allen beteiligten Lieferbetrieben geschätzt. Wann und wieviel Feststoffe geliefert werden, hängt jedoch von der Jahreszeit und der aktuellen Nährstoffsituation der Betriebe ab. Die Herausforderung besteht darin, sowohl die Bedürfnisse der Lieferbetriebe als auch den Substratbedarf der BGA in Einklang zu bringen.

Für grosse Transportdistanzen ist das Konzept weniger geeignet.

Die Vergärung der Feststoffe ist unproblematisch. Die Gasausbeute wird von der Lagerdauer beeinflusst und kann stark schwanken.

Rechnet man nur die variablen Kosten der Vergärung, ist diese wirtschaftlich. Die Kosten für die Separierung und den Transport können jedoch nicht alleine von den BGA-Betreibern übernommen werden.

Suchen die Lieferbetriebe eine Nährstoffentlastung bzw. verfügen sie über einen eigenen Separator, sind sie bereit, den Transport zur BGA selbst zu leisten. Damit wird eine ideale Situation erreicht.

Unter einer Vollkostenbetrachtung rentiert das Konzept nicht. Mit Feststoffen können weder Entsorgungsgebühren erhoben werden noch hohe Gaserträge erzielt werden.

Eine optimierte Umsetzung der Logistik bietet das grösste Kosteneinsparungspotential.

Die Akzeptanz der involvierten Behörden ist positiv. Sie sehen die Vorteile der Separierung, insbesondere bei der Düngülleausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler.

Gesetzliche Hindernisse stehen einer Umsetzung nicht im Wege.



Summary

The practicability of a new concept based on the separation of cattle slurry and the digestion of the solid fraction was evaluated in three biogas plants.

The implementation of the concept on local level indicates the best chance. All suppliers of separated solids appreciate the advantage of the separation. The amount of solids for digestion depends on the season of the year and on the actual use of liquid manure. The challenge is to harmonise the requirement of the suppliers as well as of the requirement of the biogas plant.

If the solids have to be transported over long distances, the concept is less convenient.

The digestion of solids is unproblematic. The duration of storage determines the amount of the yield of gas.

Taking into account only the running costs, the digestion of solids is economical. However the charges for the separation and the transportation of solids cannot be financed by the biogas plant operator.

In case that the suppliers need a discharge of nutrients or if they operate an in-house separator themselves, they are willing to pay for the transportation. This is the ideal solution.

Taking into account the total costs, the concept is not profitable, because neither the disposal fees can be charged nor high yields of gas can be realized.

An optimal implementation of the logistics implicates the highest potential of cost efficiency.

The concept is approved by the involved authorities. They realise the advantages of the slurry separation, especially the disposal of the separated liquid fraction by trailing hose applicator on grassland.

There exist no legal barriers for the implementation of the concept.



Vorwort zur zweiten Projektphase

Die vorliegende Studie stellt die zweite Phase des Projektes „RAUS – REIN“ dar: Feststoffe „RAUS“ aus der Gülle und „REIN“ in die Vergärung beinhaltet die Implementierung des Konzeptes auf drei unterschiedlichen Praxisanlagen.

Die Autoren danken allen Lieferbetrieben, Biogasanlagenbetreibern und Dienstleistungsunternehmen für die bereitwillige Zusammenarbeit und die für die Versuche zur Verfügung gestellte Infrastruktur.

Für die Unterstützung des Projekts bedanken wir uns herzlich bei Frau Sandra Hermle vom Bundesamt für Energie sowie Herrn Markus Lötscher und Herrn Mathias Kuhn vom Bundesamt für Landwirtschaft.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	66
Summary	67
Vorwort zur zweiten Projektphase	68
Inhaltsverzeichnis	69
Abkürzungsverzeichnis	70
1 Ausgangslage	71
2 Ziele der zweiten Projektphase	71
3 Ergebnisse	71
3.1 Logistik.....	71
3.1.1 Lieferbetriebe.....	71
3.1.2 Separierung der Rohgülle.....	73
3.1.3 Transporte	76
3.1.4 Logistikkosten	77
3.2 Biogasanlagen	80
3.2.1 Biomethanpotential.....	80
3.2.2 Übersicht der untersuchten BGA.....	82
3.2.3 Feststoffbereitstellungskosten für die BGA	83
3.2.4 Ertrag aus Strom und Wärme.....	85
3.2.5 Variable Kosten, Erträge und Ergebnisse der Vergärung	89
3.2.6 Vollkosten, Erträge und Ergebnisse der Vergärung	93
3.2.7 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit.....	94
3.3 Energie	96
3.3.1 Separierung	96
3.3.2 Transporte	97
3.3.3 BGA	98
3.4 Akzeptanz	98
3.4.1 Lieferbetriebe.....	98
3.4.2 Logistik.....	99
3.4.3 BGA-Betreiber	99
3.4.4 Abnehmerbetriebe	100
3.4.5 Behörden	100
4 Akquisition und Kommunikation	100
5 Schlussfolgerungen	101
6 Ausblick	103
7 Referenzen	104



Abkürzungsverzeichnis

BFE.....	Bundesamt für Energie
BGA.....	Biogasanlage
BLW.....	Bundesamt für Landwirtschaft
FM.....	Frischmasse
Fr.....	Franken
h.....	Stunden
IG.....	Interessengemeinschaft
kg.....	Kilogramm
kW.....	Kilowatt
kWh.....	Kilowattstunden
l.....	Liter
NH ₄	Ammonium
oTS.....	Organische Substanz (Glühverlust)
t.....	Tonne bzw. Tonnen
TS.....	Trockensubstanz, Rückstand nach Trocknung bei 105 °C während 24 h
TS-Abtrennung	Abtrennung oder Abscheidung der Trockensubstanz bei der Separierung oder Filtration, die in den Feststoffen enthalten ist (in %)



1 Ausgangslage

In der vorhergehenden, abgeschlossenen ersten Projektphase 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 Annahmgebühren angewiesen und daher kaum interessiert. Landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber sind aufgrund der höheren Einspeisetarife eher bereit an einer Umsetzung mitzuwirken. Konkrete Interessenten sind vorhanden. In der vorliegenden zweiten Projektphase „Planung und erste Realisierung“ sollen die Rahmenbedingungen für die Umsetzung in die Praxis dargestellt werden.

2 Ziele der zweiten Projektphase

- Verifizierung der Ergebnisse aus der Machbarkeitsstudie (Technik, Energie, Akzeptanz, Organisation und Wirtschaftlichkeit) in der Praxis
- Konzepte zur Bereitstellung der Feststoffe testen und optimieren
- Mitvergärung von Feststoffen auf drei konkreten Biogasanlagen (BGA). Im Fokus stehen je eine Anlage pro lokaler bzw. regionaler Implementierungsebene bzw. verschiedene Anlagentypen (flüssig/fest) versuchen zu realisieren
- Ersten Beitrag zur Umsetzung in die Praxis leisten und den Anteil an Hofdünger zur Nutzung neuer erneuerbarer Energie erhöhen
- Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch in die Praxis (Kommunikation)

3 Ergebnisse

3.1 Logistik

3.1.1 Lieferbetriebe

Für die drei Biogasanlagen (BGA) A, B und C sind entsprechende Lieferbetriebe, die Feststoffe separieren und zur Vergärung bereitstellen, akquiriert worden. Vier Lieferbetriebe sind bei der BGA A, vier bei der BGA B und ein Betrieb bei der BGA C involviert (vgl. Tabelle 39). Ein Betrieb, LB A3 bzw. LB B2, separierte Feststoffe sowohl für die BGA A als auch für die BGA B.

Die Lieferbetriebe befinden sich auf lokaler (bis 6 km), auf regionaler (bis 15 km) und auf überregionaler Ebene bzw. Entfernung der entsprechenden Biogasanlage.



Tabelle 39: Charakterisierung der Lieferbetriebe

Biogas-anlage	Liefer-betrieb	Ebene	LN	oAF	GVE	Stallsystem Laufstall	Separator ja/nein	Trsp.mögl. ja/nein	Trsp.gerät ja/nein	Ausbringung Schleppschl.	Güllelager	
			ha	ha	Stk.						m3	Anzahl
A	LB A 1	regional	22	6	60	Boxen	ja	ja	ja	100%	1200	2
	LB A 2	lokal	50	30	45	Boxen	nein	nein	nein	80%	1800	2
	LB A 3/LB B 2	überregional	30	15	115	Boxen u. Kompost	ja	ja	nein	90%	2000	4
	LB A 4	regional	38	14	130	Boxen	nein	ja	ja	100%	2000	4
B	LB B 1	überregional	33	22	65	Boxen	nein	nein	nein	100%	1000	2
	LB B 3	überregional	32	13	70	Boxen	ja	ja	ja	75%	1100	2
	LB B 4	lokal	30	24	42	Boxen	nein	ja	ja	0%	1000	2
C	LB C 1	lokal	36	9	50	Boxen	nein	ja	ja	0%	680	2

Legende: A, B, C = Biogasanlage; LB = Lieferbetrieb; LN = landwirtschaftliche Nutzfläche; oAF = offene Ackerfläche; Trsp.mögl. = eigene Transportfahrzeuge für Feststoffe vorhanden; Trsp.gerät = eigener Anhänger für Feststoffe vorhanden; Schleppschl. = Schleppschlauchverteiler

Alle Lieferbetriebe weisen Milchviehhaltung mit eigener Aufzucht auf, ausser LB A2 der Milchvieh-Aufzucht betreibt. Der Boxenlaufstall ist auf allen Betrieben vorhanden, zusätzlich betreibt LB A3/LB B2 einen Kompoststall, wobei separierte Feststoffe als Einstreumaterial dienen.

Drei Betriebe verfügen über einen eigenen Separator (Siebpressschnecke). Zur Zwischenlagerung der Dünggülle wird ein separates Lager genutzt. Die Dünggülle wird im Futterbau eingesetzt. Trotz geringerem Nährstoffgehalt wird die Düngewirkung der Dünggülle mindestens als gleich hoch eingeschätzt wie diejenige der Rohgülle. Die Feststoffe dienen zur Düngung im Ackerbau, teilweise auch im Herbst im Futterbau. Feststoffe als Einstreuersatz setzt nur ein Betrieb ein. Alle Separatorenbetreiber sind mit der Wirkung der Dünggülle/Feststoffe im Bereich der Ausbringung und dem gezielteren Nährstoffeinsatz sehr zufrieden.

Die meisten Lieferbetriebe verfügen über eigene Transportmöglichkeiten für die Feststoffe. Alternativ kann auf entsprechende Dienstleistungen zurückgegriffen werden.

Die Ausbringung der Rohgülle bzw. Dünggülle erfolgt überwiegend mit dem Schleppschlauchsystem. Zwei Betriebe setzen nur den Prallteller bzw. Pendelverteiler ein.

Alle Betriebe verfügen mindestens über zwei Lagergruben.

In Tabelle 40 sind die wichtigsten Beweggründe für die Separierung der Gülle im Allgemeinen sowie für die Bereitstellung von Feststoffen für die Vergärung zusammengestellt.

Bei allen Betrieben, die mit einer fahrbaren Anlage Gülle separieren, hat sich die Bereitschaft an der Lieferung von Feststoffen mitzumachen erhöht. Die Verbesserung der technologischen Eigenschaften (bessere Fließfähigkeit, weniger Pflanzenverschmutzung, gutes Eindringvermögen) der Dünggülle wurde offensichtlich.

Betriebe mit einem geringen Nährstoffüberschuss sind bereit mitzumachen. Auf lokaler Ebene werden teilweise Eigenleistungen, wie Transporte, erbracht.

Betriebe ohne Nährstoffüberschüsse sind weniger bereit mitzumachen. Diejenigen, die mitmachen, sind auf die Rückführung von Gärs substrat als Dünger angewiesen.



Tabelle 40: Motivation für eine Separierung bzw. Feststofflieferung in Biogasanlagen

Motivation für eine Separierung der Gülle	
Pro: <ul style="list-style-type: none">- Dünggülle wirkt pflanzenbaulich besser als Rohgülle- Keine Verstopfungen des Schleppschlauchverteilers- Gezielter Nährstoffeinsatz im Futter- wie im Ackerbau- Möglichkeit eines Nährstoffexports	Kontra: <ul style="list-style-type: none">- Kosten der Separierung- Feststoff als Einstreuersatz eingeschränkt- Zweites Lager für Dünggülle empfehlenswert
Motivation für Feststoffe in Biogasanlage	
Pro: <ul style="list-style-type: none">- Lieferung der Feststoffe in eine BGA als neue Option- Reduziertes Ausbringvolumen dank Verzicht auf Wasserverdünnung- Steigerung der Flexibilität im Einsatz der Hofdünger auf dem eigenen Betrieb	Kontra: <ul style="list-style-type: none">- Kosten der Separierung- Aufwand für Transport der Feststoffe- Betriebe mit zu wenig Nährstoffen sind auf Rücklieferung angewiesen- Betriebe mit eigenem Separator und hohem Anteil Ackerbau setzen Feststoffe selbst ein

Allgemein gestaltete sich die Bereitstellung von Feststoffen während des Sommerhalbjahres als schwierig, da eher wenig Gülle gelagert wird. Als Folge davon mussten einerseits mehr Lieferbetriebe pro BGA gefunden werden, andererseits war es nicht zu vermeiden, auch auf überregionaler Ebene Betriebe (BGA A und B) zu akquirieren.

Während des Winterhalbjahres verfügen die Betriebe in der Regel über ausreichend Gülle.

3.1.2 Separierung der Rohgülle

Die Bereitstellung von Feststoffen zur energetischen Nutzung in Biogasanlagen erfolgt mittels Siebpressschnecken, die entweder einzelbetrieblich als stationäre oder überbetrieblich als fahrbare Anlage (Abbildung 18) eingesetzt werden. Der stationäre Separator zeichnet sich durch eine hohe zeitliche Flexibilität aus und eignet sich damit zur kurzfristigen Bereitstellung geringerer Mengen an Feststoffen. Das mobile Gerät bedingt entsprechend grosse Güllmengen pro Betrieb, da zu den Betriebskosten die Aufwendungen für die Anfahrt, Installation und Wegfahrt einkalkuliert werden müssen.

Die Rohgülle stammt von Milchvieh aus Laufstallhaltung. Der Lieferbetrieb LB A 2 hat als einziger Betrieb Aufzuchtaltung.

Zur Fest-Flüssig-Trennung dienen Siebe mit einer Spaltweite von 0.75 mm. Alle Geräte verfügen über eine Entwässerung der Feststoffe. Die Durchsatzleistung des Separators liegt bei rund 20 m³ Rohgülle/h entsprechend bis etwa 2.2 t Feststoffe/h. Beide Parameter sind vom TS-Gehalt in der Rohgülle abhängig.



Abbildung 17 zeigt die TS-, oTS- und Nährstoffgehalte in den Feststoffen. Der TS- und oTS-Gehalt muss mit dem Faktor 100 multipliziert werden.

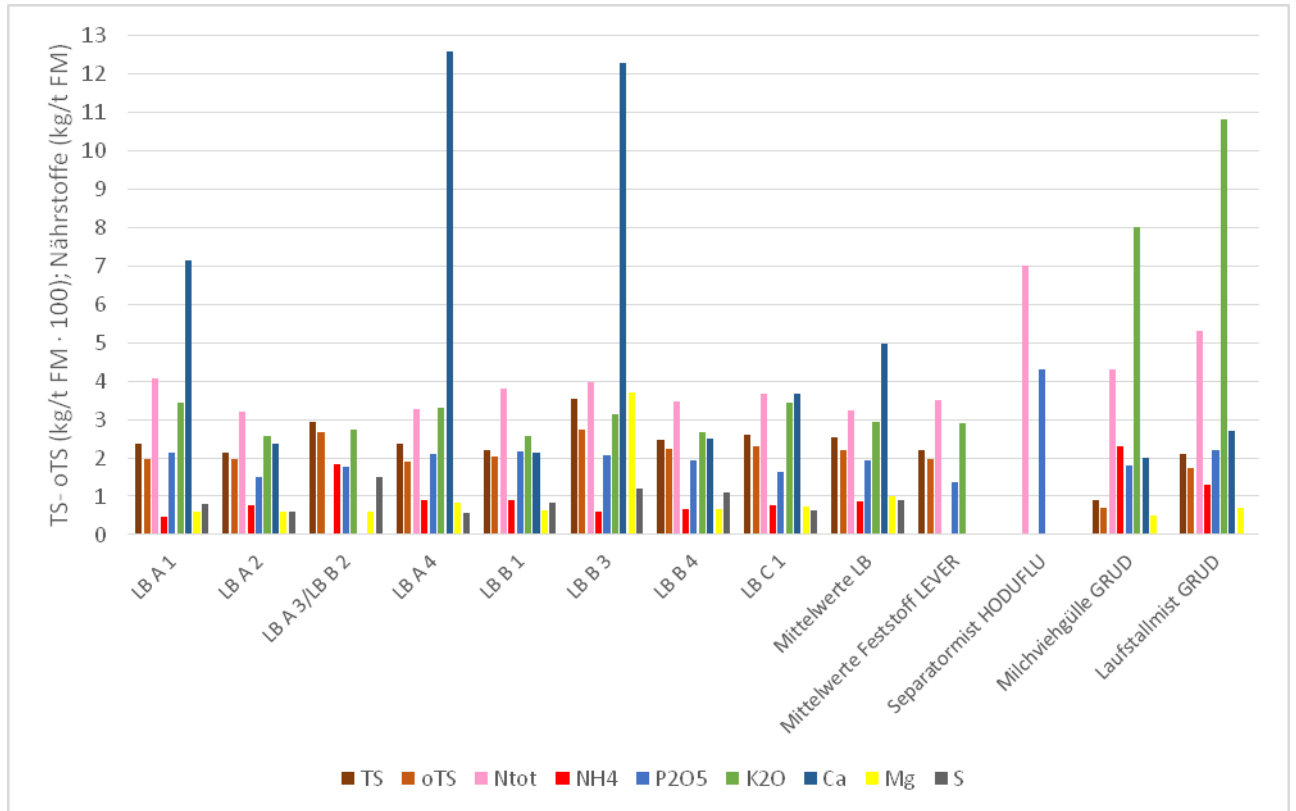


Abbildung 17: Gehalte in den Feststoffen der Lieferbetriebe (LB) und deren Mittelwerte im Vergleich zu den Mittelwerten aus dem Projekt LEVER, dem Separatormist gemäss HODUFLU sowie den Gehalten in der Milchviehgülle und dem Laufstallmist nach den Grundlagen zur Düngung.

Die TS-Gehalte im Feststoff schwanken zwischen 200 und 350 kg/t FM (Mittelwert 254 kg) bzw. 20 bis 35 %. Der Anteil der oTS an der TS beträgt im Mittel 87 %. Beim Stickstoff liegen die Gehalte bei 3 bis 4 kg N_{tot}/t FM mit einem mittleren Ammoniumanteil von knapp 27 % (0.87 kg NH₄/t FM). Die P₂O₅- und K₂O-Gehalte belaufen sich im Mittel auf 1.9 bzw. 2.9 kg/t FM. Auffallend sind hohe Unterschiede in den Gehalten an Ca und Mg mit 2 bis 7 kg bzw. 0.6 und 3.7 kg/t FM.

Die Gehalte sind mit den mittleren Gehalten in den Feststoffen aus dem Projekt LEVER vergleichbar. Im Vergleich zu Literaturangaben betreffend „Separatormist“ gemäss Angaben in den Hofdüngerflusskalkulationen (HODUFLU) enthalten die separierten Feststoffe rund die Hälfte an N_{tot} und P₂O₅ auf. Milchviehgülle (unverdünnt) und Laufstallmist nach den Angaben aus den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUD) zeigen höhere Gehalte bei N_{tot} und NH₄ sowie vor allem bei K₂O.



Abbildung 18: Bild der fahrbaren Separieranlage (HERSENER).

Tabelle 41 zeigt die Massen- und Nährstoffbilanz basierend auf den Mittelwerten aus dem Projekt LEVER. Zur Separierung im „RAUS – REIN“ wurde dasselbe Gerät (Abbildung 18) eingesetzt. Der Abtrenngrad bezogen auf die Feststoffe verdeutlicht mit rund 11 % eine relativ geringe Massenabtrennung. Hingegen wird vor allem TS und oTS mit 40 % bzw. 47 % aus der Rohgülle abgetrennt. Nährstoffe verbleiben weitgehend in der Dünngülle.

Tabelle 41: Massen- und Nährstoffbilanz bei Separierung von Rindviehgülle [LEVER, 2016]

Parameter Einheit	Masse kg	TS kg	oTS kg	N kg	P kg	K 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
Feststoffe	108	23.3	20.9	0.4	0.1	0.3
Abtrenn- grad	10.8%	39.8%	47.2%	13.7%	14.4%	9.7%



3.1.3 Transporte

Zum Transport der Feststoffe werden Hakengeräte (Abbildung 19) auf lokaler, regionaler und überregionaler Ebene von entsprechenden Dienstleistungsunternehmen eingesetzt. Im lokalen Bereich transportieren die Landwirte die Feststoffe mit traktorgezogenen Kippmuldenanhängern.

Für Transporte in Eigenregie und im landwirtschaftlichen Dienstleistern sind Mulden mit 15 bis 30 m³ Inhalt gebräuchlich. Transportunternehmen setzen überwiegend Mulden mit 40 m³ ein.

Bei den von den Landwirtschaftsbetrieben eingesetzten Zugfahrzeugen handelt sich fast durchwegs um Traktoren der 95 PS (70 kW) Klasse. Die Anhänger liegen bei einem Gesamtgewicht um 16 - 18 t und einem Ladevolumen von rund 20 m³. Landwirtschaftliche Lohnunternehmer, die ebenfalls zum Einsatz kamen, verwenden meist grössere Traktoren um 140-220 PS (100 - 150 kW) und Anhänger mit Hakengeräten sowie Mulden von 30 m³.

Dienstleistungsunternehmen der Transportbranche setzen generell Lastwagen mit aufgebautem Hakengeräte ein. Sie sind mit Motoren von 400 kW ausgerüstet und verfügen über mindestens 4-Achsen. Ihr Gesamtgewicht liegt bei 32 t bzw. 40 t.



Abbildung 19: Traktor mit Hakenliftgerät beim Abladen der Mulde. Links ist der fahrbare Separator zu sehen (HERSENER).



3.1.4 Logistikkosten

Die Kosten für die Bereitstellung von Feststoffen zur Mitvergärung für die drei Biogasanlagen (BGA) A, B und C sind in Tabelle 42 aufgeführt. Je vier Lieferbetriebe (LB) stellen Feststoffe für die BGA A und B bereit. Ein Betrieb diente bei der BGA C als Lieferant.

Die Transportdistanzen zwischen LB und BGA differieren von 2.3 bis 76.5 km bzw. im Mittel bei 26.4 km (überregionale Ebene). Die Distanz zwischen dem Anbieter des fahrbaren Separators und dem LB liegt im Mittel bei 24.6 km. LB mit eigenem Separator stellen die Feststoffe selbst bereit.

Tabelle 42: Kostenzusammenstellung für die Bereitstellung der Feststoffe (Kosten inkl. MwSt.)

Biogas-anlage	Liefer-betrieb	Distanzen		Separierkosten			Kosten	Logistik	Feststoff	Spezifische Kosten		
		Transport km	Separator km	Betrieb Fr.	Bereitst. Fr.	Gesamt Fr.				Transporte Fr.	Gesamt Fr.	Masse t
BGA A	LB A1	13.9	0	0	0	0	200	200	22	0.00	9.09	9.09
	LB A2	2.5	36.3	720	180	900	0	900	27	33.33	0.00	33.33
	LB A3	12.8	0	0	0	0	1284	1284	26	0.00	49.38	49.38
	LB A4	36.3	29.7	700	250	950	0	950	21	45.24	0.00	45.24
Mittelwert BGA A		16.4	16.5	355	108	463	371	833	24	19.64	14.62	34.26
BGA B	LB B1	15.6	61	1505	795	2300	1219	3519	67	34.33	18.19	52.52
	LB B2	76.5	0	0	0	0	1382	1382	30	0.00	46.07	46.07
	LB B3	72.2	0	0	0	0	680	680	15	0.00	45.33	45.33
	LB B4	5.7	72	595	455	1050	0	1050	17	61.76	0.00	61.76
Mittelwert BGA B		42.5	33.3	525	313	838	820	1658	32	24.02	27.40	51.42
BGA C	LB C1	2.3	22.8	380	220	600	0	600	9	40.00	0.00	40.00
Mittelwerte BGA A, B, C		26.4	24.6	433	211	644	529	1265	26	23.85	18.67	42.53

Legende: A, B, C = Biogasanlage; LB = Lieferbetrieb; Transportdistanz = Entfernung LB zur BGA; Separatordistanz = Entfernung vom Anbieter fahrbarer Separator zum LB; Separierungskosten Betrieb = Kosten bei laufendem Separator; Separierungskosten Bereitst. = Kosten für das Bereitstellen und Installieren des Separators; LB C1 9 t Feststoff an BGA C geliefert, insgesamt 15 t Feststoffe separiert

Separierungskosten fallen nur auf denjenigen Betrieben an, die den fahrbaren Separator einsetzen. Dabei wird zwischen Betriebskosten und Bereitstellungskosten unterschieden. Die Betriebskosten sind von der Laufzeit, in der das Gerät betrieben wird, und die Bereitstellungskosten von der Distanz zwischen dem Anbieter des fahrbaren Separators und dem LB abhängig. In den meisten Fällen dauerte die Separierung auf einem Betrieb einen bis zwei Tage. In den Separierungskosten nicht aufgeführt sind die Kosten für den Strom (< Fr.1.-/t Feststoff) und die Analysekosten (Ø Fr. 3.50/t Feststoff).

Der Transport der Feststoffe vom LB zur BGA erfolgt mit eigenen bzw. ausgeliehenen Fahrzeugen-oder in Zusammenarbeit mit Unternehmen. Im lokalen Bereich sind die LB in der Regel bereit Eigenleistungen zu erbringen. Im überregionalen Bereich (> 15 km) werden Transportunternehmen berücksichtigt. Insgesamt sind 240 t Feststoffe separiert und 234 t den BGA bereitgestellt worden. Die Differenz von 6 t Feststoffen ist darauf zurückzuführen, dass der LB C1 15 t Feststoffe separierte und nur 9 t zur BGA C transportierte.

Die Gesamtkosten pro t Feststoffe liegen zwischen Fr. 9.- und Fr. 62.-, im Durchschnitt bei Fr. 42.-/t.

Auf den ersten Blick erscheinen die Kosten für die Bereitstellung von separierten Feststoffen zur Vergärung als sehr hoch. Bei genauerer Analyse können hingegen die Gründe dafür aufgezeigt werden (Tabelle 43).



Tabelle 43: Einflussfaktoren auf die Kosten der Bereitstellung von separierten Feststoffen zur Vergärung in Biogasanlagen und entsprechende Optimierungsmöglichkeiten

Bereich: Separierung		
<p>Hohe Kosten werden begünstigt durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Weite Distanz zwischen Anbieter fahrbarer Separiergeräte und Lieferbetrieb - Geringe Durchsatzleistung des Separators - Überbetriebliche Separierung auf jedem einzelnen Betrieb im überregionalem Bereich - Energiegehalt im Feststoff vom Abtrenngrad an organischer Substanz unter 50 % 	<p>Optimierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Überbetrieblicher Separatoreinsatz nur im lokalen Bereich - Steigerung der Durchsatzleistung des Separators - Überbetriebliche Separierung auf mehreren Betrieben nacheinander im lokalen Bereich - Steigerung des Abtrenngrades an organischer Substanz auf mehr als 50 % 	<p>Kostenreduktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bis ca. Fr. 11.-/t - bis ca. Fr. 11.-/t - bis ca. Fr. 4.-/t - bis ca. Fr. 14.-/t
Bereich: Transporte		
<p>Hohe Kosten werden begünstigt durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distanz zwischen Lieferbetrieb und Biogasanlage zu gross (überregional) - Geringes spezifisches Gewicht der frisch separierten Feststoffe (0.5 bis 0.55 kg/l) 	<p>Optimierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vor allem auf lokaler Ebene Feststoffe transportieren, ausnahmsweise im regionalen Bereich - Zwischenlagerung der Feststoffe vor dem Transport zur Erhöhung des spez. Gewichts (0.6 bis 0.65 kg/l) 	<p>Kostenreduktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bis ca. Fr. 28.-/t - bis ca. Fr. 4.-/t
Bereich: Organisation		
<p>Hohe Kosten werden begünstigt durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fallweise Organisation der Bereitstellung von Feststoffen - Verkehrstechnisch ungünstig gelegen Biogasanlage - Teils geringe Güllemengen je Betrieb, entsprechend geringe Feststoffmengen - Keine zweite Lagergrube vorhanden - Teils ungenügende Abstimmung der Feststoffmenge auf den Bedarf der Biogasanlage 	<p>Optimierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Organisation der Bereitstellung von Feststoffen von mehreren Lieferanten im Umfeld einer Biogasanlage - Nur entsprechend verkehrstechnisch günstig liegende Biogasanlagen berücksichtigen - Separieren bei möglichst hohem Güllestand in der Grube - Betriebe mit zweiter Lagergrube favorisieren - Zwischenlagerung der Feststoffe auf Lieferbetrieb(en) 	<p>Kostenwirkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geringerer Aufwand zur Bereitstellung des Separators - Verminderte Transporte - Effizienterer Einsatz des Separators - Effizienterer Einsatz des Separators - Effizienterer Einsatz des Separators

Aus der Aufstellung der Einflussfaktoren auf die Kosten der Bereitstellung lassen sich drei verschiedene Bereiche ableiten. Die Separierung, die Transporte und die Organisation.



Bereich: Separierung (vgl. Tabelle 43)

Ein fahrbarer, überbetrieblicher Einsatz eines Separators sollte im lokalen Bereich erfolgen. Alle LB, die überbetrieblich separieren, liegen im überregionalen Bereich (> 15 km). Die Bereitstellungskosten für den Separator belaufen sich auf knapp Fr. 7.-/t bis Fr. 27.-/t bzw. im Mittel bei Fr. 16.-/t Feststoff. Somit liegt das Einsparpotential bei bis zu Fr. 11.-/t Feststoff.

Die Durchsatzleistung des fahrbaren Separators liegt bei 20 m³ Rohgülle/h. Eine Steigerung auf 30 m³/h, was ohne grosse Einschränkungen des elektrischen Anschlusswertes möglich wäre, würde die Kosten im Mittel von knapp Fr. 32.-/t auf Fr. 21.-/t bzw. um rund Fr. 10.-/t reduzieren.

Wenn beim überbetrieblichen Separieren LB nacheinander Feststoffe bereitstellen, lassen sich die Bereitstellungskosten senken. Bei einer angenommenen realisierbaren Reduktion von 50 % könnten die durchschnittlichen Kosten von Fr. 211.- (Tab. 4) auf etwa Fr. 105.- reduziert werden, was im Mittel rund Fr. 4.-/t Feststoff entspricht.

Mit einer Steigerung des Abtrenngrades an organischer Substanz von 47 % [LEVER 2016] auf angenommene 60 % Abtrenngrad könnte der Energieertrag von 330 kWh auf 420 kWh pro t Feststoff erhöht werden. Bei einem Wirkungsgrad des BHKW von 40 % und einem Strompreis von Rp. 40/kWh würde dies einer Wertsteigerung von Fr. 14.-/t gleichkommen.

Bereich: Transporte (vgl. Tabelle 43)

Grosse Distanzen zwischen dem LB und der BGA verteuern die Transporte. Beispielsweise liegt die Distanz zwischen dem LB B1 und der BGA B bei 15.6 km (Tab. 4) mit Transportkosten von Fr. 18.-. Beim LB B2 beträgt die Distanz 76.5 km (Tab. 4) bzw. Fr. 46.-/t Feststoff, was einem Kostenunterschied von Fr. 28.-/t entspricht.

Das spezifische Gewicht der Feststoff, direkt am Separator entnommen, schwankt zwischen 0.5 kg/l und 0.55 kg/l. Mit einer Zwischenlagerung der Feststoffe steigt das spezifische Gewicht durch Verdichtung an. Angenommen, dass dies zu einer Erhöhung des Gewichts auf 0.6 bis 0.65 kg/l führt, könnten im Mittel bei gleichem Volumen rund 20 % mehr Gewicht transportiert werden, was einer Reduktion der Transportkosten im Mittel um etwa Fr. 4.-/t entspricht.

Bereich: Organisation (vgl. Tabelle 43)

Verschiedene Sachzwänge bei der Durchführung der Logistik haben zu entsprechenden Kosten geführt. Eine Optimierung der Organisation zur Verminderung des Aufwands für die Bereitstellung von Feststoffen zur Vergärung weist ein grosses Potential auf, kann aber derzeit nicht exakt beziffert werden. Die in Tab. 2 aufgeführten Punkte bedingen eine langfristige Planung, die dem Bedarf des BGA-Betreibers Rechnung trägt. Zudem ist ein Zusammenarbeiten von LB und BGA-Betreiber im stärkeren Masse erforderlich.

Gesamthaft kann aus der Umsetzungsphase betreffend Logistik gefolgert werden, dass der Aufwand im Mittel bei Fr. 42.-/t Feststoff zur Bereitstellung für die Vergärung liegt. Mittels Optimierungsmassnahmen in den Bereichen Separierung, Transporte und Organisation lassen sich entscheidende Kosteneinsparungen erzielen. Vor allem eine Realisierung der Logistik im lokalen Bereich bis 6 km um eine BGA trägt zu einer Kostenreduktion bei. Eine weitere markante Verbesserung kann auf Seiten einer Leistungssteigerung bei der Separierung mit einer Durchsatzerhöhung und gleichzeitig einer Steigerung



des Abtrenngrades an organischer Substanz erzielt werden. Unter rigoroser Ausschöpfung aller Kostenreduktionsmöglichkeiten liessen sich Bereitstellungskosten von unter Fr. 20.-/t Feststoffe realisieren.

3.2 Biogasanlagen

3.2.1 Biomethanpotential

Um das Biomethan-Ertragspotential der in den Versuchen eingesetzten separierten Feststoffen abschätzen zu können, wurde die Fachstelle Umweltbiotechnologie des Instituts für Chemie und Biotechnologie der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) mit der analytischen Bestimmung des Biomethanpotentials (BMP) beauftragt.

Probenahme der separierten Güllefeststoffe

Die Probenahmen der Feststoffe erfolgten direkt ab Substratlager der Biogasanlage zwischen Ende Juli und zweiter Oktoberhälfte 2017 sowie nach Möglichkeit zeitnah zum Liefertermin. Da die BMP-Messungen mehrere Wochen Zeit in Anspruch nehmen, konnten jeweils nur die ersten zwei bis drei Lieferungen pro Anlage stichprobenartig untersucht werden. Auch war die Probenahme auf BGA C im Herbst 2017 nicht möglich, da die Anlage erst im Frühjahr 2018 in Betrieb ging. Eine Übersicht über den Probenahmen können der Tabelle 446 entnommen werden. Die Proben wurden in einem Kühlschrank bis zum Start der Laborversuche Ende Oktober zwischengelagert.

Tabelle 44: Übersicht über die Probenahme der separierten Feststoffe vom Substratlager der Biogasanlagen

BGA	BGA A	BGA A	BGA A	BGA B	BGA B
Lieferbetrieb	LB A1	LB A1	LB A3	LB B1	LB B1 / LB B4*
Lieferdatum	16.08.2017	20.09.2017	20.10.2017	24. & 25.07.2017	18./19.09.2018 od. 25./26.09.2018*
Probenahmedatum	22.08.2017	22.09.2017	20.10.2017	26.07.2017	06.10.2017

* Die Probenahme erfolgte durch den Anlagenbetreiber; genaues Datum der Probenahme nicht bekannt, daher unklar von welcher Liefercharge (Betrieb B1 od. B4)

Laborversuche zum Gasbildungspotential

Die Ergebnisse der TS- und oTS-Analysen sind in Tabelle 45 abgebildet. Sowohl bei den TS- als auch bei den oTS-Gehalten handelt es sich um Mittelwerte von Dreifachbestimmungen.



Tabelle 45: Übersicht zu Mittelwerten der Dreifachbestimmung von TS- und oTS-Werte der Feststoffe

Probenbezeichnung	Lieferbetrieb	TS	oTS	oTS
Einheit		[g/kg]	[% d. TR]	[g/kg]
C3 BGA A	LB A1	249 ± 11.5	81 ± 8.0%	202 ± 11.5
C4 BGA A	LB A1	252 ± 3.0	80 ± 4.0%	202 ± 3.0
C5 BGA A	LB A3	240 ± 4.9	87 ± 2.4%	209 ± 4.9
C1 BGA B	LB B1	235 ± 1.0	90 ± 0.6%	212 ± 1.0
C2 BGA B	LB B1 / LB B4	299 ± 5.2	90 ± 2.5%	269 ± 5.2

Die untersuchten Proben weisen einen TS zwischen 24% und 30% auf. Der organische Anteil am Trockenrückstand beträgt 80 bis 90% bei relativ geringen Abweichungen.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt den zeitlichen Verlauf der Biomethanbildung der einzelnen Substrate.

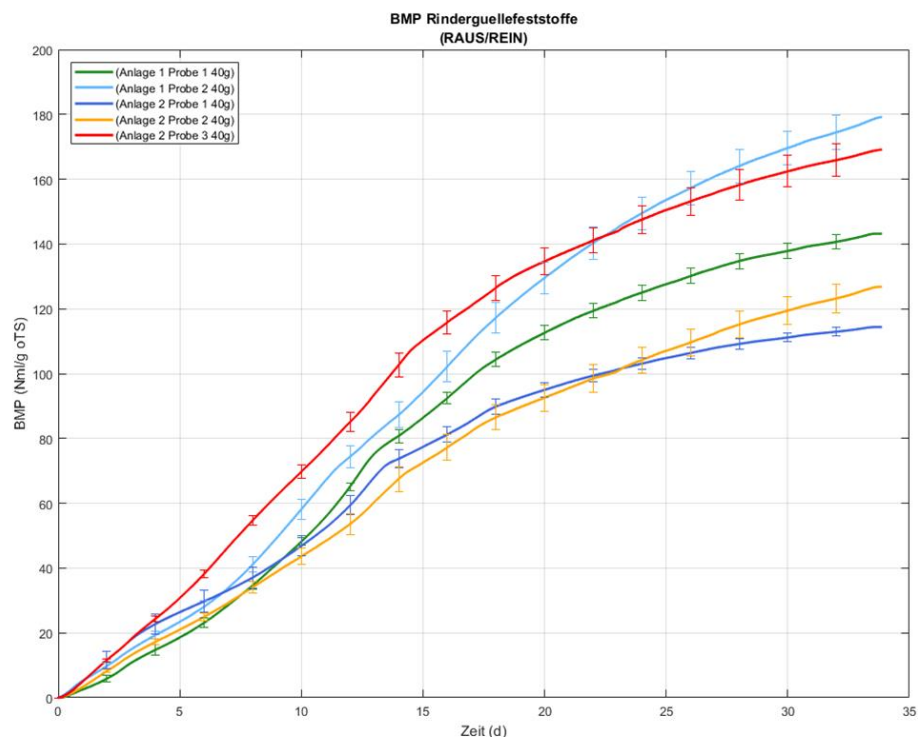


Abbildung 20: Mittelwerte der Messkurven zur Bestimmung des spezifischen Biomethanpotenzials (BMP) in (NmL/g oTS) für Anlage 1, Probe 1 (grün), Anlage 1, Probe 2 (hellblau), Anlage 2, Probe 1 (dunkelblau), Anlage 2, Probe 2 (orange), Anlage 2, Probe 3 (rot)

Aufgrund der Messmethodik konnte nach 33 Tagen kein Signal mehr gemessen werden, obschon der Versuch 40 Tage lang lief. Die Gasbildungskurven von C1 und C3 weisen nach 30 Tagen keine grosse Gaszunahme auf. Die Proben C2, C4 und C5 hingegen zeigen ein weiteres Ansteigen der Gasbildung an. Die spezifischen Biomethanbildungsraten nach 33 Tagen sind in Tabelle 46 aufgeführt.



Tabelle 46: Biomethanproduktion der einzelnen Ansätze bei 37°C nach 33 Versuchstagen

	C3 <i>BGA A</i>	C4 <i>BGA A</i>	C5 <i>BGA A</i>	C1 <i>BGA B</i>	C2 <i>BGA B</i>
Lieferbetrieb	LB A1	LB A1	LB A3	LB B1	LB B1/LB B4
Spez. Biogasproduktion [NI/kg oTS]	114	127	169	143	179

Die Methanerträge weisen mit Werten zwischen 114 und 179 NI/kg oTS einen grossen Schwankungsbereich auf (Mittelwert bei 146 NI/kg oTS). Im Vergleich zu früheren Güllefeststoffuntersuchungen des LEVER-Projektes mit im Mittel 199 NI/kg oTS liegen die gemessenen Erträge um rund einen Viertel tiefer.

Der Energieertrag pro t Feststoff liegt im Mittel bei 324 kWh im Vergleich zu 389 kWh im LEVER entsprechend einem um 17 % geringeren Energieertrag. Hauptgrund für diese Unterschiede dürfte in der Lagerdauer der Rohgülle sowie teilweise in der Lagerdauer der Feststoffe liegen. Unter Praxisbedingungen ist es kaum möglich, immer „frische“ Feststoffe vergären zu können.

3.2.2 Übersicht der untersuchten BGA

Tabelle 47 zeigt eine Übersicht der drei BGA. Dabei handelt es um zwei Nassvergärungsanlagen (BGA A und B) und eine Feststoffvergärungsanlage (BGA C). Bei der BGA C wurde eine der vier Boxen mit 9 t Feststoffen betrieben, wobei das spezifische Gewicht vom Substratmix rund 500 kg pro m³ beträgt.

Tabelle 47: Übersicht der untersuchten BGA

BGA	A	B	C
Anlagentyp	Nassvergärung	Nassvergärung	Feststoffvergärung
Vorgrube	-	-	-
Fermenter (m3)	800	1 500	(4 Boxen je 80 m ³) 320
Nachgärer (m3)	-	1 800	-
Endlager (m3)	600	2 100	-
Substratinput (t/a)	3 500	18000	1820
Substratmix	Rindergülle, Pferdemit, Geflügelmist, Co-Substrate	Rindergülle, Geflügelmist, Rindermist, Co-Substrate	Geflügelmist, Pferdemit, Rindermist, Grüngut
Leistungsdaten			
BHKW (kWel.)	100	265	70
Strommenge	450 000 – 550 000 kWh/a	2 000 000 kWh/a	300 000 – 400 000 kWh/a
Verweildauer gesamt (d)	84	73	28
Verweildauer Fermenter (d)	84	33	28
Mitvergorene Feststoffmenge	Ca. 96 t	Ca. 129 t	Ca. 9 t
Anteil am Input	Ca. 10 %	Ca. 2 - 5 %	Ca. 22%
Investitionsbedarf (Fr.)	Fr. 750 000.-	Fr. 3 000 000.-	Fr. 1 200 000.-
Inbetriebnahme	2006	2014	2017



3.2.3 Feststoffbereitstellungskosten für die BGA

In der Umsetzungsphase des Projektes konnten, im Gegensatz zur Machbarkeitsphase, die tatsächlichen Kosten der Bereitstellung erfasst werden. Zu den Bereitstellungskosten gehören die Kosten der Separierung (z.B. pauschale Anfahrtkosten und Betriebskosten für den Separator) und die Transportkosten vom Abgeberbetrieb zur Biogasanlage.

Die Kosten der Bereitstellung sind von Abgeberbetrieb zu Abgeberbetrieb sehr unterschiedlich. Erfasst wurden nur die tatsächlich angefallenen Kosten. Wenn der Abgeberbetrieb über einen eigenen Separator verfügte und die Betriebskosten nicht verrechnet hat oder der Transport mit Maschinen des Abgeberbetriebes erfolgte, wurden diese Kosten nicht in den Wirtschaftlichkeitskalkulationen berücksichtigt.

Biogasanlage A

Biogasanlage A wurde von insgesamt vier Betrieben beliefert (Tabelle 48). Die Entfernung der Abgeberbetriebe vom Standort der Biogasanlage lag zwischen 2.5 und 36.3 km. Sowohl der nächstgelegene als auch der am weitesten entfernte Abgeberbetrieb verrechneten keine Transportkosten. Beide Abgeber mussten jedoch auf einen externen Separator zurückgreifen, wodurch Separierungskosten anfielen. Die zwei weiteren Abgeberbetriebe wiesen eine Entfernung von 13 bzw. 14 km von der Biogasanlage auf. Da diese Betriebe einen eigenen Separator hatten, entfielen Kosten für die Separierung. Allerdings wurden Transportkosten teilweise oder ganz in Rechnung gestellt.

Die Gesamtkosten für die Separierung lagen zwischen rund Fr. 9.-/t FM und rund Fr. 50.- /t FM. Im Mittel lagen die **Bereitstellungskosten für die Feststoffe bei rund Fr. 35.-/t FM**.

Tabelle 48: Bereitstellungskosten von separierten Feststoffen für Biogasanlage A

Parameter	Transportdistanz	Separator Distanz	Separierung	Feststoffe	Transporte	Gesamt	Kosten
Einheit	km	km	Fr.	t	Fr.	Fr.	Fr./t FM
LB A1	13,9	0	0	22	200	200	9.1
LB A2	2.5	36.3	900	27	0	900	33.3
LB A3	12.8	0	0	26	1'284	1'284	49.4
LB A4	36.3	29.7	950	21	0	950	45.2
Total			1'850	96	1'484	3'334	34.7
Kosten je t			19.3		15.5	34.7	



Biogasanlage B

Biogasanlage B wurde von insgesamt vier Betrieben beliefert (Tabelle 49). Die Entfernung der Abgeberbetriebe vom Standort der Biogasanlage lag zwischen 5.7 und 76.5 km. Die beiden am weitesten entfernten Abgeberbetriebe (jeweils über 70km) verfügten über einen eignen Separator, wodurch keine Separierungskosten anfielen. Der nächstgelegenen Abgeberbetrieb lieferte die Feststoffe auf eigene Rechnung an die Biogasanlage.

Die Gesamtkosten für die Separierung lagen zwischen rund Fr. 45.-/t FM und rund Fr. 62.-/t FM. Im Mittel lagen die **Bereitstellungskosten für die Feststoffe bei rund Fr. 51.-/t FM.**

Tabelle 49: Bereitstellungskosten von separierten Feststoffen für Biogasanlage B

Parameter	Transportdistanz	Separator Distanz	Separierung	Feststoffe	Transporte	Gesamt	Kosten
Einheit	km	km	Fr.	t	Fr.	Fr.	Fr./t FM
LB B1	15.6	61	2'300	67	1'219	3'519	52.5
LB B2	76.5	0	0	30	1'382	1'382	46.1
LB B3	72.2	0	0	15	680	680	45.3
LB B4	5.7	72	1'050	17	0	1'050	61.8
Total			3'350	129	3'281	6'631	51.4
Kosten je t			26.0		25.4	51.4	

Biogasanlage C

Biogasanlage C wurde einmalig von einem Betrieb beliefert (Tabelle 50). Die Entfernung des Abgeberbetriebes vom Standort der Biogasanlage lag bei 2.3 km. Der Abgeberbetrieb verfügte nicht über einen eignen Separator, wodurch Separierungskosten anfielen. Die Lieferung der Feststoffe wurde dagegen nicht in Rechnung gestellt.

Die Gesamtkosten für die **Bereitstellungskosten der Feststoffe lag bei Fr. 40.-/t FM.**

Tabelle 50: Bereitstellungskosten von Feststoffen für Biogasanlage C

Parameter	Transportdistanz	Separator Distanz	Separierung	Feststoffe	Transporte	Gesamt	Kosten
Einheit	km	km	Fr.	t	Fr.	Fr.	Fr./t FM
LB C1	2.3	22.8	600	15	0	600	40.0
Total			600	15	0	600	40.0
Kosten je t			40.0		0.0	40.0	



3.2.4 Ertrag aus Strom und Wärme

Energieerträge aus den Feststoffen

Die Energieerträge aus den tatsächlich gelieferten Feststoffen wurden in externen Vergärungsversuchen für drei Lieferungen auf Biogasanlage A und zwei Lieferungen auf Biogasanlage B analysiert (Vergleiche Kapitel 3.2.1.).

Aus den Analyseergebnissen wurde der Energieertrag in kWh/t FM für jede einzelne Lieferung berechnet (siehe Tabelle 51). Dabei ergaben die Analysen im Rahmen des RAUS-REIN-Projektes einen geringeren Energieertrag als im LEVER-Projekt.

Die gemittelten Energieerträge der Feststoffe von Betrieb A liegen bei einem durchschnittlichen Energieertrag von rund 279.3 kWh/t FM und von Betrieb B bei rund 390 kWh/t FM. Für BGA C liegen keine Analyseergebnisse bzgl. der Energieerträge vor. Für die Berechnung des Energieertrages wurde der Mittelwert aus den fünf analysierten Feststoffproben genutzt.

Tabelle 51: Analytierte Energieerträge aus den Feststoffen

		TS	OTS	TS	OTS	Methanertrag	Biogasertrag	Methanertrag	Energieertrag
				kg/t FM	kg/t FM	NI/kg oTS	m3/t FM	m3/t FM	kWh/t FM
Projekt LEVER	Güllenfeststoffe Betrieb A	18.8%	88.7%	188.0	166.6	184.0	56.5	30.7	306.5
	Güllenfeststoffe Betrieb B	23.8%	90.5%	238.0	215.4	200.0	80.9	43.0	429.2
	Güllenfeststoffe Betrieb C	21.4%	90.7%	214.0	194.2	193.0	72.6	37.5	373.8
	Güllenfeststoffe Betrieb D	25.1%	89.3%	251.0	224.2	190.0	83.0	42.5	424.2
	Güllenfeststoffe Betrieb E	20.7%	88.2%	207.0	182.6	227.0	76.4	41.4	412.6
Raus Rein	Probe C1 - BGA B	23.5%	90.0%	235.0	212.0	143.2	57.3	30.4	302.7
	Probe C2 - BGA B	29.9%	90.0%	299.0	269.0	179.1	90.9	48.2	480.3
	Probe C3 - BGA A	24.9%	81.0%	249.0	202.0	114.4	43.6	23.1	230.4
	Probe C4 - BGA A	25.2%	80.0%	252.0	202.0	126.8	48.3	25.6	255.4
	Probe C5 - BGA A	24.0%	87.0%	240.0	209.0	169.0	66.6	35.3	352.2

Strom und Wärmeerträge

Auf Basis der Energieerträge aus den gelieferten Feststoffen wurde unter Berücksichtigung der jeweiligen BHKW-Herstellerangaben die Bruttostrom und Wärmeerträge berechnet. Die Kalkulation erfolgte in drei Varianten, jeweils für den mittleren Energiegehalt aus den Feststoffen sowie dem niedrigsten und dem höchsten analysierten Energiegehalt.

Von den Bruttoerträgen wurde in einem nächsten Schritt noch der tatsächliche Eigenstromverbrauch der jeweiligen Biogasanlage in Abzug gebracht. Bei der Wärmenutzung wurde nur der Anteil an extern nutzbarer Wärme für die Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt, welcher auch tatsächlich auf den Biogasanlagen genutzt werden kann.

Sowohl der verkaufte Nettostrom als auch die Wärmenutzung wurden mit dem jeweiligen Vergütungssatz der Biogasanlage verrechnet.



Biogasanlage A

Bei Biogasanlage A wurde ein elektrischer Wirkungsgrad des BHKW von 39 % gemäss Herstellerangaben berücksichtigt, was im Mittel einer Bruttostromproduktion von rund 109 kWh entspricht (Tabelle 52). Unter Berücksichtigung des erhobenen Eigenstrombedarfs der Biogasanlage von 14.2 % resultiert in der mittleren Variante eine Nettostromproduktion von rund 94 kWh/ t Feststoff.

Der Strom wird im Rahmen der kostendeckenden Einspeisevergütung mit Rp. 45/kWh vergütet (KEV-Satz im Projektzeitraum), wodurch ein mittlerer Stromerlös von rund Fr. 42.-/t Feststoff resultiert.

Tabelle 52: Energieerträge der BGA A

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Energiegehalt Methan	9.97	9.97	9.97	kWh/m ³ Methan
Bruttoenergie	230.4	279.3	352.2	kWh/t (Bruttoenergie)
el. Wirkungsgrad	39.0%	39.0%	39.0%	elektr. Wirkungsgrad
Bruttostrom	89.9	108.9	137.3	kWh/t (Stromproduktion)
Eigenstrombedarf	14.20%	14.20%	14.20%	Eigenstrombedarf
Nettostrom	77.1	93.5	117.8	kWh/t (Netto-Stromproduktion)
Vergütungssatz Strom	0.45	0.45	0.45	Fr./kWh (Verkaufspreis Strom)
Stromerlös Netto	34.9	42.3	53.4	Fr. /t Feststoff
Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
therm. Wirkungsgrad	46%	46%	46%	therm Wirkungsgrad
Bruttowärme	106.0	128.5	162.0	kWh/t (Wärmeproduktion)
Eigenwärmebedarf BGA	40%	40%	40%	in %
Nettowärme	63.6	77.1	97.2	kWh/t (Wärmeproduktion)
genutzte Wärme	10%	10%	10%	in %
genutzte Nettowärme	6.4	7.7	9.7	kWh/t (Wärmeproduktion)
Wärmepreis	0.05	0.05	0.05	Fr./kWh (Verkaufspreis Wärme)
Wärmeerlös Netto	0.3	0.4	0.5	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	35.2	42.7	53.9	Fr. /t Erlös je t Feststoff

Der thermische Wirkungsgrad des BHKW beträgt laut Herstellerangabe rund 46 %. Die Bruttowärme-
produktion liegt bei rund 129 kWh thermisch. Der Eigenwärmebedarf liegt nach Einschätzungen des
Anlagenbetreibers im Jahresdurchschnitt bei rund 40 %. Die zur externen Verwendung zur Verfügung
stehende Nettowärme liegt damit bei rund 77 kWh. Da auf Anlage A nur eine geringe mittlere Wärme-
nutzung von rund 10 % der Nettowärme möglich ist, können nur rund 8 kWh Wärme tatsächlich verkauft
werden. Bei der Wärmenutzung handelt es sich um eine innerbetriebliche Nutzung (Wohnhaus und
landwirtschaftliche Gebäude), der kalkulatorische Verrechnungspreis wurde in Absprache mit dem An-
lagenbetreiber auf 5 Rp./kWh festgelegt. Die Erlöse aus der Wärmenutzung summieren sich in der mitt-
leren Variante auf rund Fr. 0.4/t Feststoff.



Die Gesamterlöse aus dem Strom- und Wärmeverkauf liegen in der mittleren Variante bei Fr. 42.70/t Feststoff. In der Variante mit dem maximalen Energieertrag aus den Feststoffen auf Fr. 53.90/t Feststoff und in der Variante mit den geringsten Energieertrag aus den Feststoffen auf Fr. 35.20/t Feststoff.

Die möglichen Gesamterlöse variieren demnach – je nach Qualität des eingesetzten Feststoffes – in einer Bandbreite von rund 44 %.

Biogasanlage B

Bei Biogasanlage B wurde ein elektrischer Wirkungsgrad des BHKW von 37.5 % gemäss Herstellerangaben berücksichtigt (Tabelle 53). Dadurch resultiert im Mittel eine Bruttostromproduktion von rund 147 kWh. Unter Berücksichtigung des erhobenen Eigenstrombedarfs der Biogasanlage von 14.75 % resultiert in der mittleren Variante eine Nettostromproduktion von rund 125 kWh je t Feststoff.

Der Strom wird im Rahmen der kostendeckenden Einspeisevergütung mit Rp. 39.6/kWh vergütet (KEV-Satz im Projektzeitraum), wodurch ein mittlerer Stromerlös von rund Fr. 50.-/t Feststoff resultiert.

Tabelle 53: Energieerträge der BGA B

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Energiegehalt Methan	9.97	9.97	9.97	kWh/m ³ Methan
Bruttoenergie	302.7	391.5	480.3	kWh/t (Bruttoenergie)
el. Wirkungsgrad	37.5%	37.5%	37.5%	elektr. Wirkungsgrad
Bruttostrom	113.5	146.8	180.1	kWh/t (Stromproduktion)
Eigenstrombedarf	14.75%	14.75%	14.75%	Eigenstrombedarf
Nettostrom	96.8	125.2	153.6	kWh/t (Netto-Stromproduktion)
Vergütungssatz Strom	0.396	0.396	0.396	Fr./kWh (Verkaufspreis Strom)
Stromerlös Netto	38.3	49.6	60.8	Fr. /t Feststoff
Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
therm. Wirkungsgrad	49%	49%	49%	therm Wirkungsgrad
Bruttowärme	148.9	192.6	236.3	kWh/t (Wärmeproduktion)
Eigenwärmebedarf BGA	30%	30%	30%	in %
Nettowärme	104.2	134.8	165.4	kWh/t (Wärmeproduktion)
genutzte Wärme	80%	80%	80%	in %
genutzte Nettowärme	83.4	107.9	132.3	kWh/t (Wärmeproduktion)
Wärmepreis	0.08	0.08	0.08	Fr./kWh (Verkaufspreis Wärme)
Wärmeerlös Netto	6.7	8.6	10.6	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	45.0	58.2	71.4	Fr. /t Erlös je t Feststoff

Der thermische Wirkungsgrad des BHKW beträgt laut Herstellerangabe rund 49 %. Die Bruttowärme-
produktion liegt bei rund 193 kWh thermisch. Der Eigenwärmebedarf liegt nach Einschätzungen des
Anlagenbetreibers im Jahresdurchschnitt bei rund 30 %. Die zur externen Verwendung zur Verfügung
stehende Nettowärme liegt damit bei rund 135 kWh thermisch. Anlage B betreibt einen Nahwärmever-
bund und kann daher einen Grossteil der zur Verfügung stehenden Wärme tatsächlich verkaufen. Die



mittlere Wärmenutzung liegt bei rund 80 % der Nettowärme. Es können rund 108 kWh Wärme tatsächlich verkauft werden. Der Wärmepreis liegt bei rund 8 Rp./kWh. Die Erlöse aus der Wärmenutzung summieren sich in der mittleren Variante auf rund Fr. 8.60/t Feststoff.

Die Gesamterlöse aus dem Strom- und Wärmeverkauf liegen in der mittleren Variante bei Fr. 58.20/ t Feststoff. In der Variante mit dem maximalen Energieertrag aus den Feststoffen auf Fr. 71.40/t Feststoff und in der Variante mit den geringsten Energieertrag aus den Feststoffen auf Fr. 45.-/t Feststoff. Die möglichen Gesamterlöse variieren demnach je nach Qualität des eingesetzten Feststoffes in einer Bandbreite von rund +23 % und -23 %.

Biogasanlage C

Bei Biogasanlage C wurde ein elektrischer Wirkungsgrad des BHKW von 37.1% gemäss Herstellerangaben berücksichtigt (Tabelle 54). Dadurch resultiert eine Bruttostromproduktion von rund 324 kWh im Mittel. Unter Berücksichtigung des geschätzten Eigenstrombedarfs der Biogasanlage von 10 % resultiert in der mittleren Variante eine Nettostromproduktion von rund 108 kWh je t Feststoff.

Der Strom wird im Rahmen dieser Wirtschaftlichkeitsanalyse kalkulatorisch mit der kostendeckenden Einspeisevergütung von Rp. 45.0/kWh vergütet (möglicher KEV-Satz für die Biogasanlage), wodurch ein mittlerer Stromerlös von rund Fr. 49.-/t Feststoff resultiert. Biogasanlage C befindet sich aktuell auf der Warteliste für die KEV.

Tabelle 54: Energieerträge der BGA C

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Energiegehalt Methan	9.97	9.97	9.97	kWh/m ³ Methan
Bruttoenergie	230.4	324.2	480.3	kWh/t (Bruttoenergie)
el. Wirkungsgrad	37.1%	37.1%	37.1%	elektr. Wirkungsgrad
Bruttostrom	85.5	120.3	178.2	kWh/t (Stromproduktion)
Eigenstrombedarf	10.00%	10.00%	10.00%	Eigenstrombedarf
Nettostrom	76.9	108.2	160.4	kWh/t (Netto-Stromproduktion)
Vergütungssatz Strom	0.45	0.45	0.45	Fr./kWh (Verkaufspreis Strom)
Stromerlös Netto	34.6	48.7	72.2	Fr. /t Feststoff
Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
therm. Wirkungsgrad	50%	50%	50%	therm Wirkungsgrad
Bruttowärme	115.4	162.4	240.6	kWh/t (Wärmeproduktion)
Eigenwärmebedarf BGA	40%	40%	40%	in %
Nettowärme	69.3	97.4	144.4	kWh/t (Wärmeproduktion)
genutzte Wärme	50%	50%	50%	in %
genutzte Nettowärme	34.6	48.7	72.2	kWh/t (Wärmeproduktion)
Wärmepreis	0.05	0.05	0.05	Fr./kWh (Verkaufspreis Wärme)
Wärmeerlös Netto	1.7	2.4	3.6	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	36.3	51.1	75.8	Fr. /t Erlös je t Feststoff



Der thermische Wirkungsgrad des BHKW beträgt laut Herstellerangabe rund 50.1 %. Die Bruttowärmeproduktion liegt bei rund 324 kWh thermisch. Der Eigenwärmebedarf liegt nach Einschätzungen des Anlagenbetreibers im Jahresdurchschnitt bei rund 40 %. Die zur externen Verwendung zur Verfügung stehende Nettowärme liegt damit bei rund 97 kWh thermisch. Anlage C kann im eigenen Landwirtschaftsbetrieb einen Grossteil der zur Verfügung stehenden Wärme nutzen. Die mittlere Wärmenutzung ist mit rund 50 % der Nettowärme geschätzt. Damit könnten rund 49 kWh Wärme tatsächlich innerbetrieblich genutzt werden. Der kalkulatorische Verrechnungspreis wurde in Absprache mit dem Anlagenbetreiber auf 5 Rp./kWh festgelegt. Die Erlöse aus der Wärmenutzung summieren sich in der mittleren Variante auf rund Fr. 2.40/t Feststoff.

Die Gesamterlöse aus dem Strom- und Wärmeverkauf liegen in der mittleren Variante bei Fr. 51.10/t Feststoff. In der Variante mit dem maximalen Energieertrag aus den Feststoffen auf Fr. 75.80/t Feststoff und in der Variante mit den geringsten Energieertrag aus den Feststoffen auf Fr. 36.30/t Feststoff.

Die möglichen Gesamterlöse variieren demnach je nach Qualität des eingesetzten Feststoffes in einer Bandbreite von rund + 48 % und – 29 %.

3.2.5 Variable Kosten, Erträge und Ergebnisse der Vergärung

Im Folgenden wird die Möglichkeit des zusätzlichen Einsatzes der Feststoffe in den drei Biogasanlagen betriebswirtschaftlich bewertet. Für die Analyse der Kosten der Vergärung wird 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 Arbeitskosten, Maschinenkosten (bspw. für die Beschickung), weitere Betriebskosten (bspw. Hilfsstoffe, Hilfsenergie, Analytik, etc.) und die Kosten für die zusätzliche Logistik und ggf. Ausbringung der Gärreste.

Die Betriebskosten für die Biogasanlagen A und B wurden auf Basis von Buchhaltungsdaten auf den Betrieben erhoben. Biogasanlage C dagegen ist eine Neuanlage, für die noch kein vollständiger Buchhaltungsabschluss vorlag. Die Betriebskosten wurden daher mit dem Anlagenbetreiber unter Rückgriff auf Branchenkenntzahlen abgeschätzt.

Den Erträgen aus Strom- und Wärmeverkauf werden die variablen Kosten des Feststoffeinsatzes gegenübergestellt. Dabei erfolgt die Vorgehensweise in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden die variablen Kosten der Vergärung (Variable Anlagenkosten) dargestellt. Im zweiten Schritt erfolgt der Einbezug der variablen Separierungskosten.



Biogasanlage A

Die variablen Anlagenkosten betragen in Summe rund Fr. 16.80/t Feststoff (Tabelle 55). Dabei stellen die Arbeitskosten auf Anlage A den grössten Kostenblock dar, gefolgt von den Kosten für die Gärrestlogistik – also dem Wegführen des Gärsubstrates an Landwirtschaftsbetriebe in der Umgebung. Nur eine untergeordnete Relevanz haben die Betriebs- und Maschinenkosten. Dies ist bei BGA A auf das Anlagenkonzept und den Substrateinsatz zurückzuführen.

Tabelle 55: Erträge, variable Kosten und Ergebnis der Vergärung - BGA A

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Stromerlös Netto	34.9	42.3	53.4	Fr. /t Feststoff
Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
Wärmeerlös Netto	0.3	0.4	0.5	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	35.2	42.7	53.9	Fr. /t Erlös je t Feststoff
Variable Kosten				
Arbeitskosten	8.97	8.97	8.97	Fr. /t Feststoff
Maschinenkosten	0.65	0.65	0.65	Fr. /t Feststoff
Betriebskosten	2.90	2.90	2.90	Fr. /t Feststoff
Gärrestlogistik	4.30	4.30	4.30	Fr. /t Feststoff
Summe variable Anlagenkosten	16.82	16.82	16.82	Fr. /t Feststoff
Separierungskosten	19.27	19.27	19.27	Fr. /t Feststoff
Transportkosten	15.46	15.46	15.46	Fr. /t Feststoff
Summe Separierungskosten	34.7	34.7	34.7	Fr. /t Feststoff
Überschuss/Verlust (nur Anlagekosten)	18.4	25.9	37.0	Fr. /t Feststoff
Überschuss/Verlust (Anlage- und Separierungskosten)	-16.3	-8.8	2.3	Fr. /t Feststoff

Unter Berücksichtigung der variablen Anlagenkosten weist Anlage A einen Überschuss von rund Fr. 26.-/t Feststoff in der mittleren Variante auf. In der Variante „Minimum“ liegt der Überschuss bei rund Fr. 18.-/t und in der Variante „Maximum“ bei rund Fr. 37.-/t.

Werden jedoch die Separierungskosten von rund Fr. 35.-/t Feststoff in die Kalkulation einbezogen, kann mit dem Einsatz von Feststoffen kein Überschuss mehr erzielt werden. Der Verlust in der mittleren Variante liegt bei rund Fr. - 9.-/t und sinkt auf bis zu rund Fr. - 16.-/t ab („Minimum). Nur in der Variante „Maximum“ weist der Einsatz von Feststoffen einen leichten Überschuss von rund Fr. 2.-/t aus.



Biogasanlage B

Die variablen Anlagenkosten betragen in Summe rund Fr. 8.90/t Feststoff (Tabelle 56). Dabei stellen die Arbeitskosten auf Anlage B den grössten Kostenblock dar, gefolgt von den Maschinenkosten, Kosten der Gärrestlogistik und den Betriebskosten.

Tabelle 56: Erträge, variable Kosten und Ergebnis der Vergärung - BGA B

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Stromerlös Netto	38.3	49.6	60.8	Fr. /t Feststoff
Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
Wärmeerlös Netto	6.7	8.6	10.6	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	45.0	58.2	71.4	Fr. /t Erlös je t Feststoff
Variable Kosten				
Arbeitskosten	3.50	3.50	3.50	Fr. /t Feststoff
Maschinenkosten	2.25	2.25	2.25	Fr. /t Feststoff
Betriebskosten	1.38	1.38	1.38	Fr. /t Feststoff
Gärrestlogistik	1.75	1.75	1.75	Fr. /t Feststoff
Summe variable Anlagenkosten	8.89	8.89	8.89	Fr. /t Feststoff
Separierungskosten	25.97	25.97	25.97	Fr. /t Feststoff
Transportkosten	25.43	25.43	25.43	Fr. /t Feststoff
Summe Separierungskosten	51.40	51.40	51.40	Fr. /t Feststoff
Überschuss/Verlust (nur Anlagekosten)	36.1	49.3	62.5	Fr. /t Feststoff
Überschuss/Verlust (Anlage- und Separierungskosten)	-15.3	-2.1	11.1	Fr. /t Feststoff

Unter Berücksichtigung der variablen Anlagenkosten weist Anlage B einen Überschuss von rund Fr. 49.-/t Feststoff in der mittleren Variante auf. In der Variante „Minimum“ liegt der Überschuss bei rund Fr. 36.-/t und in der Variante „Maximum“ bei rund Fr. 63.-/t.

Werden jedoch die Separierungskosten von rund Fr. 51.-/t Feststoff in die Kalkulation einbezogen, kann mit dem Einsatz von Feststoffen in der mittleren Variante kein Überschuss mehr erzielt werden. Der Verlust liegt bei rund Fr. - 2.-/t und sinkt auf bis zu rund Fr. - 15.-/t („Minimum“). Nur in der Variante „Maximum“ kann ein Überschuss von rund Fr. 11.-/t Feststoff erzielt werden.



Biogasanlage C

Die variablen Anlagenkosten betragen in Summe rund Fr. 35.-/t Feststoff (Tabelle 57). Dabei stellen die Arbeitskosten auf Anlage C den grössten Kostenblock dar, gefolgt von der Gärrestlogistik. Maschinen- und Betriebskosten haben einen vergleichsweise geringen Anteil an den variablen Kosten. Anzumerken ist bei dieser Kostenzusammenstellung jedoch, dass Anlage C eine Neuanlage ist und die Kosten auf Basis von Branchenkenntzahlen geschätzt wurden.

Tabelle 57: Erträge, variable Kosten und Ergebnis der Vergärung - BGA C

Strom	Minimum	Mittel	Maximum	
Stromerlös Netto	34.6	48.7	72.2	Fr. /t Feststoff
Wärme	Minimum	Mittel	Maximum	
Wärmeerlös Netto	1.7	2.4	3.6	Fr. /t Feststoff
Gesamterlös	36.3	51.1	75.8	Fr. /t Erlös je t Feststoff
Variable Kosten				
Arbeitskosten	20.40	20.40	20.40	Fr. /t Feststoff
Maschinenkosten	2.10	2.10	2.10	Fr. /t Feststoff
Betriebskosten	1.19	1.19	1.19	Fr. /t Feststoff
Gärrestlogistik	11.35	11.35	11.35	Fr. /t Feststoff
Summe variable Anlagenkosten	35.04	35.04	35.04	Fr. /t Feststoff
Separierungskosten	40.00	40.00	40.00	Fr. /t Feststoff
Transportkosten	0.00	0.00	0.00	Fr. /t Feststoff
Summe Separierungskosten	40.00	40.0	40.00	Fr. /t Feststoff
Überschuss/Verlust (nur Anlagekosten)	1.3	16.1	40.7	Fr. /t Feststoff
Überschuss/Verlust (Anlage- und Separierungskosten)	-38.7	-23.9	0.7	Fr. /t Feststoff

Unter Berücksichtigung der variablen Anlagenkosten weist Anlage C einen Überschuss von rund Fr. 16.-/t Feststoff in der mittleren Variante auf. In der Variante „Minimum“ liegt der Überschuss bei rund Fr. 1.-/t und in der Variante „Maximum“ bei rund Fr. 41.-/t.

Werden jedoch die Separierungskosten von Fr. 40.-/t Feststoff in die Kalkulation einbezogen, kann mit dem Einsatz von Feststoffen in der mittleren Variante kein Überschuss mehr erzielt werden. Der Verlust liegt bei rund Fr. - 24.-/t und sinkt auf bis zu rund Fr. - 39.-/t („Minimum“). Nur in der Variante „Maximum“ kann ein leichter Überschuss von rund Fr. 1.-/t Feststoff erzielt werden.



3.2.6 Vollkosten, Erträge und Ergebnisse der Vergärung

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 der Zusammenstellung der Vollkosten, die auf den Biogasanlagen A und B erhoben wurden. In den Vollkosten sind alle Betriebskosten, die Amortisation und auch kalkulatorische Kosten wie bspw. landwirtschaftliche Familienarbeitskräfte oder Eigenkapitalverzinsung integriert.

Biogasanlage C ist eine Neuanlage, so dass nur die Investitionskosten detailliert erhoben werden konnten. Die Betriebskosten wurden mit dem Anlagenbetreiber unter Rückgriff auf Branchenkennzahlen abgeschätzt.

Biogasanlage A

Den kalkulierten Gesamterlösen aus Strom und Wärme in Höhe von rund Fr. 43.-/t Feststoff, stehen Vollkosten der Biogasanlage A von rund Fr. 38.-/t Substratinput gegenüber (Tabelle 58). In der mittleren Variante resultiert ein Unternehmergewinn von rund Fr. 5.-/t Feststoff. In der Minimum-Variante wird ein Verlust von rund Fr. 3.-/t und in der Maximum-Variante ein Gewinn von rund Fr. 16.-/t erzielt.

Auf dieser Betrachtungsebene werden keine Separierungskosten berücksichtigt. Unter Berücksichtigung von Separierungskosten für die Feststoffe fällt in allen Varianten ein deutlicher Verlust auf, der von Fr. - 19.-/t bis zu Fr. - 37.-/t Feststoff reicht.

Tabelle 58: Vollkosten und Ergebnis der Vergärung - BGA A

Gesamterlös	35.2	42.7	53.9	Fr. /t Erlös je t Feststoff
Vollkosten	37.96	37.96	37.96	Fr. /t Substratinput
Gewinn (ohne Separierungskosten)	-2.7	4.8	15.9	Fr. /t Substratinput
Gewinn (inkl. Separierungskosten)	-37.4	-30.0	-18.8	Fr. /t Substratinput

Biogasanlage B

Den kalkulierten Gesamterlösen aus Strom und Wärme in Höhe von rund Fr. 58.-/t Feststoff, stehen Vollkosten der Biogasanlage B von rund Fr. 25.-/t Substratinput gegenüber (Tabelle 59). Bei der mittleren Variante resultiert ein Unternehmergewinn von rund Fr. 33.-/t Feststoff. In der Minimum Variante beträgt der Gewinn rund Fr. 20.-/t und in der Maximum-Variante rund Fr. 47.-/t erzielt.

Auf dieser Betrachtungsebene werden keine Separierungskosten berücksichtigt. Unter Berücksichtigung von Separierungskosten für die Feststoffe fällt in allen Varianten ein deutlicher Verlust auf, der von Fr. - 5.-/t bis zu Fr. - 31.-/t Feststoff reicht.



Tabelle 59: Vollkosten und Ergebnis der Vergärung - BGA B

Gesamterlös	45.0	58.2	71.4	Fr. /t Erlös je t Feststoff
Vollkosten	24.85	24.85	24.85	Fr. /t Substratinput
Gewinn (ohne Separierungskosten)	20.1	33.3	46.5	Fr. /t Substratinput
Gewinn (inkl. Separierungskosten)	-31.3	-18.1	-4.9	Fr. /t Substratinput

Biogasanlage C

Den kalkulierten Gesamterlösen aus Strom und Wärme in Höhe von rund Fr. 51.-/t Feststoff, stehen Vollkosten der Biogasanlage C von rund Fr. 117.-/t Substratinput gegenüber (Tabelle 60). In der mittleren Variante resultiert ein Verlust von rund Fr. - 66.-/t Feststoff. In der Minimum-Variante beträgt der Verlust rund - Fr. 81.-/t und in der Maximum-Variante rund Fr. - 42.-/t erzielt.

Unter Berücksichtigung von Separierungskosten für die Feststoffe steigt in allen Varianten der Verlust deutlich an und reicht von Fr. - 82.-/t bis zu Fr. - 120.-/t Feststoff.

Tabelle 60: Vollkosten und Ergebnis der Vergärung - BGA C

Gesamterlös	36.3	51.1	75.8	Fr. /t Erlös je t Feststoff
Vollkosten	117.53	117.53	117.53	Fr. /t Substratinput
Gewinn (ohne Separierungskosten)	-81.2	-66.4	-41.7	Fr. /t Substratinput
Gewinn (inkl. Separierungskosten)	-121.2	-106.4	-81.7	Fr. /t Substratinput

3.2.7 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit

- Die Energieerträge aus den analysierten Feststoffproben weisen geringere Werte gegenüber denjenigen des LEVER-Projektes auf.
- Aus der Vergärung können alle drei untersuchten Biogasanlagen sowohl elektrische Energie als auch Wärmeenergie verkaufen. Bei der Wärme liegt bei zwei Anlagen jedoch nur ein innerbetrieblicher kalkulatorischer Verrechnungspreis vor, da kein tatsächlicher Verkauf erfolgt.
- Die Stromerlöse je t Feststoff liegen in den mittleren Varianten zwischen Fr. 42.30 und Fr. 49.60 je t Feststoff. Die Wärmeerlöse zwischen Fr. 0.40 und Fr. 8.60 je t Feststoff.
- Die Separierungskosten bzw. Bereitstellungskosten für Feststoffe liegen bei den Anlagen im Durchschnitt zwischen Fr. 16.80 und Fr. 51.40 je t Feststoff. Die variablen Kosten der Vergärung zwischen Fr. 8.90 und Fr. 35.00 je t Feststoff.
- Unter Berücksichtigung der variablen Kosten kann bei allen drei Biogasanlagen ein positives Ergebnis in der mittleren Variante erzielt werden, welches zwischen Fr. 16.10 und Fr. 49.30 je



t Feststoff liegt. In dieser Betrachtung sind die Bereitstellungskosten für Feststoffe nicht berücksichtigt.

- **Zwischenfazit 1:** Der Einsatz von Feststoffen als zusätzliches Substrat führt zu einem positiven Gewinnbeitrag bei allen drei untersuchten Biogasanlagen, wenn Feststoffe gratis franko Biogasanlage geliefert werden.
- Werden die Bereitstellungskosten für Feststoffe bei den variablen Kosten der Vergärung einbezogen, resultiert bei allen drei Biogasanlagen ein negativer Gewinnbeitrag = Verlust. Der Verlust liegt bei den mittleren Varianten in einer Spanne zwischen Fr. - 2.10 und Fr. - 23.90 je t Feststoff.
- **Zwischenfazit 2:** Unter Einbezug der Bereitstellungskosten bei den variablen Kosten der Vergärung kann keine Biogasanlage einen positiven Gewinnbeitrag erzielen. Die Bereitstellungskosten können nicht vollständig durch die Biogasanlage getragen werden.
- Die Vollkosten der Vergärung liegen bei den drei Biogasanlagen zwischen Fr. 24.85 und Fr. 117.53 je t Inputsubstrat. Anlage C mit den hohen Vollkosten je t Inputsubstrat ist als Spezialfall zu sehen, da nur geringe Gesamtmengen an Substrat vergoren werden, diese jedoch sehr energiereich sind.
- Die Betrachtungsebene der Vollkosten dient der Analyse, ob sich mittels Feststoffe bestehende Substrate der Biogasanlage ersetzen lassen.
- Die Ergebnisse der Vollkostenbetrachtung zeichnen ein sehr heterogenes Bild. Die Biogasanlagen A und B können einen Gewinn ausweisen der zwischen Fr. 4.80 und Fr. 33.30 je t Feststoff liegt. Eine Substitution bestehender Substrate durch Feststoffe ist betriebswirtschaftlich vertretbar, insbesondere bei Biogasanlage B mit einem Gewinn von Fr. 33.30 je t Feststoff. Die Bereitstellungskosten für die Feststoffe wurden hier nicht berücksichtigt.
- Bei Biogasanlage C wird ein negativer Gewinnbeitrag erzielt. Aufgrund des hohen Energieertrages des bestehenden Substratgerüstes ist eine Substitution mit Feststoffen nicht zu empfehlen.
- **Zwischenfazit 3:** Die Substitution bestehender Substrate durch Feststoffe kann bei einzelnen Biogasanlagen betriebswirtschaftlich empfohlen werden. Eine individuelle Kalkulation ist jeweils notwendig.
- Werden die Bereitstellungskosten für Feststoffe bei den Vollkosten einbezogen, resultiert bei allen drei Biogasanlagen ein Verlust zwischen Fr. - 18.10 und Fr. - 106.40 je t Feststoff.
- **Zwischenfazit 4:** Unter Einbezug der Bereitstellungskosten bei den Vollkosten kann keine Biogasanlage einen positiven Gewinnbeitrag erzielen. Die Bereitstellungskosten können bei keiner Biogasanlage vollständig getragen werden.
- **Resümee:** Feststoffe als zusätzliches Substrat in die Vergärung zu nehmen ist für landwirtschaftliche Biogasanlagen betriebswirtschaftlich interessant. Die Bereitstellungskosten für Separierung und Transport der Feststoffe können jedoch nicht von den Biogasanlagen getragen werden. Wie hoch eine etwaige Kostenbeteiligung der Biogasanlage ausfallen könnte, hängt von der Höhe der vom Anlagenbetreiber gewünschten Gewinnbeiträge ab. Denkbar wäre bspw., dass die Biogasanlage den Transport und der Lieferbetrieb die Separierung der Feststoffe trägt.
Die Substitution bestehender Substrate ist dagegen nur in Einzelfällen zu empfehlen und jeweils individuell zu beurteilen. Eine Übernahme von Bereitstellungskosten für Feststoffe ist auch in diesem Fall nicht möglich.



3.3 Energie

3.3.1 Separierung

Im Bereich der Separierung kann zwischen dem Energiebedarf zur Bereitstellung des fahrbaren Separators und dem Energiebedarf für den Betrieb des Separators unterschieden werden (Tabelle 61). Bei stationär betriebenen Geräten entfällt die Bereitstellung.

Tabelle 61: Energiebedarf der Separierung

Biogas-anlage	Liefer-betrieb	Feststoff Masse t	Bereitstellung des Separators					Betrieb des Separators			Gesamt Energiebed. kWh/t		
			Distanz km	Sep.einsatz n	Fahrdistanz km	l	Dieselvebrauch kWh	Energiebed. kWh/t	Betrieb des Separators h	Energiebed. kWh/t			
BGA A	LB A1	22	0	3	0	0	0	0	0	11	154	7.0	7.0
	LB A2	27	36.3	1	145.2	16.0	156.4	5.8	14.4	216	8.0	13.8	
	LB A3	26	0	2	0	0	0	0	13	182	7.0	7.0	
	LB A4	21	29.7	1	118.8	13.1	127.9	6.1	14	210	10.0	16.1	
Mittelwert BGA A		24					71.1	3.0	13.1	190.5	8.0	11.0	
BGA B	LB B1	67	61	2	488	53.7	525.5	7.8	30.1	451.5	6.7	14.6	
	LB B2	30	0	2	0	0	0	0	15	210	7.0	7.0	
	LB B3	15	0	1	0	0	0	0	7.5	105	7.0	7.0	
	LB B4	17	72	1	288	31.7	310.1	18.2	11.9	178.5	10.5	28.7	
Mittelwert BGA B		32.3					208.9	6.5	16.1	236.3	7.8	14.3	
BGA C	LB C1	9	22.8	1	91.2	10.0	98.2	6.5	7.6	114	7.6	14.1	
Mittelwert BGA A, B, C		26					135.4	4.9	13.8	202.3	7.87	12.8	

Legende: BGA A, B, C = Biogasanlage; LB = Lieferbetrieb; Distanz = Entfernung vom Anbieter des fahrbaren Separators zum LB; Fahrdistanz = zurückgelegte km vom Anbieter des fahrbaren Separators zum LB für das Einrichten bzw. die Rücknahme des Separators

Die Bereitstellung des fahrbaren Separators ist abhängig von der Anzahl Einsätzen, die auf dem jeweiligen LB durchgeführt wurden. Aus der Distanz zwischen dem Anbieter des Separators und dem LB ergibt sich die zurückgelegte Fahrdistanz. Für das Einrichten bzw. die Rücknahme des Gerätes muss jeweils die doppelte Distanz kalkuliert werden. Der entsprechende Dieselvebrauch basiert auf einem Transportfahrzeug mit einem durchschnittlichen Dieselvebrauch von 11 l/100 km.

Der Betrieb des Separators benötigt elektrische Energie. Für den fahrbaren Separator liegt der Anschlusswert bei 15 kW und für stationäre Geräte, die kein Feststoffförderband aufweisen, bei 14 kW. Die Durchsatzleistung beträgt auf allen LB rund 20 m³/h, was bei einer durchschnittlichen Massenabtrennung von 10 % 2 t Feststoffe/h entspricht.

Der Energiebedarf für die Bereitstellung liegt bei etwa 5 kWh/t Feststoff und für den Betrieb des Separators sind knapp 8 kWh/t Feststoff notwendig. Der hohe Anteil für die Bereitstellung ist auf die grossen Distanzen zwischen dem Anbieter der überbetrieblichen Separierung und den LB zurückzuführen. Wird der fahrbare Separator im lokalen Bereich eingesetzt, ist von einem deutlich geringeren Aufwand auszugehen.

Im Vergleich zu den in der Machbarkeit berechneten Werten für den Energiebedarf für den Betrieb des Separators mit 6.5 kWh/t Feststoff, ist mit 7.9 kWh ein höherer Bedarf festzustellen. Einerseits ist dies auf teilweise TS-reiche Gülle (LB A2) mit entsprechend geringen Durchsatzleistungen andererseits auf Verstopfungen des Siebkorb (LB A4) sowie das Separieren aus der Grube, in die die Dünngülle zurückfliesst und dadurch eine Verdünnung der Rohgülle erfolgt, zurückzuführen.



3.3.2 Transporte

Die Feststoffe wurden sowohl mit landwirtschaftlichen Mitteln als auch mit gewerblichen Dienstleistern transportiert. In Abhängigkeit der Masse an Feststoffen und der Fahrdistanz sowie der verwendeten Transportmittel schwankt der Energiebedarf für die Transporte von 1.3 kWh bis 35.7 kWh/t Feststoff (Tabelle 62). Im Mittel liegt der Energiebedarf bei 14.7 kWh/t. Im lokalen Bereich (bis 6 km) sind Traktoren zu bevorzugen. Im regionalen und insbesondere im überregionalen Bereich sind Lastwagen für den Transport vorzusehen.

Tabelle 62: Energiebedarf der Transporte

Biogas-anlage	Liefer-betrieb	Feststoff Masse t	Distanz Transport km	Fahrzeug Typ	Leistung Klasse kW	Trsp.mulde m3	Anzahl Fahrten n	Fahrdistanz km	Dieselverbrauch		Energie-bedarf kWh/t
									l	kWh	
BGA A	LB A1	22	13.9	Traktor	74	15	3	83.4	28.3	277.5	12.6
	LB A2	27	2.5	Traktor	100	40	2	10.0	3.7	36.4	1.3
	LB A3	26	12.8	LKW	400	40	2	51.2	18.3	179.0	6.9
	LB A4	21	36.3	Traktor	100	30	2	145.2	60.8	594.8	28.3
Mittelwert BGA A		48	16.4					72.5	27.8	271.9	12.3
BGA B	LB B1	67	15.6	Traktor	100	26	5	156.0	65.3	639.1	9.5
	LB B2	30	76.5	LKW	400	40	2	306.0	109.3	1'069.9	35.7
	LB B3	15	72.2	LKW	400	40	1	144.4	51.6	504.9	33.7
	LB B4	17	5.7	Traktor	74	20	1	11.4	3.9	37.9	2.2
Mittelwert BGA B		65	42.5					154.5	57.5	563.0	20.3
BGA C	LB C1	9	2.3	Traktor	74	20	1	4.6	1.6	15.31	1.7
Mittelwert BGA A, B, C		26	26.4					101.4	38.1	372.8	14.7

Im Vergleich zu den in der Machbarkeitsstudie erarbeiteten Daten betreffend des Energiebedarfs für die Separierung und die Transporte separierter Feststoffe für die Vergärung stimmen weitgehend mit den Zahlen aus der Umsetzungsphase überein. Bei der Separierung ist der Aufwand zur Bereitstellung des fahrbaren Separators zu berücksichtigen. Auf überregionaler Ebene beträgt dieser Anteil am gesamten Energiebedarf für die Separierung 39 %.

Transporte im lokalen Bereich sind mit Traktoren und Mulden ab 20 m³ Fassungsvermögen sinnvoll. Auf regionaler Ebene sind Traktoren höherer Leistungsklasse oder LKW mit entsprechend grösseren Ladevolumen zu bevorzugen.

Der mittlere Energieaufwand zur Bereitstellung von separierten Feststoffen für die Vergärung liegt bei knapp 28 kWh (Strom und Diesel). Bei einem mittleren Gasertrag von rund 324 kWh/t Feststoff entspricht dies einem Anteil von 8.5 % des Gasertrags.



3.3.3 BGA

Bei den drei untersuchten Biogasanlagen liegt der Eigenstrom- und Wärmebedarf zwischen 12.1 und 21.8 kWh_{el.}/t bzw. zwischen 49 bis 82 kWh_{th.}/t (Tabelle 63).

Während der Eigenstromverbrauch bei den Biogasanlagen gemessen und dadurch relativ exakt dokumentiert werden kann, beruhen die Angaben zum Eigenwärmebedarf auf den Einschätzungen der Biogasanlagenbetreiber.

Tabelle 63: Eigenstrom- und Wärmebedarf zur Vergärung von Feststoff

Anlagentyp	Eigenstrombedarf (kWh _{el.} /t)	Eigenwärmebedarf (kWh _{th.} /t)
BGA A	21.8	51.0
BGA B	17.4	57.8
BGA C	12.1	65.0

3.4 Akzeptanz

3.4.1 Lieferbetriebe

Ein Betrieb betreibt Aufzuchtaltung, alle anderen Lieferbetriebe halten Milchvieh mit mehr als 50 GVE in Laufställen. Bei allen Betrieben, die mit einer fahrbaren Anlage Gülle separieren, hat sich die Bereitschaft an der Lieferung von Feststoffen mitzumachen im Verlauf der Umsetzungsphase erhöht. Die Verbesserung der technologischen Eigenschaften der Dünngülle wurde offensichtlich geschätzt. Diejenigen Betriebe, die keine zweite Lagergrube für die Dünngülle haben, können die Vorteile der Separierung nicht optimal ausnutzen. Betriebe, die einen eigenen Separator einsetzen, verfügen für die Lagerung der Dünngülle über eine zweite Grube.

Die Bereitstellung von Feststoffen gestaltete sich während des Sommerhalbjahres als schwierig, da mehrheitlich wenig Gülle gelagert wird. Während des Winterhalbjahres verfügen die Betriebe in der Regel über ausreichend Gülle. Somit könnte eine BGA mit Feststoffen beliefert werden, wenn ein grösserer Wärmebedarf besteht.

Betriebe mit einem geringen Nährstoffüberschuss sind bereit mitzumachen. Auf lokaler Ebene werden teilweise Eigenleistungen, wie Transporte, erbracht.

Betriebe ohne Nährstoffüberschüsse sind weniger bereit mitzumachen. Diejenigen, die mitmachen, sind auf die Rückführung von Gärsubstrat angewiesen.

Die Akzeptanz bei den Lieferbetrieben ist vorhanden, wenn der Aufwand zur Bereitstellung von Feststoffen mit einem Nutzen für den jeweiligen Betrieb verbunden werden kann. Beispielsweise separierte ein biologisch wirtschaftender Betrieb Feststoffe und ein anderer biologisch bewirtschafteter Betrieb übernahm die entsprechenden Gärsubstratmengen. Der Lieferbetrieb konnte in diesem Fall seine Phosphor-Bilanz ausgleichen.

Es ist mit einer Steigerung der Akzeptanz zu rechnen, wenn die fahrbare Separieranlage im lokalen Bereich eingesetzt werden kann.



Aus der Umsetzung der Feststoffvergärung zeichnen sich, wie in der Machbarkeit bereits erwähnt, drei 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, sind eher bereit die Kosten für die Separierung und allenfalls einen Teil der Transportkosten zu übernehmen. Diese Kosten müssen geringer sein, als der Transport von Rohgülle.
- 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.

Der Einsatz von separierten Feststoffen als Einstreuersatz ist in der Praxis eingeschränkt, weil einige Käseproduzenten (Tilsiter- und Appenzellerkäse) keine Milch von diesen Betrieben entgegen nehmen. Diese Betriebe könnten hingegen ebenfalls für das Konzept „RAUS – REIN“ Interesse zeigen.

3.4.2 Logistik

Die Zusammenarbeit mit Unternehmen im Bereich überbetrieblicher Separierung und Transporte ist auf allen drei BGA umgesetzt worden. Der Standort des Anbieters der fahrbaren Separieranlage lag für alle Lieferbetriebe im überregionalen Bereich (> 15 km Distanz). Für eine langfristige Umsetzung wird eine Lösung auf lokaler Ebene mit Betrieb des Separiergerätes durch die beteiligten Landwirte bevorzugt. Alle beteiligten Unternehmen unterstützen die Idee und sind bereit ihre Dienstleistungen anzubieten. Alle Kontaktierten stimmen einer Realisierung zu, sofern das Konzept über längere Zeit läuft und eine für sie verlässliche Kalkulation und Auslastung der Maschinen erfolgen kann. Damit könnten sie tiefere Preise als kalkuliert anbieten.

3.4.3 BGA-Betreiber

Der Einsatz von separierten Feststoffen in Biogasanlagen stiess bei den Anlagebetreibern grundsätzlich auf positive Resonanz. In Bezug auf das Handling und die Lagerung kann auf bestehende Infrastruktur der Festmistlagerung zurückgegriffen werden und es sind keine zusätzlichen Investitionen in separate oder neue Lagerkapazitäten (wie z.B. Flüssigkeitstanks) erforderlich. Die Betriebe sind bereits mit entsprechender Mechanisierung ausgerüstet, um die Feststoffe problemlos in den Biogasprozess einzubringen. All diese Punkte führen dazu, dass insbesondere die gute Handhabung und Vergärbarkeit der Feststoffe positiv erwähnt wurden.

Ebenfalls hervorgehoben wurden die positiven Eigenschaften bei der Lagerung. Insbesondere die Tatsache, dass im Vergleich zu anderen organischen Reststoffen wie z.B. Gemüserüstabfälle, keinerlei geruchsintensive Abbaurückstände wie Sickersäfte entstehen und die Lagerfläche so weitgehend unverschmutzt bleibt. Auch wurde der Feststoff gerne als Abdeckmaterial für geruchsintensive Materialien genutzt.

Aufgrund des geringen Anteils der Feststoffe am Substratmix von weniger als 10 % spielen die angelieferten Nährstoffmengen (Nährstofffrachten) für die Anlagenbetreiber eine eher untergeordnete Rolle. Abnehmerseitig besteht ein grosses Interesse für Gärsubstrat. Im Optimalfall werden die zugeführten Nährstofffrachten an den Lieferbetrieb in flüssiger Form zurückgeführt, was zusätzlich die Akzeptanz auf Seiten der Lieferbetriebe steigert.



Wegen der geringen Anteile von Feststoffen am Substratmix konnten bezüglich Gasertrag und Gasqualität keine relevanten Aussagen getroffen werden.

Die BGA-Betreiber sind zwar bereit, Transportleistungen für die Ausbringung zu übernehmen, jedoch nicht für die Anlieferung. Bezüglich Separierungskosten besteht die Meinung, dass diese zu Lasten der Lieferbetriebe gehen müssten. Ebenso sind die BGA-Betreiber nicht bereit die Organisation der Feststoffbeschaffung zu übernehmen.

3.4.4 Abnehmerbetriebe

Bestehende Kontakte sind vorhanden. Falls notwendig, werden neue Abnehmerbetriebe gesucht. Bei Abnehmern, die selbst Feststoffe geliefert hatten, sind teilweise Bedenken bezüglich Unkrautsamen (wie Ampfer (Blacke) oder Erdmandelgras) geäußert worden. Diese Bedenken sind nach dem aktuellen Stand der Forschung unbegründet, da die angesprochenen Unkrautsamen vollständig in landwirtschaftlichen Biogasanlagen ihre Keimfähigkeit verlieren (z.B. Fuchs et al. 2017). Die Aufklärung potenzieller Abnehmerbetriebe ist aufgrund der geäußerten Bedenken jedoch notwendig.

3.4.5 Behörden

Die kantonalen Behörden sind über das Projekt informiert. Der Kanton Thurgau ist interessiert an der Idee, da zwei der drei BGA in diesem Kanton in Betrieb stehen.

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 dürfte als Umsetzungsbedingung in Erwägung gezogen werden. Es sind keine gesetzlichen Hindernisse für die Umsetzung festgestellt worden. 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. Wenn an Stelle von Rohgülle Feststoffe transportiert werden, kann das letztgenannte Argument entkräftet werden.

4 Akquisition und Kommunikation

Im Mai 2017 ist das Konzept „RAUS – REIN“ an der Tagung des BFE „Bioenergieforschung in der Schweiz“ präsentiert worden. Im Rahmen eines Informationsaustausches unter Forschungsinstitutionen wurde das Projekt ebenfalls im SCCR Biosweet „Manure to Electricity“ vorgestellt.

Inzwischen sind mit verschiedenen weiteren Akteuren Kontakte aufgenommen worden. In einer Region im Kanton Thurgau könnte eine Umsetzung der Konzeptidee einer Feststoffvergärung geplant werden. Ein weiterer Standort mit der Möglichkeit separierte Feststoffe mit zu vergären wird evaluiert.



5 Schlussfolgerungen

Zielerreichung und Konzeptidee

- Die Ergebnisse aus der Machbarkeitsstudie konnten verifiziert werden.
- Die Mitvergärung von Feststoffen wurde auf drei landwirtschaftlichen BGA, zwei Flüssig- und eine Feststoffanlage, getestet.
- Die Konzeptidee konnte sowohl den Behörden als auch landwirtschaftlichen Akteuren vorgestellt werden.
- Aus Kostengründen ist eine Verbreitung auf überregionaler Ebene kaum wahrscheinlich.
- Auf regionaler Ebene ist die Umsetzung momentan schwierig. Organisationsmässige Optimierungen und Reduzierung der Kosten könnten eine Umsetzung unterstützen
- Nach bisherigen Erkenntnissen zeichnet sich ab, dass das Konzept „RAUS – REIN“ vor allem auf lokaler Ebene bei Landwirten auf Interesse stösst. Die Vorteile der Separierung, allenfalls die Möglichkeit eines Nährstoffexports wie auch die Rücknahme von Gärsubstrat sind Gründe mitzumachen.

Feststoff

- Separierte Feststoffe aus Rindviehgülle stellen ein Potential zur energetischen Nutzung von Hofdünger dar. Ein mehrfach höherer Energieinhalt im Vergleich zu Rohgülle steigert die Attraktivität für eine Vergärung und verbessert die Transportfähigkeit. Die stoffliche Nutzung kann mit einer energetischen verbunden werden.
- Positive Argumente, die durch die Separierung erzielt werden, wie problemlose Ausbringung der Dünggülle, keine Pflanzenverschmutzung sowie gesteigerte Stickstoffwirkung können eine Umsetzung der Feststoffvergärung in die Praxis begünstigen.
- Das Handling der Feststoffe, wie Lagerung und Umschlag/Förderung können mit üblichen Gerätschaften durchgeführt werden. Das spezifische Gewicht frisch separierter Feststoffe, zwischen 0.5 bis 0.6 kg/l, führt beim Transportieren zu einem höheren Transportvolumen und damit zu einem grösseren Aufwand.

Lieferbetriebe

- Wenn keinerlei Kosten zur Bereitstellung der Feststoffe anfallen, ist die Mehrheit der Betriebe bereit Feststoffe zu liefern.
- Lieferbetriebe, die einen betrieblichen Nährstoffüberschuss aufweisen, sind eher bereit die Kosten für die Separierung und allenfalls einen Teil der Transportkosten zu übernehmen. Diese Kosten müssen geringer sein, als der Transport von Rohgülle.
- Betriebe ohne Nährstoffüberschüsse sind weniger bereit mitzumachen. Diejenigen, die mitmachen, sind auf die Rückführung von Gärsubstrat angewiesen.
- Lieferbetriebe, die die Vorteile der Separierung für ihren Betrieb erkennen, sind bereit Feststoffe zur Vergärung abzugeben. Dazu zählen auch Betriebe, die einen Beitrag zur energetischen Nutzung von Hofdünger leisten möchten.
- Die Bereitstellung von Feststoffen wird von der Jahreszeit beeinflusst. Während des Sommerhalbjahres wird eher wenig Gülle gelagert, was eine effiziente Separierung beeinträchtigt. Im Winterhalbjahr verfügen die Betriebe in der Regel über ausreichend Gülle. Somit bietet sich der Vorteil, eine BGA mit Feststoffen zu beliefern, wenn ein grösserer Wärmebedarf besteht.



- Die Akzeptanz bei den Lieferbetrieben ist vorhanden, wenn der Aufwand zur Bereitstellung von Feststoffen mit einem Nutzen für den jeweiligen Betrieb verbunden werden kann.

Logistik

- Alle beteiligten Unternehmen im Bereich überbetrieblicher Separierung und Transporte unterstützen die Konzeptidee und sind bereit ihre Dienstleistungen anzubieten.
- Alle Kontaktierten stimmen einer Realisierung zu, sofern das Konzept über längere Zeit läuft und eine für sie verlässliche Kalkulation und Auslastung der Maschinen erfolgen kann. Damit könnten sie tiefere Preise als kalkuliert anbieten.

Vergärung

- Separierte Feststoffe sind grundsätzlich für die Vergärung, sowohl in Flüssig- als auch Feststoffvergärungsanlagen, geeignet.

Wirtschaftlichkeit

- Die Kosten der Separierung je Lieferbetrieb betragen zwischen Fr. 0.- bis Fr. 62.- pro t Feststoff. Die Transportkosten je Lieferbetrieb belaufen sich auf Fr. Fr. 0.- bis Fr. 49.- pro t Feststoff. Durch eine konstante Umsetzung des Konzepts im lokalen Bereich liessen sich die Kosten senken.
- Die analysierten Feststoffe weisen mit 324 kWh/t einen geringeren Energieertrag im Vergleich zum LEVER-Projekt mit 389 kWh/t auf
- Die Stromerlöse je t Feststoff liegen in den mittleren Varianten zwischen Fr. 42.30 und Fr. 49.60 je t Feststoff. Die Wärmeerlöse je t Feststoff variieren zwischen Fr. 0.40 und Fr. 8.60.
- Die variablen Kosten der Vergärung liegen in den mittleren Varianten zwischen Fr. 8.90 und Fr. 35.- je t Feststoff. Damit kann bei allen drei Biogasanlagen ein positives Ergebnis in der mittleren Variante zwischen Fr. 16.10 und Fr. 49.30 je t Feststoff erzielt werden, wenn Feststoffe gratis franko Biogasanlage geliefert werden. Denkbar wäre bspw., dass die Biogasanlage den Transport und der Lieferbetrieb die Separierung der Feststoffe trägt.
- Werden die Bereitstellungskosten für Feststoffe bei den variablen Kosten der Vergärung einbezogen, resultiert bei allen drei Biogasanlagen ein Verlust zwischen Fr. - 2.10 und Fr. - 23.90 je t Feststoff.
- Die Vollkosten der Vergärung liegen zwischen Fr. 24.85 und Fr. 117.53 je t Inputsubstrat. Ohne Bereitstellungskosten für die Feststoffe, entsteht ein sehr heterogenes Bild. Die Biogasanlagen A und B können einen Gewinn ausweisen, der zwischen Fr. 4.80 und Fr. 33.30 je t Feststoff liegt. Die Substitution bestehender Substrate durch Feststoffe kann bei einzelnen Biogasanlagen betriebswirtschaftlich empfohlen werden. Eine individuelle Kalkulation ist jeweils notwendig. Unter Einbezug der Bereitstellungskosten kann bei keiner Biogasanlage ein Gewinn erzielt werden. Der Verlust liegt bei den mittleren Varianten zwischen Fr. - 18.10 und Fr. - 106.40 je t Feststoff.



Energie

- Beim Energiebedarf wurde sowohl der Betrieb und Transport der mobilen Separierungsanlage als auch der Transport der Feststoffe zur BGA berücksichtigt.
Bezogen auf den Bruttoenergieinhalt der Feststoffe ist weniger als 3 % für die Bereitstellung nötig.
- Bezogen auf den Gasertrag sind es rund 8.5 %. Die Energiebilanz fällt damit deutlich positiv aus.

Behörden

- Die kantonalen Behörden sind interessiert an der Idee.
- Geschätzt werden die vorteilhaften Wirkungen der Separierung, insbesondere die gute Eignung der Dünggülle im Futterbau sowie die problemlose Ausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler.
- Die Ausbringung der Dünggülle mittels Schleppschlauch dürfte als Umsetzungsbedingung in Erwägung gezogen werden.
- Es sind keine gesetzlichen Hindernisse für die Umsetzung erkannt worden. Einschränkend auf eine rasche Umsetzung wirkt sich die lange Zeitdauer für die Bewilligung und den Bau einer neuen Biogasanlage aus. Positiv angesehen wird der geringere Transportaufwand, wenn an Stelle von Rohgülle Feststoffe vergoren werden.

6 Ausblick

Eine neue Idee, wie das Konzept „RAUS – REIN“, Feststoffe „RAUS“ aus der Gülle und „REIN“ in die Vergärung, benötigt Zeit und gezielte lokale Aufklärungsarbeit, um in der Praxis umgesetzt zu werden. Obwohl einzelne Segmente des Konzepts, wie die Separierung und Transporte oder die Vergärung bekannt sind, ist die Kombination für viele mögliche Beteiligte nicht geläufig. Unbekanntes verursacht Unsicherheit.

Um die Attraktivität für die Landwirtschaft steigern zu können, lassen sich aus dem Projekt folgende Bereiche zur Optimierung erkennen:

1. Verfahrenstechnik:

Steigerung der Effizienz bei der Separierung bezüglich Abtrennung organischer Substanz und Nährstoffen. Dies führt zu einer Zunahme des Energiegehalts der Feststoffe und damit zu einer Erhöhung des Ertrages bei der Vergärung. Eine verstärkte Nährstoffabtrennung fördert die Bereitschaft auf Seiten der Lieferbetriebe, da sie so ihre Nährstoffbilanz ausgleichen können.

2. Gärprozesstechnik:

Steigerung der Effizienz bei der Vergärung. Neue Verfahren zur Vorbehandlung von Substrat für die Vergärung als auch Weiterentwicklungen des Vergärungsprozesses könnten eine Verbreitung der Feststoffvergärung unterstützen.

3. Logistik:

Anschaffung eines mobilen Separators und gemeinschaftlicher Betrieb inklusive der Organisation für die Feststofflieferung auf lokaler Ebene.



Die Rahmenbedingungen für eine erfolgversprechende Umsetzung sind:

- Hohe Bereitschaft aller Beteiligten an einer Feststoffvergärung mitzumachen und sich aktiv an einer entsprechenden Organisationsform zu beteiligen z.B. Maschinenring, Kooperation, IG.
- Geeignete Biogasanlage, die geografisch und verkehrstechnisch optimal gelegen ist sowie von ihrem Substratmix für Feststoffe interessant ist.
- Ausreichende Anzahl an Lieferbetrieben im lokalen Umfeld der Biogasanlage.

Zur Umsetzung müsste nach der Evaluation einer geeigneten Anlage zusammen mit den Behörden eine intensive Aufklärungs- und Motivationskampagne im lokalen Umkreis durchgeführt werden, damit eine ausreichende Anzahl von Lieferbetrieben gefunden und eine konstante Umsetzung gewährleistet werden kann. Eine entsprechende Organisationsstruktur ist aufzubauen.

Separierte Feststoffe können auch in gewerblich-industriellen Biogasanlagen mitvergoren werden. Sind im lokalen Umfeld einer Anlage entsprechende Feststoffmengen vorhanden, liesse sich eine rasche Umsetzung bewerkstelligen.

7 Referenzen

Fuchs J., Dierauer H., Klaiss M., Ludwig M., Hölzl B., Baier U., Collet L., Studie zur Persistenz von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) und Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) in Kompostierungs- und Vergärungsprozessen. Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) und Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW), Frick, 2017.

Treichler A., Warthmann R., Baier U., Hersener J.-L., Meier U., Büeler E., Hommes G., LEVER - Leistungssteigerung der Vergärung von Rindergülle zu Biogas durch innovative Vorbehandlung und neuartige Reaktorsysteme – Bundesamtes für Energie (BFE), Schlussbericht, 2016