

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

## Neuartiges Konzept zur Verbreitung der Vergärung von Hofdünger in der Schweiz

### 1. Phase : Machbarkeit

---

#### **Autoren:**

Urs Meier, MERITEC GmbH, urs.meier@meritec.ch

Jean-Louis Hersener, Ingenieurbüro HERSENER, hersener@agrenum.ch

Simon Bolli, Genossenschaft Ökostrom Schweiz, simon.bolli@oekostromschweiz.ch

Victor Anspach, Genossenschaft Ökostrom Schweiz, victor.anspach@oekostromschweiz.ch

Im Auftrag des Bundesamt für Energie BFE, Forschungsprogramm Bioenergie, CH-3003 Bern

#### **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 Energieertrag aus der Vergärung decken zu können. Die Akzeptanz der meisten Akteure ist vorhanden. Gewerblich-industrielle Anlagenbetreiber sind unter den aktuellen Rahmenbedingungen auf Annahmegebühren angewiesen und daher kaum interessiert. Landwirtschaftliche Biogasanlagenbetreiber sind aufgrund der höheren Einspeisetarife eher bereit an einer Umsetzung mitzuwirken. Konkrete Interessenten sind vorhanden. Auf bestehenden Anlagen kann die Mitvergärung von Feststoffen kostendeckend durchgeführt werden. Bei Neuanlagen sind Massnahmen zur Leistungssteigerung notwendig. Aus technischer und organisatorischer Sicht ist die Umsetzung problemlos. Der Energieaufwand beträgt rund ein Drittel der Nutzenergie der Feststoffe. Die Machbarkeit ist auf lokaler (bis 6 km) und regionaler (bis 15 km) Ebene gegeben. Auf überregionaler (über 15 km Transportdistanz) Ebene ist die Wirtschaftlichkeit kaum zu erreichen.

## 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.

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

## Zielsetzung

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

Das Ziel der ersten Projektphase ist:

- Die Machbarkeit (technisch, energetisch, organisatorisch sowie wirtschaftlich) der Feststoff-Vergärung im Raum Nord-Ostschweiz (Kantone SG, TG, SH, AI, AR und ZH) für landwirtschaftliche und gewerblich-industrielle Biogasanlagen abklären.

## Ergebnisse der ersten Phase

### *Feststoffcharakterisierung*

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Nährstoffgehalte sowie der Brennwert ( $H_0$ ) bezogen auf eine Tonne Frischsubstanz 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)

Produkt	TS %	OTS in % d. TS	N <sub>tot</sub> kg/t	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/t	K <sub>2</sub> O kg/t	Brennwert ( $H_0$ ) kWh/t
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 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.

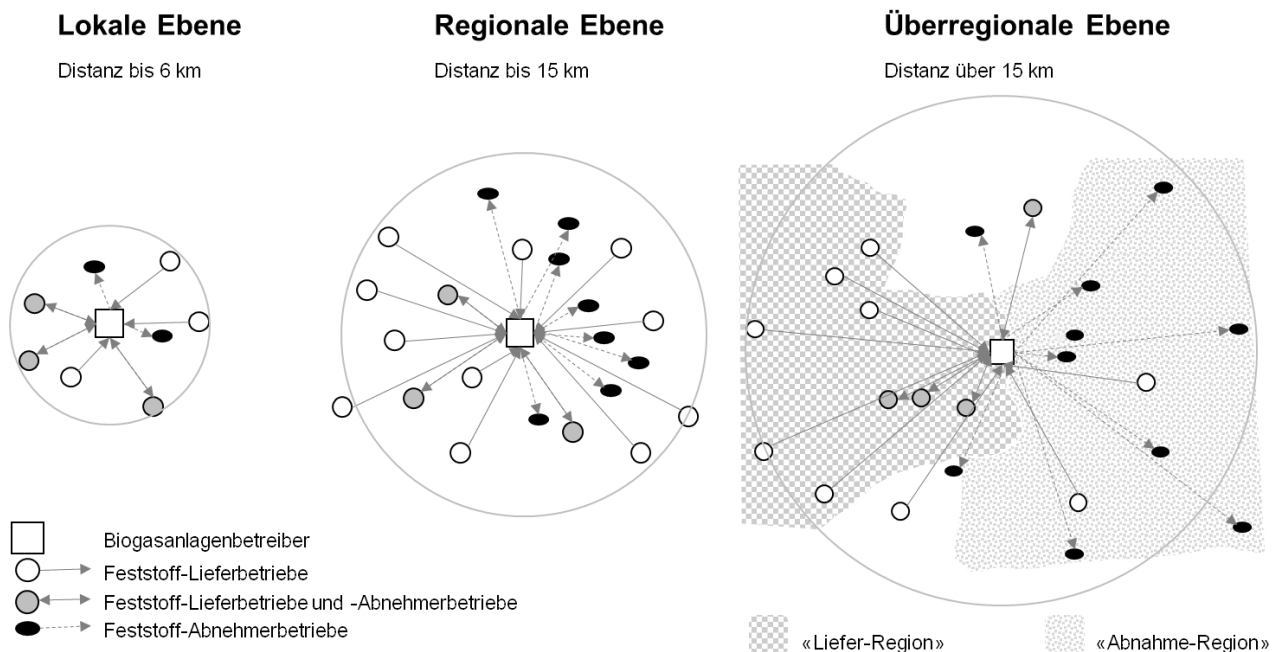
**Tabelle 2:** Methan- und Energieertrag von Rohgülle und Feststoff

Energieinhalt nutzbar			
kWh/t	Minimum	Mittelwerte	Maximum
Rohgülle	201.7	235.5	315.0
Feststoffe	831.1	963.8	1104.7
Methanertrag			
m <sup>3</sup> /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

## Implementierungsebenen

Für eine Umsetzung des Konzepts „RAUS – REIN“ sind 3 Ebenen definiert (vgl. Abb. 1). Sie 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 gerechnet. Im regionalen Bereich mit max. 15 km bildet das Raumplanungsgesetz die Grundlage. Die überregionale Ebene wurde mit über 15 km Transportdistanz berechnet.

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

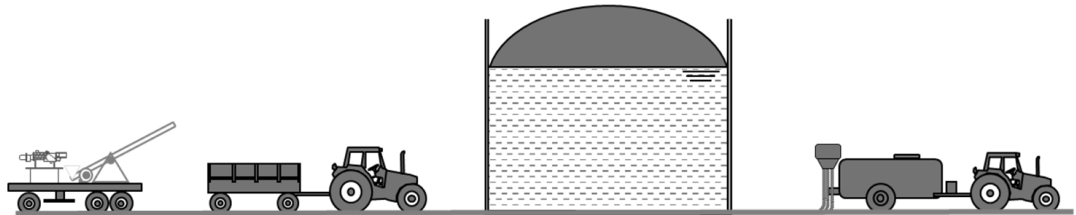


**Abbildung 1:** Vereinfachte Darstellung der 3 Implementierungsebenen mit den entsprechenden Transportdistanzen.

## Logistik

Zur Bereitstellung von Feststoff für die Vergärung ist ein entsprechendes Logistikkonzept erforderlich (Abb. 2). 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.

Logistik:	Separierung	Transport	Vergärung	Ausbringung
Akteur:	Lieferbetrieb	Transporteur	Biogasanlagenbetreiber	Abnehmerbetrieb



**Abbildung 2:** Vereinfachtes Schema des Logistikkonzepts von der Bereitstellung von Feststoffen über die Vergärung bis zur Ausbringung.

## Technik

Zur Separierung können robuste, praxistaugliche Geräte, wie die Siebpressschnecke, verwendet werden (Abb. 3).



**Abbildung 3:** Siebpressschnecke als fahrbares Gerät im überbetrieblichen Einsatz.

Für Transporte sind im landwirtschaftlichen Bereich Traktoren und im Gewerbe LKW üblich. Neben Mulden und Anhängern sind vor allem Hackengeräte mit Abrollcontainer (Abb. 4) einsetzbar. Die Feststoffe sind sowohl für Flüssig- als auch für Feststoffvergärungsanlagen geeignet. Schleppschlauchverteiler dienen zur Ausbringung der Flüssiggärreste.



**Abbildung 4:** Traktorgezogenes Hackenliftgerät mit Abrollmulde. Die Mulde ist befahrbar.

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

## Energie

In der Tabelle 3 sind sämtliche Energieaufwendungen zur Bereitstellung und Vergärung der Feststoffe dargestellt.

Der Gesamtenergieaufwand beläuft sich auf 94 bis 147 kWh/t. Der gesamte Energiebedarf liegt durchschnittlich bei weniger als 40 % des Energieertrages.

**Tabelle 3:** Durchschnittlicher Energieaufwand für die Logistik, aufgeteilt in landwirtschaftliche (obere Hälfte der Tabelle) und gewerbliche Transporte (untere Hälfte der Tabelle) und der Vergärung sowie Anteil an der Nutzenergie aus der Vergärung von Feststoff (alle Angaben in kWh/t Feststoff)

Logistik	Separierung	Trsp Landw.	Vergärung	Ausbringung	Gesamt	% Nutzenergie
lokal	4.7	4.9	81.2	4.2	94.9	25.8
regional	4.7	9.2	81.2	10.4	105.4	28.7
überregional	4.7	26.3	81.2	34.8	146.9	39.9
Logistik	Separierung	Trsp Gew.	Vergärung	Ausbringung	Gesamt	% Nutzenergie
lokal	4.7	4.5	81.2	4.2	94.5	25.7
regional	4.7	8.4	81.2	10.4	104.6	28.4
überregional	4.7	19.4	81.2	34.8	140.0	38.1

## Akzeptanz

Die Akzeptanz aller Beteiligten, wie Lieferbetriebe, Logistikunternehmen, Biogasanlagenbetreiber sowie Behörden zeigt, dass praktisch alle Beteiligten das Konzept akzeptieren. Gewerblich-industrielle Anlagenbetreiber zeigen ein eingeschränktes Interesse. Die bestehenden Vorbehalte könnten mittels Pilotbetrieb in der Praxis reduziert und die wesentlichen Vorteile der Feststoffvergärung aufgezeigt werden.

## Organisation

Das Konzept „RAUS – REIN“ stellt Anforderungen an die Organisation der Logistik und Vergärung, die hingegen als machbar beurteilt werden können. Bei der Vergärung sind die prozess- und verfahrenstechnischen Grenzen einer Mitvergärung von Feststoffen zu beachten.

## Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit des Konzepts basiert auf der Idee, die Aufwendungen zur Bereitstellung von Feststoffen zur Vergärung über den erzielbaren Gasertrag mitzufinanzieren.

In der Tabelle 4 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.

**Tabelle 4:** Gegenüberstellung von Aufwand und Ertrag in Abhängigkeit der Implementierungsebene. Oben in der Tabelle mit variablen Kosten bei der Vergärung und unten mit Vollkosten berechnet (alle Angaben in Fr./t Feststoff)

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	37	37	37	Kostenminimum
Ausbringung	5	5	5	nur lokale Ebene
Gesamt	63	68	84	Fr./t Feststoff
Ertrag tief (Strom u. Wärme)	43	43	43	miminaler Ertrag
Gewinn/Verlust	-20	-25	-41	Fr./t Feststoff
Ertrag hoch (Strom u. Wärme)	68	68	68	maximaler Ertrag
Gewinn/Verlust	5	0	-16	Fr./t Feststoff

Unter Berücksichtigung variabler Kosten der Vergärung ist zu erkennen, dass bei minimalem Ertrag aus der Vergärung (Fr. 43.-/t Feststoff) nur im lokalen Umkreis ein Gewinn resultiert. Bei maximalem Ertrag (Fr. 68.-/t) dagegen sind auf allen Ebenen Gewinne möglich.

Nur bei tiefen Vollkosten der Vergärung und maximalem Gasertrag sind im lokalen Bereich Gewinne zu erzielen. Auf regionaler Ebene können die Kosten gedeckt werden.

## **Folgerungen**

Aus den Abklärungen zur Machbarkeit einer Feststoffvergärung 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 Biogasanlagen kann Gülle durch Feststoffe substituiert werden. Der maximale Anteil der Feststoffe an der Frischsubstanz wird durch die Rühr- bzw. Pumpfähigkeit limitiert
- Bei der Substitution von Rohgülle auf bestehenden Anlagen ist die Berechnung der Wirtschaftlichkeit mit variablen Kosten der Vergärung zulässig. Unter dieser Annahme und mit hohen Gaserträgen sind alle Anlagengrößen (gross, mittel, klein) auf allen Implementierungsebenen gewinnbringend
- Legt man eine Vollkostenrechnung zu Grunde, sind nur unter günstigsten Bedingungen Gewinne erzielbar
- Die Akzeptanz des Konzeptes RAUS-REIN wurde generell von allen Akteuren (Behörden, Lieferbetriebe, Biogasanlagenbetreiber, 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 Rahmenbedingungen kann ohne Steigerung der Effizienz oder ohne spezielle Fördermassnahmen nur ein beschränkter Anteil des Hofdüngerpotentials erschlossen werden

## **Ausblick**

Die Separierung von Rohgülle vor einer Vergärung eröffnet neue Perspektiven. Die Feststoffe weisen einen ausreichend hohen Energieinhalt auf, um Kosten der Bereitstellung decken zu können. Die zusätzliche Vergärung von Dünngülle könnte mit entsprechend neuartigen Implementierungskonzepten zu einer weiteren Steigerung der Wirtschaftlichkeit einer Vergärung von Hofdünger beitragen.