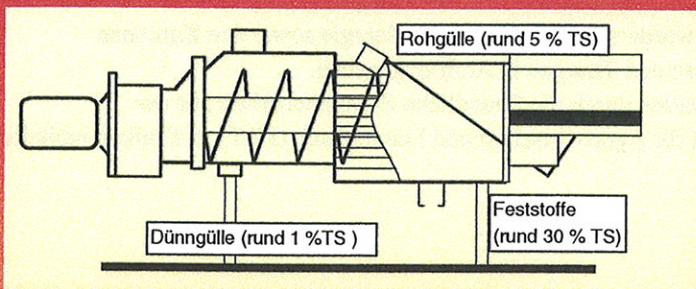
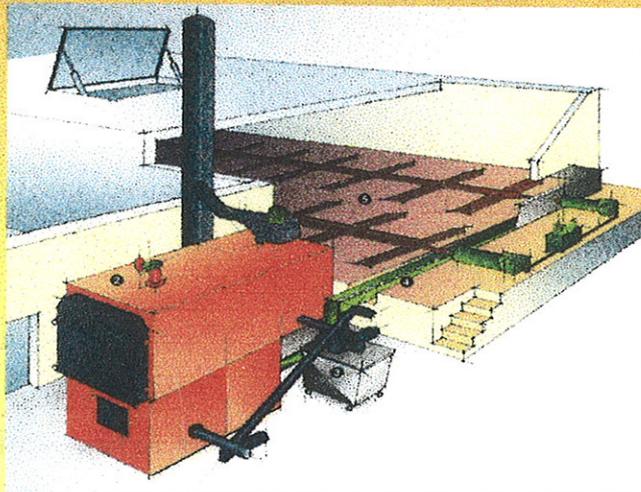


Energetische Nutzung von Hofdüngerfeststoffen

J.L. Hersener, R. Bühler



Separierung
von Hofdünger



Thermische Nutzung von
Hofdüngerfeststoffen

Der vorliegende Bericht wurde vom Bundesamt für Energie sowie den Kantonen
Luzern und Thurgau in Auftrag gegeben.

Layout und Druck wurden durch die freundliche Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) in Tänikon realisiert.

Projektbearbeitung, Autoren und Herausgeber: ARGE 'Biomasse'

J.-L. Hersener
Ingenieurbüro *HERSENER*
Untere Frohbergstrasse 1
CH-8542 Wiesendangen

R. Bühler
Ingenieurbüro Umwelt und Energie
Dörfli 1
CH-8933 Maschwanden

Tänikon, im November 1998

Inhaltsübersicht

- 1. Zusammenfassung 5
- 2. Einleitung und Problemstellung 7
- 3. Überblick Projektablauf 8
 - 3.1 Zielsetzung 8
 - 3.2 Iteratives Vorgehen, Lösungsansatz 9
- 4. Ergebnisse der Vorstudien 10
 - 4.1 Ergebnisse der ersten Vorstudienphase 10
 - 4.2 Ergebnisse der zweiten Vorstudienphase 11
 - 4.2.1 Versuchs- und Messprogramm 11
 - 4.2.2 Versuchsergebnisse 11
 - 4.2.3 Verbrennungsversuche mit Rostfeuerung Enviro-Technik 13
 - 4.2.4 Folgerungen 13
 - 4.3 Brennstoffsortimente aufgrund des wachsenden Entsorgungsdruckes 13
 - 4.3.1 Separierung 13
 - 4.3.2 Separierung und MANURA-Verfahren 13
 - 4.3.3 Umkehrosmose (RO) und Ultrafiltration (UF) 13
 - 4.3.4 Wirtschaftliche Abschätzung der möglichen Entsorgungspreise 13
- 5. Ergebnisse der ersten Umsetzungsphase 13
 - 5.1 Naturbelassene Biomassebrennstoffe 13
 - 5.1.1 Chemische und physikalische Eigenschaften 13
 - 5.2 Anforderungen an Biomassefeuerungen 13
 - 5.2.1 BVA für nassen Hofdünger als Alleinbrennstoff 13
 - 5.2.2 Hofdünger als Zusatzbrennstoff für Rostfeuerungen 13
 - 5.3 Brennstoffaufbereitung 13
 - 5.3.1 Versuche zur Brennstoffaufbereitung 13
 - 5.3.2 Brennstoffanalytik 13
 - 5.4 Verbrennungsversuche Erlenhof 13
 - 5.4.1 Zielsetzung 13
 - 5.4.2 Durchführung 13
 - 5.4.3 Ergebnisse 13
 - 5.4.4 Folgerungen 13
- 6. Konzept BVA 13
 - 6.1 Technisches Konzept 13
 - 6.2 Wirtschaftlichkeit 13
 - 6.2.1 Wirtschaftlichkeit der BVA 13
 - 6.2.2 Zusammenfassende Kriterien für die Wahl des Entsorgungsweges 13
- 7. Schlussfolgerungen 13
- 8. Offene Fragen, weiteres Vorgehen 13
 - 8.1 weiteres Vorgehen bezüglich Technik 13
 - 8.2 Organisation 13
- 9. Literaturverzeichnis 13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektverlauf (Meilensteine stichwortartig erwähnt) 8

Abbildung 2: Projektschema mit verschiedenen, untersuchten Verfahren der energetischen Nutzung von Biomasse und teilweiser Aufbereitung der Nährstoffe 9

Abbildung 3: Schnittbild einer Stückholzfeuerung der Firma Heitzmann AG 12

Abbildung 4: Schnittbild einer Rostfeuerung der Firma Tiba-Müller AG 13

Abbildung 5: Separierung von Gülle mit Hilfe einer Siebschnecke (Meier, U., 1994)..... 13

Abbildung 6: Verfahrensschema der MANURA-Anlage der Firma Arnold AG 13

Abbildung 7: Membrantrennverfahren UF und RO, beide Verfahren können auch einzeln mit der Separierung kombiniert werden 13

Abbildung 8: Brennstoffmischung mit Gülle 13

Abbildung 9: Brennstoffmischung mit Pferdemist 13

Abbildung 10: Erwärmung (Dampfbildung) der Brennstoffmischungen 13

Abbildung 11: Futtermischwagen 13

Abbildung 12: Innenansicht Futtermischwagen mit gegenläufigen Schnecken..... 13

Abbildung 13: Mischen des Zusatzbrennstoffes (Hofdünger und Zuschlagstoffe) mit dem Hauptbrennstoff Rinde..... 13

Abbildung 14: Schnittbild der Rostfeuerung Enviro-Technik AG 13

Abbildung 15: Schematische Darstellung der Zumischung des Hofdüngerbrennstoffes 13

Umrechnungstabelle - Faustzahlen

1 DGVE	1 Kuh	0,7 Pferde	20 Mastschweine bzw. 6 Mastschweineplätze
1DGVE	20 m ³ Rohgülle	0.6 t TS Feststoffe	ca. 2 m ³ Feststoffe (30% TS)
1 t TS Feststoffe	3.3 t Feststoffe (30% TS)	ca. 33 m ³ Rohgülle	ca. 1.65 DGVE
1 m ³ Rohgülle	5% TS \cong rund 0.03 t TS Feststoffe + 0.02t TS Salze	rund 1 t	0.05 DGVE

Glossar / Abkürzungen

Biomasse	Durch Pflanzen oder Tiere produzierte organische Masse
BVA	Biomasseverbrennungsanlage
Düngergrössvieheinheiten (DGVE)	Rechnungseinheit, basierend auf einer Kuh mit 600 kg Lebendgewicht und 5'000 kg Milchleistung pro Jahr. Der Stickstoff- und Phosphoranfall verschiedener Tierarten und Altersstufen werden damit vergleichbar gemacht.
Dünngülle	flüssige Phase, welche bei der Separierung entsteht
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasseraufbereitung, Abfall und Gewässer
Fr.	Schweizer Franken
Hofdüngerfeststoffe	Mittels Separierung gewonnener feste Phase aus der Gülle
IK	Investitionskosten
K	Kali
kW / MW	Kilowatt / Megawatt
kWh / MWh	Kilowattstunde / Megawattstunde
LRV	Luftreinhalteverordnung
m³	Kubikmeter
MANURA	Verdampfungsanlage der Firma ARNOLD AG, stellt aus Dünngülle Wasser, Konzentrat und eine nährstoffreiche NH ₄ NO ₃ -Lösung her
N	Stickstoff
NH₄NO₃	Ammoniumnitrat
NO_x	Stickoxide
OS	organische Substanz
P	Phosphor
RO	Umkehrosmose, Membrantrennverfahren, hohe Trennwirkung
Rohgülle	oder Gülle, flüssiges Gemenge aus Harn und Kot verschiedener Tiere
SO_x	Schwefeloxid
TS	Trockensubstanzgehalt
UF	Ultrafiltration, Membrantrennverfahren , mittlere Trennwirkung
S	Schwefel
Cl-	Chlor
Pb	Blei
Zn	Zink
Cd	Cadmium
Cu	Kupfer
HCl	Salzsäure
CO	Kohlenmonoxid
CO₂	Kohlendioxid

Vorwort

Der vorliegende Bericht ist Teil einer zweibändigen Publikation zum Thema energetische Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse. Band 1 beschreibt das Projekt "Energiegras/Feldholz", welches sich mit der energetischen Nutzung von Gras, Chinaschilf und Feldholz befasste. Es stellte die Grundlagen zur Verfügung, welche als Auslöser für weitere Forschungsarbeiten dienten. Das vom Kanton Luzern initiierte Projekt "Energetische Nutzung von Hofdüngerbrennstoffen", welches im zweiten Band beschrieben wird, befasst sich mit den Möglichkeiten der thermischen Nutzung von Güllefeststoffen und Pferdemist.

Das Projekt 'Energetische Nutzung von Hofdüngerbrennstoffen' wird vom Bundesamt für Energie (BfE), der Fachstelle für Energiefragen des Kantons Luzern und dem Amt für Umweltschutz des Kantons Thurgau finanziell unterstützt. Den Verantwortlichen Herrn M. Hinderling (BfE), Herrn L. Buchecker (Luzern) und Herrn Dr. J. Herz (Thurgau) danken wir für diesen Auftrag ganz besonders. Das Projekt bietet aufgrund der vielseitigen Fragestellung die Gelegenheit, sich intensiv mit Landwirtschafts-, Energie- und Umweltfragen auseinanderzusetzen.

Für die freundliche Unterstützung und Mithilfe bei der Erarbeitung der vorliegenden Studie gilt unser Dank folgenden Personen, Firmen und Institutionen:

- P. Koller und W. Ernst, Amt für Umweltschutz Kanton Luzern
- Dr. U. Baserga, U. Wolfensberger, I. Schiess und R. Häusler von der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon
- B. Gmünder, Firma Gmünder, Gossau (SG)
- E. Arnold und W. Schnider, Arnold AG, Schachen
- T. Heitzmann, T. Heitzmann AG, Schachen
- O. Leiser, TIBA-MÜLLER AG, Balsthal
- E. Kaindl, ENVIRO-TECHNIK AG, Lachen
- U. Meier, MERITEC GmbH, Ettenhausen
- D. Danzel, Linth-Möbelfabrik, Kaltbrunn
- B. Hirs, Villiger & Söhne AG, Pfeffikon
- HP. Schaffner, Schmid AG

Da die Problematik Landwirtschaft-Energie-Umwelt auch in weiteren Kantonen und Bundesstellen Interesse und Beteiligung findet, danken wir folgenden Personen, die mit ihrer fachlichen Unterstützung einen wertvollen Beitrag zur Verfassung des vorliegenden Berichtes beigetragen haben:

- F. Studer, Bundesamt für Landwirtschaft
- U. Jansen, BUWAL
- Dr. B. Baumgartner, AfU Thurgau
- R. Bünter, Landwirtschaftsamt, Kanton Schwyz
- E. Jakob, Fachstelle für Energie, Kanton Bern
- R. Meier, Fachstelle für Naturschutz, Kanton Zürich
- F. Trefny, AfU Kanton St.Gallen
- F. Wiederkehr, AfU Kanton Appenzell Innerrhoden

1. Zusammenfassung

Ziel des Projektes ist es, die technischen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der energetischen Nutzung von Biomasse aufzuzeigen und damit Grundlagen für eine geeignete Umsetzung zu schaffen.

Im Rahmen des Aktionsprogrammes 'Energie und Umwelt' des Kantons Luzern wurden verschiedene Arbeiten zu Beurteilung der Umweltsituation durchgeführt. Die Schlussfolgerung war, dass die Landwirtschaft massgeblich an der Luft- und Wasserbelastung beteiligt ist. Dies führte zur Formulierung der Vorstudien bzw. zur Formulierung des Projektes 'Energetische Nutzung von Biomasse'. Die wichtigsten Ergebnisse der 1993 bis 1996 durchgeführten **Vorstudien und Abklärungen** sind:

- Die Landwirtschaft muss bei Massnahmen zur Entlastung von Umwelteinflüssen berücksichtigt werden.
- Gülle soll aufgrund des hohen Biomassepotentials als Energieträger genutzt werden. Dies entlastet die Nährstofffrachten in die Luft (NH_4) sowie in Gewässer (P, N) und unterstützt die Bestrebungen erneuerbare Energieträger (CO_2 -Reduktion) zu nutzen.
- Als Konversionsverfahren wird die Verbrennung in Kombination mit Trennverfahren für Gülle vorgeschlagen.
- Erste Abschätzungen zeigen, dass die Verbrennung von Hofdüngerfeststoffen ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist.

Diese Ergebnisse führten zu einer vertieften Projektbearbeitung (erste Umsetzungsphase 1997 bis September 1998) und werden im vorliegenden Bericht detailliert vorgestellt. Die wichtigsten Schlussfolgerungen der **ersten Umsetzungsphase** sind:

- Zur thermischen Nutzung werden zwei Verfahren in Betracht gezogen: Die *reine Gällenverbrennungsanlage* und die *Zufuierung von Güllefeststoffen auf Rinden-Rostfeuerungen*. Die Linie der Rostfeuerungen wurde, da sie den Vorteil bietet, bestehende Infrastrukturen zu nutzen detailliert untersucht. Als Brennstoff wird von Gülle und Pferdemit ausgegangen.
 - Für die **Zufuierungsvariante** werden die Anforderungen an die Feuerungstechnik sowie an die Brennstoffeigenschaften, -aufbereitung, und -zusammensetzung ausführlich dargestellt. Die Kosten für die Landwirtschaft schwanken je nach Annahme zwi-

schen 0.50 Fr./m³ Rohgülle (optimistisch) und 6.80 Fr. pro m³ thermisch genutzter Rohgülle (pessimistisch). Die aktuellen **Trennverfahren der Gällenaufbereitung** in Kombination mit der thermischen Nutzung werden evaluiert. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

⇒ Die *Separierung* stellt mit rund 4.-Fr/m³ behandelte Rohgülle das günstigste Verfahren dar. In Kombination mit der Verbrennung kann die Nährstoffproblematik um rund 40% entschärft werden. Die bei der Separierung als Nebenprodukt anfallende Dünggülle ist besser pflanzenverfügbar und eignet sich besonders zum Einsatz auf Grünland.

⇒ Sollen möglichst viele Nährstoffe in Betrieben mit hohem Tierbesatz entzogen werden, muss die Separierung mit weiteren Trennverfahren z.B. *Ultrafiltration oder Umkehrosmose* gekoppelt werden. Die Kosten belaufen sich inklusive vorangehender Separierung auf rund 13.- Fr./m³ behandelte Rohgülle. Nährstoffentzug: 40-60% (je nach gewählten Anlagenkomponenten bis >90%).

⇒ Sollen alle Nährstoffe (>90%) von einem oder mehreren Betrieben mit hohem Tierbesatz als hochwertiger Dünger genutzt und die Feststoffe thermisch verwertet werden, muss auf das teuerste, untersuchte Verfahren (*Verdampfung mit Nährstoffrückgewinnung*) zurückgegriffen werden. Die Kosten abzüglich Erlös aus dem Nährstoffverkauf belaufen sich inklusive Separierung auf rund 24-30.- Fr./m³ Rohgülle.

- Die **reinen Gällenverbrennungsanlagen** verursachen höhere Investitionskosten. Aufgrund der beschriebenen Standortanforderungen (Geruchs-, Verkehrstoleranz und Prozesswärmebedarf) ist eine Umsetzung solch grosser Anlagen, wenn überhaupt, nur an wenigen Standorten möglich. Daher wurde dieses Verfahren bisher nicht im Detail untersucht.

Für den Kanton Luzern werden Lösungen gesucht, welche die Nährstoffüberschüsse um 10'000 Dün-

gergrossoveinheiten (DGVE) verringern. Eine Rostfeuerung, die im betrachteten Rahmen mittels Zumischung von Hofdüngerbrennstoffen betrieben wird, kann eine Entlastung von rund 800-1300 DGVE bewirken. Reine Gülleverbrennungsanlagen d.h. Anlagen mit nassem Hofdünger als Alleinbrennstoff, die aufgrund der gestellten Anforderungen eine Minimalgrösse aufweisen müssen, können die Nährstoffproblematik um rund 6000 DGVE entlasten (basierend auf dem günstigsten Trennverfahren, der Separierung). Die Realisierung solcher Anlagen ist jedoch aufgrund der oben genannten Kriterien unsicher. Würde die gesamte Feststoffmenge von 15'000 t TS (entsprechend 10'000 DGVE) im Kanton Luzern thermisch genutzt, könnten rund 1-2 % des heutigen Heizölverbrauchs substituiert werden. Dieser Anteil entspricht rund 20 % der heute genutzten Holzenergie im Kanton Luzern.

Die Lösung liegt in einer optimalen Kombination aller Verfahren. Um eine konsequente Weiterverfolgung des Umsetzungsziels zu erreichen, ist der Betrieb einer **Pilotanlage mit Hofdünger als Zusatzbrennstoff** notwendig. Nur so lassen sich die noch offenen Fragen wie Langzeitverhalten, höherer Zumischungsgrad, wirtschaftliche und ökologische Konsequenzen im Praxisbetrieb verifizieren.

Die Problematik der Nährstoffüberschüsse und des Anfalls verschiedener Biomassen beschränkt sich nicht nur auf den Kanton Luzern. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen einen möglichen Lösungsansatz auf. Für die Fortsetzung des Projektes wird daher eine breitere Abstützung unter Einbezug weiterer Kantone und Bundesstellen angestrebt.

2. Einleitung und Problemstellung

Bereits seit Mitte 1993 werden im Kanton Luzern mit dem Aktionsprogramm 'Energie und Umwelt' Massnahmen in den Bereichen 'Energie 2000', Klimaschutz und Lufthygiene umgesetzt. Im Rahmen dieses Programmes werden auch sogenannte Initialisierungsprojekte bearbeitet. Dabei stellte sich heraus, dass die Landwirtschaft rund 30-40% der Treibhausgase erzeugt und somit noch vor den Bereichen Verkehr, Haushalte und Industrie steht (Keel et al., 1994). Eine effiziente und glaubwürdige Umsetzung des Aktionsprogrammes 'Energie und Umwelt' muss deshalb konkrete Massnahmen im Bereich der Landwirtschaft mit einbeziehen.

In der Arbeit von Hodel, 1995 wurden mögliche Massnahmen und Synergieeffekte in den Bereichen Energiesparen, Klimaschutz und Landwirtschaft aufgezeigt. Die Ergebnisse wurden durch die Arbeit von Baccini, P. et al., 1995, bestätigt und zeigen auf, dass in den landwirtschaftlichen Reststoffen wie z.B. Mist und Gülle, ein noch kaum genutztes Biomasse-Energiepotential steckt. Weiter lassen sich durch den entsprechende Einsatz der erwähnten Hofdünger die hohen Phosphor und Stickstoffeinträge in Hinblick auf eine geringere Gewässer- und Bodenbelastung verringern.

Durch die hohe Tierdichte im Einzugsgebiet des Sempacher-, Hallwiler- und Baldeggersees ist die Nutzung von möglichen Synergieeffekten besonderes wichtig. Auch im Kanton Thurgau sucht man nach geeigneten Lösungen und unterstützt daher dieses Projekt seit 1996. Die Landwirtschaft spielt in beiden Kantonen nach wie vor eine volkswirtschaftlich wichtige Rolle. Ein Tierabbau schädigt die regionale Entwicklung, trägt aber überregional betrachtet nicht zu einer Lösung der Nährstoffüberschüsse bei, da dies bei gleichbleibendem Konsumverhalten nur einer Problemverschiebung in andere Gebiete (Ausland) gleichkommt. Daher muss die Lösung alle problematischen Punkte berücksichtigen.

Als Ausgangslage können somit folgende Punkte zusammengefasst werden:

- Hoher Hofdüngeranfall und damit verbunden ein hoher Anfall an Nährstoffen in der Region der obenerwähnten Seen.
- Die Klima und lufthygienisch relevanten Schadstoffe stammen zu einem grossen Anteil aus der Landwirtschaft.
- In den landwirtschaftlichen Reststoffen insbesondere Gülle und Mist steckt ein beachtliches Biomasse-Energiepotential. Die Nutzung dieser erneuerbaren Energieträger schont die endlichen Ressourcen und leistet somit auch ökologisch einen wichtigen Beitrag zur Verminderung des CO₂-Ausstosses.
- Ein Tierabbau schädigt die heimische Wirtschaft und verlagert bei gleichbleibendem Konsumverhalten die Problematik der Nährstoffüberschüsse in andere Regionen. Ein optimalerer Einsatz hingegen vermindert den Kunstdüngereinsatz und führt damit auch zu einem geringeren Bedarf an grauer Energie (Substitution fossiler Energie).

Es liegt daher nahe eine Lösung zu suchen, bei der Hofdünger und weitere landwirtschaftliche Reststoffe als erneuerbare Energieträger genutzt werden, die Nährstoffeinträge sowie die Klima und lufthygienisch relevanten Gase reduziert werden und die landwirtschaftliche Produktion nicht abgebaut werden muss. Die Evaluation verschiedener Lösungsvarianten stellte, nach den vorangegangenen Abklärungen, den nächsten Schritt dar und führte zur Formulierung einer Vorstudie mit den unter Kap.3 beschriebenen Zielen.

3. Überblick Projekttablauf

Um den Projekttablauf zu verdeutlichen, sind die einzelnen Projektabschnitte in der Abbildung 1 grafisch dargestellt.

Die ausgewählten Verfahren sollen überprüft werden bezüglich

- technischer Machbarkeit
- ökologischer und
- ökonomischer Auswirkungen.

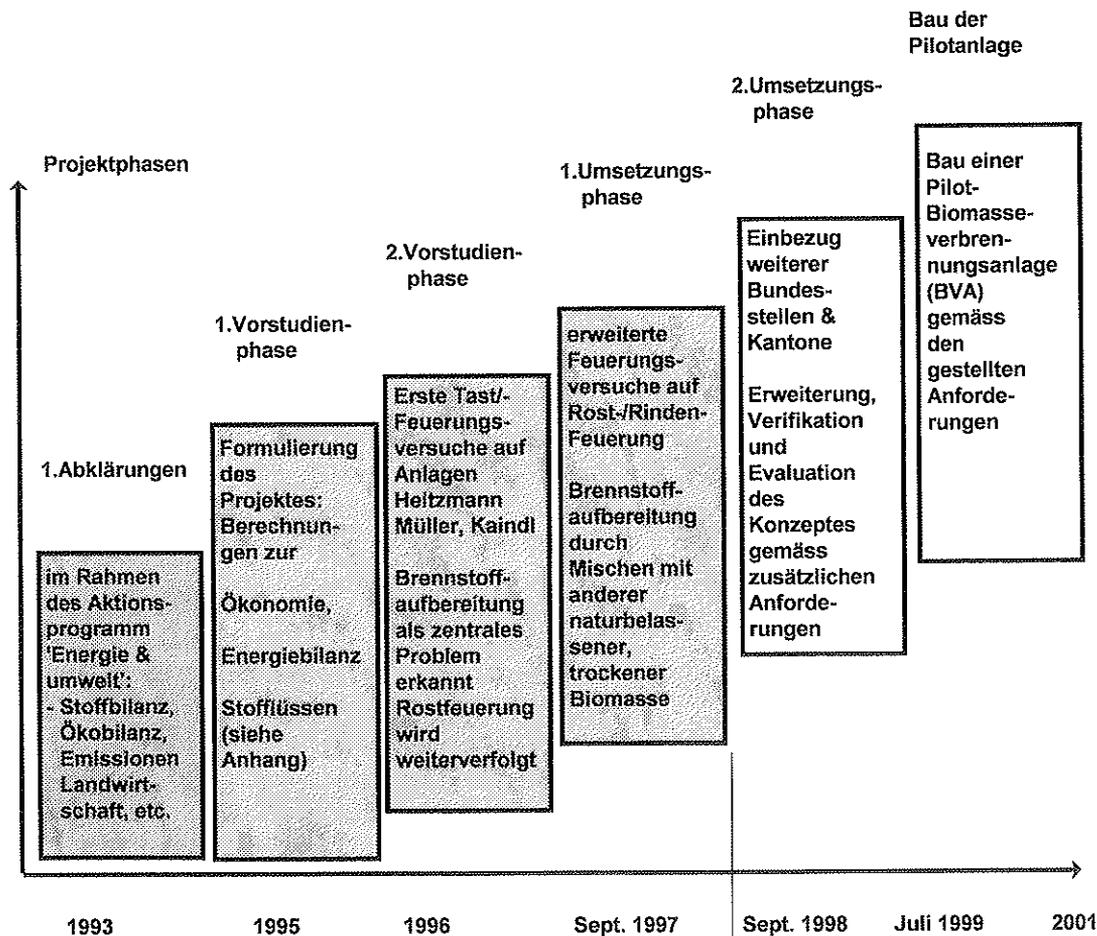


Abbildung 1: Projektverlauf (Meilensteine stichwortartig erwähnt)

3.1 Zielsetzung

Ausgehend von verschiedenen Abklärungen, die im Rahmen des Aktionsprogrammes 'Energie und Umwelt' durchgeführt wurden, sollen mit dem Projekt 'Energetische Nutzung von Biomasse' folgende Ziele erreicht werden:

1. Evaluation geeigneter Verfahren, die es erlauben landwirtschaftliche Biomasse als erneuerbaren Energieträger zu nutzen und gleichzeitig eine Entlastung der Umweltauswirkungen bezüglich Luft, Boden und Wasser zu erreichen.

2. Verfolgen des oder der geeigneten Verfahren und deren Umsetzung in die Praxis

Als Rahmenbedingung wurden folgenden Punkte festgelegt:

- keine Verlagerung der Umweltproblematik in andere Regionen
- Optimierung des Hofdüngereinsatzes bezüglich Stoffflüssen
- Substitution fossiler Energien.

3.2 Iteratives Vorgehen, Lösungsansatz

Der Lösungsansatz entwickelte sich aufgrund der formulierten Ziele schrittweise. Die Prüfung verschiedener Verfahren und Ansätze führte zur Weiterverfolgung der jeweils geeignetsten Lösung. Dieser iterative Ansatz ergab sich aufgrund der beschränkten finanziellen und personellen Ressourcen. Die Wichtigkeit der jeweiligen Zwischener-

gebnisse und der daraus zu erwartende Nutzen bezüglich Ökologie, Energie und Volkswirtschaft, führten zu einer vertieften Bearbeitung des Projektes.

Das Projektschema (Abbildung 2) zeigt die verschiedenen technischen Lösungsansätze (Verbrennen, Vergären und Vergasen von Biomasse), die im Rahmen der Vorstudien evaluiert wurden:

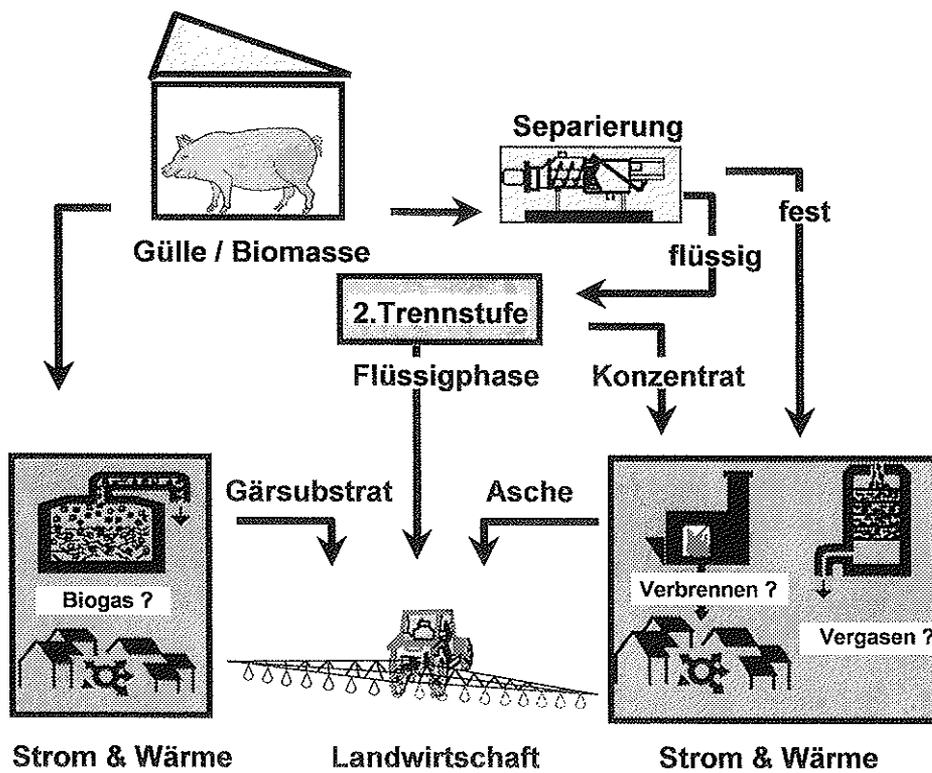


Abbildung 2: Projektschema mit verschiedenen, untersuchten Verfahren der energetischen Nutzung von Biomasse und teilweiser Aufbereitung der Nährstoffe

4. Ergebnisse der Vorstudien

4.1 Ergebnisse der ersten Vorstudienphase

Folgende interne Berichte, welche vorweg bereits im Rahmen des Aktionsprogrammes 'Energie und Umwelt' des Kantons Luzern erstellt wurden, waren ausschlaggebend für die Formulierung der ersten Vorstudienphase des Projektes 'Energetische Nutzung von Biomasse':

- Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft, Kölliker, 1995
- Ökobilanz der Landwirtschaft im Kanton Luzern, Keel und Grossenbacher, 1994

Zusammengefasst wurde festgestellt, dass die Landwirtschaft bezüglich Luftemissionen, aber auch bezüglich Stoff- und Energieflüssen einen gravierenden Anteil ausmacht.

Zeitgleich wurde von der EAWAG im Rahmen des 'Energiegras/Feldholz' Projektes konstatiert, dass die landwirtschaftlichen Reststoffe ein beachtliches Potential beinhalten, welches sich energetisch nutzen liesse.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden Lösungsansätze gesucht, die einerseits die Emissionen der Landwirtschaft verringern und andererseits das Potential erneuerbarer Energie in der Landwirtschaft vermehrt nutzen.

Drei Konversionsarten wurden in Betracht gezogen und näher untersucht:

- Vergärung von Gülle und die Nutzung des Biogases zur Strom und Wärmeproduktion,
- Vergasung der Feststoffe aus der Gülle zur Strom und Wärmeproduktion,
- Verbrennung der Feststoffe aus der Gülle zur Wärmeproduktion.

Die Abtrennung der Feststoffe sollte via Separierung oder Ultrafiltration bzw. Umkehrosmose erfolgen.

In verschiedenen internen Berichten von Hodel, R. (1995), Grabski, C. (1996), Bühner, H. (1996), Scherrer, T. (1996) und Meier, U. (1996) wurden die gewählten Konversionswege bezüglich Energie, Stoffflüssen und ökonomischer Auswirkungen abgeschätzt.

Die wichtigsten Aussagen sind:

- Die Vergasungstechnologie erfordert eine Trocknung und homogene Brennstoffaufbereitung (Pellets/Briketts, >80% TS), welche bei Hofdünger nur unter hohem Kostenaufwand bewerkstelligt werden kann. Die Technologie selbst ist in der betrachteten Leistungsgrösse für Hofdüngerbrennstoff noch zu wenig ausgereift. Ein stabiler Betrieb kann nicht garantiert werden.
- Die Vergärung verursacht hohe Energiekosten und ist nur in Kombination mit der Verwertung zusätzlicher Reststoffe wie Grünabfälle etc. wirtschaftlich zu betreiben. Der Wirkungsgrad der Energiegewinnung ist kleiner als bei thermischen Verfahren. Die Energieform Strom weist aber eine höhere Wertigkeit auf als Wärme. Der Nährstoffeintrag auf die Böden bleibt weitgehend unverändert.
- Die Verbrennungslinie schneidet am wirtschaftlichsten ab und ist in der Lage, die Nährstoffe Phosphor und Kali, die in der Gülle enthalten sind, in Form von Asche in eine leicht zu transportierende Form zu bringen. Die Asche kann dort eingesetzt werden, wo ein Nährstoffmangel besteht.
- Bei beiden thermischen Verfahren wurde eine Trocknung auf 85 % TS angenommen.

(Zur ökonomischen Abschätzung der untersuchten Verfahren wurden Szenarien mit Konversionsanlagen für eine Hofdüngerentsorgung von 5000 bzw. 10000 DGVE gerechnet).

Das Resultat dieser Evaluation ergab, dass die Verfahren 'Verbrennen' und 'Vergären' in erster Priorität weiterverfolgt werden.

Als weitere Gülleaufbereitungsmöglichkeit wurde in dieser Phase auch noch das MANURA-Verfahren der Firma Arnold AG in die weiteren Untersuchungen mit einbezogen. Es ermöglicht einer Nährstoffabtrennung in Form von Ammoniumnitrat (12 %). Als Nebenprodukt fällt ein Konzentrat an, das neben den Feststoffen aus der Separierung ebenfalls als Brennstoff dienen kann. Die Kombination dieses Verfahrens mit der Verbrennung ermöglicht eine Substitution von Handelsdünger und somit ein Einsparen von grauer Energie (Die ausführliche Beschreibung der Aufbereitungsverfahren erfolgt unter Kapitel 4.3.1 ff).

4.2 Ergebnisse der zweiten Vorstudienphase

In der zweiten Vorstudienphase sollte gezeigt werden, ob und unter welchen Bedingungen der von der Firma Arnold gelieferte Feststoff (Separiertes und Konzentrat, siehe 4.3.2) mittels Verbrennung energetisch genutzt werden kann. Für die Firma Arnold stand dabei der Stückholzkessel der Firma Heitzmann im Vordergrund. Als Alternative sollte aber auch die Verbrennung auf einer Rostfeuerung untersucht werden. Wegen der zu erwartenden Probleme bei der Trocknung (Kosten und Emissionen), sollte ein Brennstoff mit möglichst tiefem TS verwendet werden können. Zielwert des erforderlichen TS-Gehaltes: 40-50 %.

Folgende Fragen waren zu beantworten:

- Können die Emissionsanforderungen der LRV eingehalten werden (LRV-Anhang 2, Ziff.72; siehe Tabelle 8 in Kap. 5)
- Kann der Heitzmann Stückholzkessel, bzw. die Müller Rostfeuerung ohne wesentliche Betriebsprobleme mit Feststoff von Hofdünger betrieben werden und folgende Bedingungen erfüllen:
 - keine Anbackungen auf dem Rost und an den Wänden des Feuerraumes,
 - geringe (gegenüber der Holzverbrennung) zusätzliche Verschmutzung der Wärmetauscherflächen,
 - problemlose Abreinigung der zusätzlichen Verschmutzungen.

4.2.1 Versuchs- und Messprogramm

Es war vorgesehen, die Verbrennungsversuche mit Brennstoff von unterschiedlichem TS durchzuführen. Vorversuche hatten aber gezeigt, dass bei der Anlage Heitzmann mit dem von Arnold gelieferten Brennstoff wahrscheinlich ohne zusätzliche Trocknung eine emissionsarme Verbrennung erreicht werden kann. Die Versuche beschränkten sich daher auf ein einziges Brennstoffsortiment.

Die Versuche wurden auf folgenden Anlagen durchgeführt:

- einem Heitzmann Kessel HS 35-P.L.C, aktuelle Leistung 39 kW,
- einer Müller Rostfeuerung MRV mit einer Nennleistung von 400 kW.

Ursprünglich war vorgesehen, jede Feuerung mit dem Güllebrennstoff mindestens 40 Stunden lang zu

betreiben. Der Aufwand wäre aber zu gross gewesen. Daher wurde für beide Feuerungen ein Tagesversuch geplant.

Messprogramm

Neben den Abgasmessungen zur Bestimmung der Emissionen wurde auch die Zusammensetzung des Brennstoffes und der Asche bestimmt:

- Im Abgas: CO, NO_x, SO₂, HCl, O₂, Feststoffe und seine Zusammensetzung
- Im Brennstoff, in der Asche und im Feststoff des Abgases: Den Gehalt an den Düngerkomponenten P, N, K, den Schwermetallen Pb, Zn, Cd, Cu, sowie den Gehalt an S und Cl.

4.2.2 Versuchsergebnisse

Die Verbrennungsversuche mit dem Heitzmann Kessel und der Rostfeuerung Müller wurden im April 1997 durchgeführt. Der angelieferte Brennstoff bestand aus Klumpen mit trockener und relativ harter Oberfläche. Innen waren sie aber feucht und ohne Festigkeit. Der TS-Gehalt betrug 59 %. Die genaue Zusammensetzung kann der Übersichtstabelle 7, in Kapitel 5.3.3 entnommen werden. Daraus ist ersichtlich, dass der Güllefeststoff in seiner Zusammensetzung der Trockensubstanz und in seinem Ascheschmelzverhalten ähnlich ist wie Energiegras. Die wichtigste Ausnahme ist der wesentlich höhere Aschegehalt von 15-18 %.

4.2.2.1 Verbrennungsversuch mit Heitzmann Kessel

Der Verbrennungsversuch mit dem Heitzmann Kessel war erfolgreich. Der Güllebrennstoff wurde auf ein Holzkohlegrutbett aufgegeben und der Brennraum wurde damit aufgefüllt. Wenige Minuten nach der Beschickung wurde die Emissionsmessung gestartet. Der normierte CO-Mittelwert von 45 mg/Nm³ zeigt, dass die Verbrennungsqualität während der ganzen Charge (ca. 3 Std.) ausgezeichnet war. Betriebsprobleme traten nicht auf. Auch konnten nach Versuchsabschluss in der Asche keine wesentlichen Verschlackungen gefunden werden. Hingegen war der Wärmetauscher mit einer weissen Staubschicht bedeckt. Aufgrund der Erfahrungen mit der Verbrennung von Energiegras und der ähnlichen Zusammensetzung war dieses Ergebnis zu erwarten. Die Analyse dieser Ablagerung zeigt einen Anteil von Kalium und Schwefel von je ca. 3 - 4 %.

Die Ergebnisse der Emissionsmessung führten zu folgenden Schlüssen:

- Eine gute Verbrennungsqualität ist erreichbar, wenn bei dieser Chargenfeuerung der Brennstoff auf ein Glutbett aus Holzkohle aufgelegt werden kann.

Aufheizen des Brennstoffes auf dem Rost zerfielen die Brennstoffklumpen und es bildete sich eine für die Primärluft fast undurchdringliche Schicht von pulverförmigem Material. Nach kurzer Betriebszeit

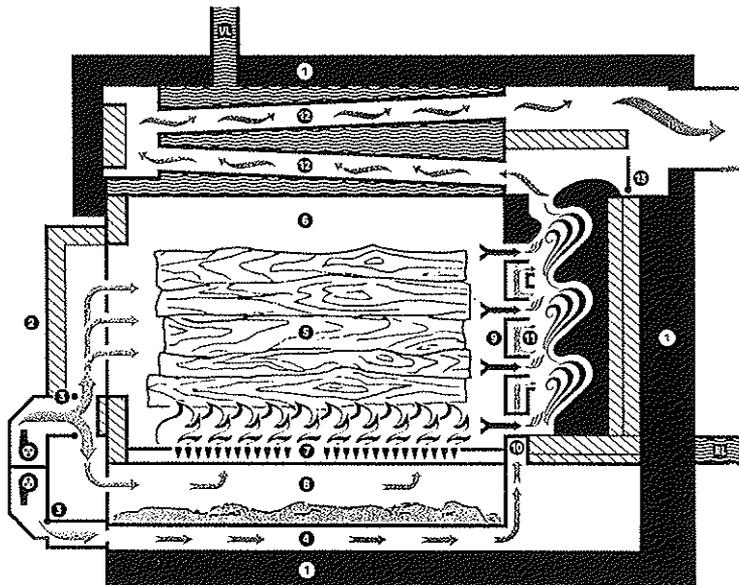


Abbildung 3: Schnittbild einer Stückholzfeuerung der Firma Heitzmann AG

- Die Stickoxid- und die Schwefeloxidemissionen liegen deutlich über dem Grenzwert. Für eine Anlage unter 400 kW liegt der Massenstrom für NO_x mit einer Fracht von ca. 1 kg/h, bzw. < 1 kg/h für SO₂ aber deutlich unter der Massenstrombegrenzung von 2.5 kg/h. Um die LRV einhalten zu können, wären daher keine Entstickungs- und keine Entschwefelungsmassnahmen erforderlich.
- Der HCl Wert liegt deutlich unter dem Grenzwert.
- Massiv überschritten wird der Grenzwert für Staub. Sekundärmassnahmen zur Reduktion des Staubgehaltes z.B. mittels Gewebe- oder Elektrofilter wären erforderlich.

Die LRV schreibt für Anlagen, welche Abfälle nach Ziff. 72 verbrennen (Altholz und ähnliche Abfälle) eine Mindestgrösse von 350 kW Feuerungsleistung vor. Es ist fraglich, ob und wie das Konzept der Stückholzfeuerung Heitzmann auf eine Anlagengrösse über 350 kW umgesetzt werden könnte.

4.2.2.2 Verbrennungsversuche mit Rostfeuerung Tiba-Müller

Der angelieferte Brennstoff konnte auf der Rostfeuerung Müller nicht verbrannt werden. Beim

musste der Versuch abgebrochen werden. Diese negative Erfahrung führte zu folgenden Schlüssen: Bei der Verbrennung in einer Rostfeuerung ist die Struktur des angelieferten Brennstoffes ungenügend. Um eine genügende Struktur zu erreichen, sind zwei Wege möglich:

- Aufbereitung des Brennstoffes durch Pelletieren, so dass eine genügende Struktur auch während der Pyrolysephase und der Ausbrandphase des Restkohlenstoffes bestehen bleibt. Die Ergebnisse mit der Verbrennung von Energiegraspellets legen den Schluss nahe, dass dies eine mögliche Variante wäre. Der Nachteil liegt aber darin, dass der Brennstoff mit zwei kostenintensiven Schritten aufbereitet werden müsste: erst trocknen und dann pelletieren.
- Beimischung des Brennstoffes zu einem genügend strukturierten Material, z.B. Holzschnitzel oder Rinde. Das strukturierte Material muss sicherstellen, dass genügend Primärluft durch den Rost und durch das Brennstoffbett fließen kann.

Da die Pelletierung hohe zusätzliche Kosten verursacht und die Trocknung zu Emissionsproblemen führt, wurde dies Variante nicht weiterverfolgt. Die weiteren Arbeiten konzentrierten sich auf die Variante «Zumischung zu genügend strukturiertem Brennstoff». Diese Variante wurde in einem ersten

Tastversuch durch Zumischung zu Rinde auf einer Rostfeuerung von Enviro-Technik ausgetestet werden.

Gehalt ursprünglich ca. 25 %). Der Feststoff wurde in einer Komposttrommel belüftet und so auf ca. 30 % TS getrocknet. Nach dieser Behandlung lag

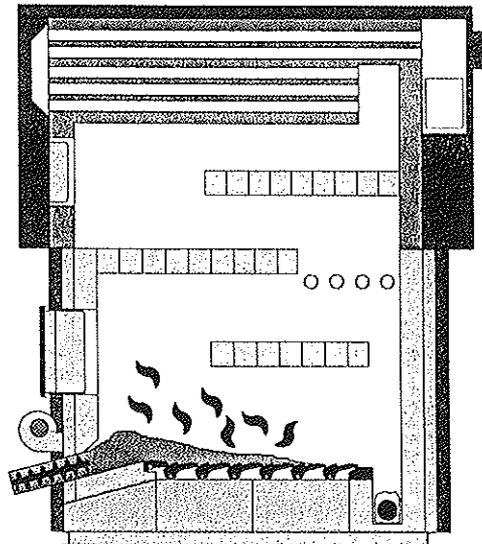


Abbildung 4: Schnittbild einer Rostfeuerung der Firma Tiba-Müller AG

4.2.3 Verbrennungsversuche mit Rostfeuerung Enviro-Technik

Die Verbrennungsversuche mit der Rostfeuerung von Enviro-Technik wurden auf der Rindenfeuerung der Sägerei Dahinden, Hellbühl, LU durchgeführt. Diese Feuerung speist ein Nahwärmenetz des Dorfes. Die Trocknungskammern der Sägerei haben einen ganzjährigen Prozesswärmebedarf. Die Leistung der eingebauten Rindenfeuerung beträgt mit Rinde ca. 900 kW.

In einem vorgängigen Versuch wurden der Rinde Energiegraspellets zugegeben (ca. 2/3 der Heizleistung). Die Pellets wurden im vorgegebenen Verhältnis mit einem Eimer zur Rinde im Beschickungsschacht zugegeben. Dieser Energiegrasversuch war sehr erfolgreich. Es konnte eine gute Verbrennung mit einem mittleren CO-Wert von weniger als 100 mg/Nm³ erreicht werden. Durch optimale Primärlufteinstellung konnte die Schlackenbildung auf dem Rost vermieden werden.

Beim Versuch mit Güllefeststoff wurde dieser wie das Energiegras dem Brennstoff mittels Eimer von Hand in den Beschickungsschacht zugegeben, allerdings in wesentlich kleinerer Menge (ca. 1/3 der Heizleistung). Beim Brennstoff handelte es sich um das Dekantat nach einer Gülleseparierung (mit TS-

der Brennstoff in Form von Klumpen mit Durchmesser im Bereich von wenigen bis max. 10 cm Durchmesser vor.

Beim Versuch mit dem Güllefeststoff konnte kein regulärer Betrieb erreicht werden. Die Zumischung im Beschickungsschacht ergab keine Vermischung der Rinde mit dem Güllefeststoff, sondern eine Entmischung. Auf dem Rost bildeten sich luftundurchlässige Haufen des Güllefeststoffes. Daneben verbrannte die Rinde im üblichen Glutbett. Der Versuch musste abgebrochen und der Güllefeststoff später aus der Feuerung herausgeschaufelt werden.

4.2.4 Folgerungen

Aus den Verbrennungsversuchen der zweiten Vorstudienphase können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die NO_x- und SO_x-Emissionen liegen deutlich über dem Grenzwert. Wegen dem kleinen Massenstrom kann die LRV (Ziff. 72 Anhang 2) aber eingehalten werden, wenn die Anlagengröße unter 1 MW liegt.
- Sekundärmaßnahmen zur Staubabscheidung z.B. mittels Gewebe- oder Elektrofilter sind unumgänglich.

- Bezüglich Verschlackungsproblemen und Ablagerungen im Wärmetauscher ist mit ähnlichen Problemen zu rechnen wie bei der Verbrennung von Energiegras. Diesbezüglich müsste eine Pilotanlage die Anforderungen des Pflichtenheftes Energiegrasfeuerung (Hersener 1998) erfüllen.
- Auf einer Rostfeuerung kann der angelieferte Brennstoff nicht als alleiniger Brennstoff eingesetzt werden. Entweder ist eine Brennstoffstruktur erforderlich, welche auch in der Pyrolysephase und in der Ausbrandphase des Restkohlenstoffes bestehen bleibt (z.B. dicht gepresste Pellets), oder er muss einem strukturierten Brennstoff (z.B. Hackschnitzel oder Rinde) zugemischt werden. Eine Zumischung bei der Beschickung genügt aber nicht. Der Güllefeststoff muss vorher mit dem strukturierten Brennstoff vermischt und erst dann auf die Feuerung gegeben werden. Dabei kann wahrscheinlich nicht mehr als 50% des Güllebrennstoffes beigemischt werden (bezogen auf die Heizleistung).
- Damit der Brennstoff einer Rinden- oder Hackschnitzelfeuerung als Zusatzbrennstoff akzeptiert wird, muss er folgende Bedingungen erfüllen:
 - er muss billig sein, bzw. dem Abnehmer einen – vielleicht nur geringen – Entsorgungserlös bringen.
 - er muss trockener sein als der anfallende Güllefeststoff sein (mind. 50 % TS). Es muss also ein anderer, billiger, trockener und naturbelassener Biomassebrennstoff zugemischt werden.
 - er muss lagerfähig sein und dem Hauptbrennstoff in geeigneter Weise zugemischt werden können.

4.3 Brennstoffsortimente aufgrund des wachsenden Entsorgungsdruckes

Aufgrund der Ökologisierung der Landwirtschaft stellen immer mehr Betriebe auf biologische (Bio) oder die Integrierte Produktion (IP) um. Dies bedingt auch einen Nachweis über eine ausgeglichene Nährstoffbilanz auf dem Landwirtschaftsbetrieb. Weiter sind diese Betriebe verpflichtet, ökologische Ausgleichsflächen zu bewirtschaften, die nur wenig Nährstoffe aufnehmen. Hofdüngerüberschüsse, Pferdemit, Hühnerkot oder andere nährstoffhaltige Biomasse können daher von immer weniger Landwirtschaftsbetrieben übernommen werden. Da die Tierzahl aufgrund des Konsumentenverhaltens kaum abnimmt, besteht in Regionen mit hoher Tier-

dichte ein Nährstoffüberangebot. Der Entsorgungsdruck wächst an, die Transporte nehmen zu und für die überschüssigen Nährstoffe werden Lösungen gesucht.

Im Kanton Luzern besteht ein Nährstoffüberschuss von rund 25000 DGVE (Koller, P.,1998). Für rund 10000 DGVE besteht ein Handlungsbedarf, die restlichen werden in Form von Gülleübernahmeverträgen auf nährstoffärmeren Flächen ausgebracht. Kann ein Landwirt keinen Nachweis erbringen, dass seine überschüssigen Nährstoffe anderweitig genutzt werden (Gülleabnahmevertrag) so muss er mit einem Bussgeld von Fr. 500.-, im Wiederholungsfall mit weiteren Fr. 1000.- pro DGVE rechnen. Bei einem durchschnittlichen Gülleanfall von 20 m³/Jahr pro DGVE entspricht dies Kosten von Fr. 25.- bzw. 50.- Fr./m³ bzw. pro Tonne unverdünnter Gülle.

Auch bei trockenen, naturbelassenen Reststoffen besteht je nach Jahreszeit ein gewisser Überschuss bzw. Entsorgungsdruck. So fällt in Möbelfabriken, der Tabakindustrie oder in der Landschaftspflege brennbares und naturbelassenes Material an, das heutzutage teilweise kostenpflichtig entsorgt werden muss. Ein Teil wird der Kompostierung (Fr. 120.- bis 150.-/t) zugeführt. Die Verwertung des Kompostes erfolgt einerseits im Gartenbau und andererseits in der Landwirtschaft, was aber aus den oben erwähnten Gründen der Nährstoffüberschüsse immer schwieriger werden dürfte. Die Entsorgung via KVA ist mit knapp doppelt so hohen Kosten verbunden. Die Asche kann nicht mehr in den Kreislauf rückgeführt werden.

Der Anfall von trockenen, naturbelassenen Sortimenten, insbesondere Holzspäne oder Sägemehl ist saisonal verschieden. Im Sommer besteht ein geringer Überschuss, im Winter eher ein Mangel.

Tabakrippen, welche in den untersuchten Brennstoffmischungen verwendet wurden, werden zur Zeit kompostiert. Der Anfall dieses Materials liegt bei rund 50-80 Tonnen TS/Jahr.

Die thermische Nutzung von naturbelassenen, trockenen Biomasse-sortimenten bietet einerseits den Vorteil erneuerbarer Energieträger und andererseits ermöglichen diese Stoffe durch Zumischung eine Trocknung bzw. einen Anstieg des TS-Gehaltes bei der Verbrennung von Güllefeststoffen oder Pferdemit.

4.3.1 Separierung

Die Separierung von Rinder- oder Schweinegülle erfolgt durch einfache mechanische Trennverfahren, basierend auf Siebschnecken oder Bogensieben. Die Feststoffe werden dabei von der wässrigen Phase (Dünngülle) getrennt. Der Grad der Feststoffabtrennung liegt je nach Verfahren bei 20-70 %. Die Feststoffe weisen bei Siebschnecken einen TS-Gehalt von rund 30 % auf, bei Bogensieben werden rund 15 % erreicht (Meier, U., 1998).

Bogensiebe ermöglichen eine kostengünstige Abtrennung der Feststoffe, werden jedoch hier aufgrund ihrer schlechten Feststoffabscheidung nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 5 zeigt schematisch die Auftrennung der Gülle mit Hilfe einer Siebschnecke.

Von den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kali bleiben zwischen 50-70 % in der Dünngülle. Ein kleinerer Teil von 30-50 % an N, P und K ist in den Feststoffen zu finden. Da die Dünngülle nicht zu einer Verschmutzung der Blattfläche führt und eine relativ hohe Nährstoffverfügbarkeit aufweist, eignet sich diese Phase besonders zur Düngung von Grünland. Kronauer, A., 1987 und Kowalewsky, H.-H., 1989 berichten von einem Mehrertrag auf Grünland bis 20 % sowie dem Vorteil, dass sich Dünngülle ohne Mischen lagern lässt. Die abgetrennten Feststoffe sind aufgrund des höheren TS-Gehaltes (30 %, mit Flockungsmittel bis 35 % TS) auch zur energetischen Nutzung geeignet.

Durch Zugabe von Flockungsmittel lassen sich die Nährstoffabscheidungsgrade erhöhen. Über die Rückstände dieser Mittel und deren Wirkung auf den Boden lassen sich bis heute noch wenig Aussagen machen. Da es sich um Polymere bzw. deren Salze handelt, zerfallen diese Verbindungen bei

einer thermischen Nutzung und spielen daher für die Bodenproblematik keine Rolle mehr.

Der Stromverbrauch für den Betrieb der Siebschnecke beläuft sich auf rund 25 kWh/t TS in den Feststoffen bzw. 0.75 kWh pro m³ Rohgülle.

Die Investitionskosten liegen zwischen Fr. 50'000.- bis 200'000.-.

Die Separierung stellt ein Basistrennverfahren dar und muss den im folgenden beschriebenen Verfahren immer vorgeschaltet werden. Die Variante Separierung und thermische Nutzung der Feststoffe ermöglicht eine lokale Reduktion des Nährstoffeintrages um rund 40 %.

4.3.2 Separierung und MANURA-Verfahren

Das MANURA-Verfahren der Firma Arnold AG basiert auf dem Prinzip einer Verdampfungsanlage mit Energierückgewinnung und Strippung zur Abscheidung von Ammoniumnitrat. Mittels Zugabe von Salpetersäure bzw. Natronlauge wird der Dünngülle (aus der vorgeschalteten Separierung) Stickstoff entzogen. Es entstehen somit drei Phasen:

1. Eine rund 12 %-ige Ammoniumnitrat-Lösung
2. Wasser aus der Verdampfung, welches sich als Wasch- oder Bewässerungswasser auf dem Betrieb einsetzen lässt sowie
3. Ein eingedicktes Konzentrat der Dünngülle, das zusammen mit den Feststoffen aus der Separierung verbrannt werden kann. Der TS-Gehalt dieser Mischung liegt bei rund 27 %.

Die Durchsatzleistung der MANURA-Anlage liegt bei rund 500 Liter Dünngülle pro Stunde. Durch Zugabe von 3,5 Liter Säure bzw. Lauge werden 25 Liter der Ammoniumnitrat-Lösung gebildet. Weiter

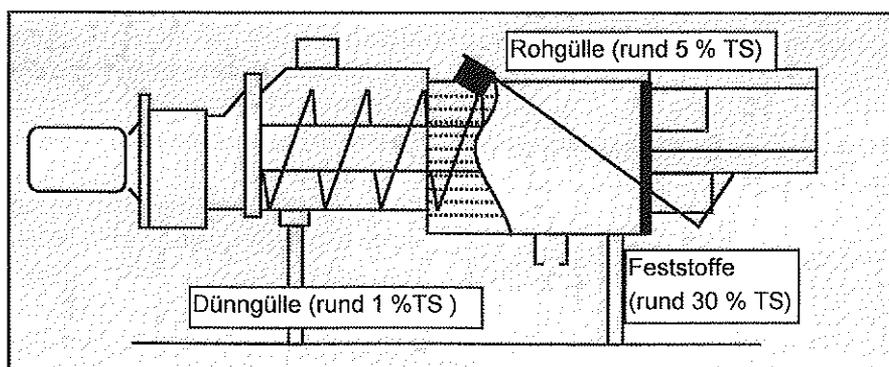
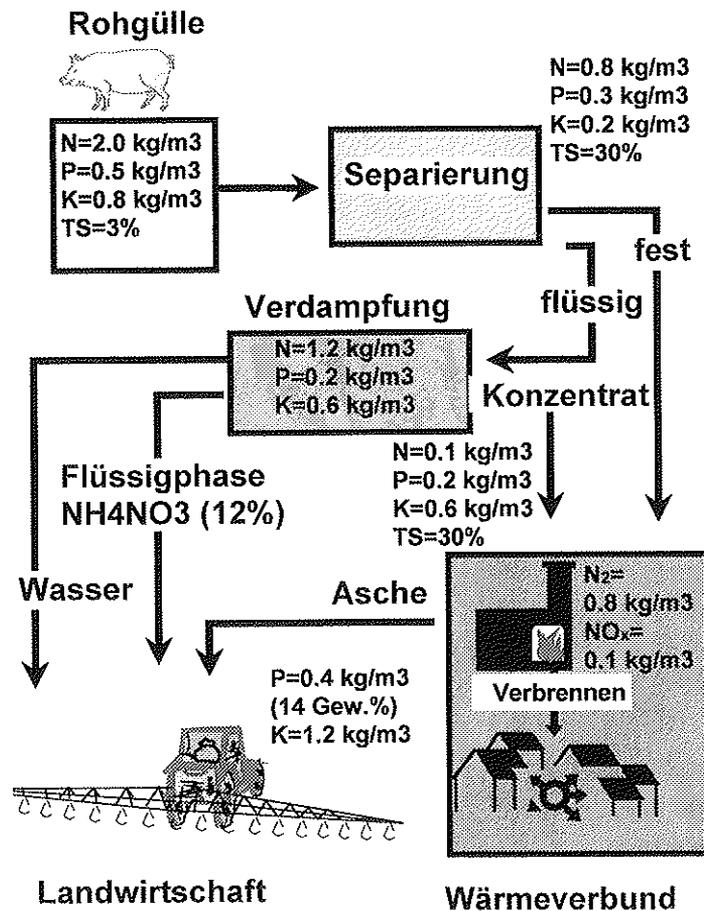


Abbildung 5: Separierung von Gülle mit Hilfe einer Siebschnecke (Meier, U., 1994)



Quelle: Hersener, Meier

Abbildung 6: Verfahrensschema der MANURA-Anlage der Firma Arnold AG

entstehen 428.5 Liter Wasser und 50 Liter Gülle-Konzentrat mit einem TS-Gehalt von rund 23 %.

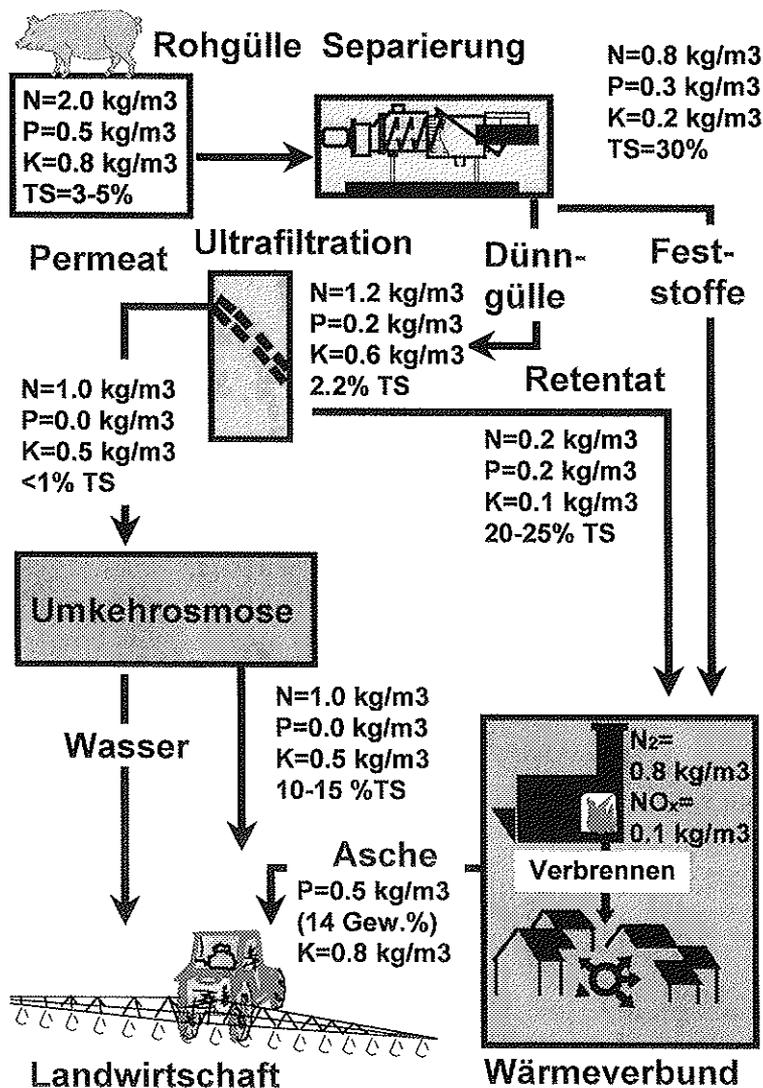
Wegen der Energierückgewinnung werden weniger als 10 %, der sonst zur Verdampfung notwendigen Energie benötigt. Für 500 Liter Dünggülle werden somit rund 35 kWh elektrische Energie benötigt. Die Abbildung 6 zeigt grob das Verfahrensschema mit den Stoffflüssen.

4.3.3 Umkehrosmose (RO) und Ultrafiltration (UF)

Diese Verfahren basieren auf einem Feinstfilter (Ultrafiltration) oder bei der Umkehrosmose auf einer semipermeablen Membran, durch welche die Dünggülle hindurchgepresst wird. Der Betriebs-

druck liegt bei der UF liegt unter 5 bar während die RO bei einem Druck von rund 45 bar arbeitet. Beide Verfahren bieten die Möglichkeit, durch variieren des Druckes bzw. durch die Auswahl geeigneter Membranen die Abtrennleistung und somit die Stoffflüsse nach den gewünschten Anforderungen zu steuern. Die Nährstoffabtrennung liegt beim RO-Verfahren bei mindestens 98 %.

Bei beiden Verfahren lässt sich die aufkonzentrierte Phase (Retentat) als Brennstoff nutzen. Abbildung 7 zeigt die Kombination beider Verfahren (UF&RO) in Verbindung mit der Separierung. Je nach Anforderung kann auch nur eines der beiden der beiden Membranverfahren mit der Separierung kombiniert werden.



Quelle: Hersener, Meier

Abbildung 7: Membrantrennverfahren UF und RO, beide Verfahren können auch einzeln mit der Separierung kombiniert werden

4.3.4 Wirtschaftliche Abschätzung der möglichen Entsorgungspreise

Aufgrund des weiter oben beschriebenen Entsorgungsdruckes bzw. der Nährstoffüberschüsse müssen für die Entsorgung von Gülle, Pferdemit oder Hühnerkot je nach Region unterschiedliche Preise angenommen werden. Da im Kanton Luzern für überschüssige Nährstofffrachten Bussgelder in Höhe von Fr. 500.- bzw. 1000.-/DGVE (im Wiederholungsfall) erhoben werden, ergeben sich daraus für die Entsorgungspreise klare obere Preisgrenzen, die der Verursacher nicht überschreitet. Davon ausgehend, dass eine DGVE rund 20 m³

Rohgülle zu 5 % TS entspricht, dürfen die maximalen Entsorgungspreise Fr. 25.- bzw. 50.-/m³ Rohgülle nicht übersteigen.

Die Preise pro m³ behandelte Gülle divergieren je nach betrachtetem Verfahren stark. Sie weisen zudem je nach getroffenen Annahmen grosse eine Bandbreite auf.

4.3.4.1 Kostenabschätzung der Separierung

Die Kosten der Separierung lassen unter den in Tabelle 1 getroffenen Annahmen herleiten:

Tabelle 1: Kosten der Separierung

Separierung (Siebschnecke)	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Investitionskosten (IK)	50'000.-
Amortisationszeit	10 Jahre
Fixe Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Amortisation	5000.-
Zins und Versicherung (6% von 2/3 der IK)	2000.-
Total fixe Kosten	7000.-
Variable Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Arbeitskosten (1 Std./Tag bzw. 220 Std./Jahr à Fr. 80.-/Std)	18 000.-
Reparaturen und Unterhalt (10% der Investitionssumme)	5 000.-
Stromkosten (0.20 Fr./kWh) , bei 0.75 kWh/m ³ ; Betriebszeit 220 Tage à 7 Std. (Durchsatz 3m ³ /Std)	700.-
Total variable Kosten	23'700.-
Total Betriebskosten Siebschnecke pro Jahr	30 700.-
pro m³ Gülle bei 4500 m³/Jahr	6.80 Fr/m³
Variante ohne Arbeitskosten	2.80 Fr/m³
Variante Arbeitskosten Fr. 23.-/Std (Bauer)	4.00Fr/m³
zusätzliche Kosten für Flockungsmittel	4500.-bis 9000.-Fr./Jahr
	1.- bis -2.- Fr./m³ Gülle

4.3.4.2 Kostenabschätzung der MANURA-Anlage

Grobe Kosten- und Erlösabschätzung der MANURA-Verdampfungsanlage mit Nährstoff-

rückgewinnung unter den beschriebenen Annahmen:

Tabelle 2: Kosten und Erlösabschätzung MANURA

MANURA-Verdampfungsanlage	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Investitionskosten (IK)	300'000.-bis 500'000.-
Amortisationszeit	10 Jahre
Fixe Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Amortisation (10 Jahre)	30'000.- bis 50'000.-
Zins und Versicherung (6 % von 2/3 der IK)	12'000.-bis 20'000.-
Total fixe Kosten	42'000.- bis 70'000.-
Variable Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Arbeitskosten (1/2 Std./Tag bei 330 Tagen/Jahr à Fr. 80.-/Std)	13'200.-
Reparaturen und Unterhalt (3 % der IK)	9'000.- bis 15'000.-
Säure- und Laugenkosten (27720 Liter) (0,5 Fr/Liter)	13'000.-
Stromkosten (0.15 Fr./kWh); 0.07MWh pro m ³ Gülle Gülledurchsatz 500Liter/Std bei 24Std und 330 Tagen/Jahr = 3960 m ³ (rund 4000 m ³)	40'000.-
Total variable Kosten	75'200.- bis 81'200.-

Total Betriebskosten ./ Erlös MANURA pro Jahr	117'200.- bis 151'200.-
pro m³ Gülle bei 4500 m³/Jahr	26.- bis 33.60Fr/m³
Variante ohne Arbeitskosten	23.10 bis 30.65-Fr/m³
Variante Arbeitskosten Fr. 23/Std (Bauer)	23.95 bis 31.50 Fr/m³

Erlös aus Düngerverkauf	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Ammoniumnitrat (12%) 198 m ³ /Jahr Aktueller Stickstoffpreis rund Fr. 1.20 .- pro Kilo Reinstickstoff. Wie nehmen an, dass beim Verkauf des Düngers an den Gross- bzw. Zwischenhandel nur 2/3 des Detailhandelpreises realisiert werden können.	19'000.-
Erlös pro m ³	4.75 Fr./m ³
Kosten (Bauer) ./ Erlös	19.20 bis 26.75 Fr./m³

4.3.4.3 Kostenschätzung der Umkehrosiose (RO)

Die Kosten lassen sich aufgrund der in Tabelle 3 getroffenen Annahmen (Meier, U., 1998) berechnen. Um einen einfachen Vergleich und das Nachvollziehen der getroffenen Annahmen zu gewährleisten, wurden bei der Umkehrosiose ebenfalls zwei

Drittel der Investitionskosten verzinst (siehe Tabelle 3). Die Investition beinhaltet jedoch einen Teil Membrankosten, die bei einer neueren Anlage mitgeliefert werden. Streng genommen müssten alle Verbrauchs- oder Verschleisssteile unter den variablen Kosten geführt werden.

Tabelle 3: Verfahrenskosten der Umkehrosiose

RO	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Investitionskosten (IK)	165'000.-
Amortisationszeit	10 Jahre

Fixe Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Amortisation (ohne Membranen)	13'000.-
Zins und Versicherung (6% von 2/3 der IK)	6'600.-
Total fixe Kosten	23'100.-
Variable Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Arbeitskosten (1/2 Std./Tag bei 330 Tagen/Jahr à Fr. 80.-/Std)	13'200.-
Reparaturen und Unterhalt (3% der IK) plus Membranen	15'000.-
Stromkosten (0.20 Fr/kWh); 3.0.kWh pro m ³ Gülle Güledurchsatz 4500m ³ /Jahr	2'700.-
Total variable Kosten	25'000.-

Total Betriebskosten Ultrafiltration pro Jahr	50'500.-
pro m³ Gülle bei 4500 m³/Jahr	10.60 Fr/m³
Variante ohne Arbeitskosten	7.75 Fr/m³
Variante Arbeitskosten Fr. 23/Std (Bauer)	9.15 Fr./m³

4.3.4.4 Kostenabschätzung der Ultrafiltration

Die Kosten der Ultrafiltration sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Verfahrenskosten bei der Ultrafiltration

Ultrafiltration	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Investitionskosten (IK)	175'000.-
Amortisationszeit	10 Jahre
Fixe Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Amortisation	17'500.-
Zins und Versicherung (6% von 2/3 der IK)	7'000.-
Total fixe Kosten	24'500.-
Variable Kosten	[Fr.] wenn nicht anders vermerkt
Arbeitskosten (1/4 Std./Tag bei 330 Tagen/Jahr à Fr. 80.-/Std)	6'600.-
Reparaturen und Unterhalt (3% der IK) plus Fr. 5000.- Verbrauchsmaterial	10'000.-
Stromkosten (0.20 Fr/kWh); 6.0.kWh pro m ³ Gülle Güledurchsatz 4500m ³ /Jahr	5'400.-
Total variable Kosten	22'000.-
Total Betriebskosten Ultrafiltration	
pro Jahr	46'500.-
pro m ³ Gülle bei 4500 m ³ /Jahr	10.30 Fr/m ³
Variante ohne Arbeitskosten	8.85 Fr/m ³
Variante Arbeitskosten Fr. 23/Std (Bauer)	9.25 Fr./m ³

5. Ergebnisse der ersten Umsetzungsphase

Die Eigenschaften der Biomassebrennstoffe bestimmen die grundsätzliche Wahl der Feuerungstechnik. Im Rahmen der ersten Umsetzungsphase wurde versucht, anhand von geeigneten Brennstoffmischungen die Linie der Zumischung auf Rostfeuerungen weiterzuverfolgen. Die Linie der reinen Güllenverbrennungsanlage wäre aufgrund der Brennstoffeigenschaften ebenfalls denkbar, ist aber mit dem Nachteil behaftet, dass diese Linie zu grösseren Geruchsemissionen sowie Verkehrsaufkommen führt und somit die Anzahl möglicher Standorte kleiner ist. D.h. es könnte bei diesem Verfahren nicht auf bestehenden Anlagen aufgebaut werden, sondern es müssten die gesamte Infrastruktur, Logistik, etc. neu aufgebaut werden sowie ein Standort mit konstantem Prozesswärmebedarf gesucht werden. Daher blieb diese Variante vorerst von den Abklärungen ausgeklammert, sie müsste jedoch bei Bekanntwerden eines geeigneten Standorts vertieft geprüft werden.

Zur Verifizierung der Variante Rost- bzw. Rindenfeuerung mit Zumischung von Gülle und naturbelassenen Biomassebrennstoffe wurden die folgenden Abklärungen durchgeführt:

5.1 Naturbelassene Biomassebrennstoffe

Brennstoff und Hauptgegenstand der Entsorgung ist Gülle und Pferdemit. Um diese relativ feuchten Brennstoffe (rund 25-30 % TS) auf einer Rostfeuerung zu verbrennen, soll ein TS-Gehalt von rund 50 % erreicht werden, entsprechend dem Standardbrennstoff Rinde. Bei trockeneren Brennstoffen (Hackschnitzel) wäre die Anforderung an den TS-Gehalt weniger hoch. Anlagen mit hohem ganzjährigem Prozesswärmebedarf werden aber meist mit dem kostengünstigen Brennstoff 'Rinde' betrieben. Um Gülle und Rossmist nicht teuer trocknen zu müssen, gehen wir von einer Zumischung von trockenen, naturbelassenen Biomassebrennstoffen aus, die maximal zum Preis der Transportkosten übernommen werden. Auf der Suche nach solchen Sortimenten fanden sich folgende naturbelassene Brennstoffe (geschätztes Potential in Tonnen TS/Jahr innerhalb eines Einzugsgebietes von 100 km):

- Holzspäne von Möbelfabriken, die keine Schutzanstriche oder Behandlung des Holzes vornehmen (je nach Saison 50-100 t TS)

- Holzspäne von Sockelleisten, die bis zur Verarbeitung unbehandelt bleiben (20-40 t)
- Tabakrippen aus der Tabakindustrie (30-60t)
- Heu und Holzhäcksel aus der Landschaftspflege (regional stark verschieden, nicht gratis, über 100t)

weiter denkbar sind:

- Palmblätter aus der Verpackung von Tabakballen (20-30t)
- Juteverpackungen für Tabakballen (10-30t)
- Sägemehl von Sägereien, die nach der Trocknung noch weiter zusägen (50-100t)

5.1.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

Geeignete Rostfeuerungen mit ganzjährigem Prozesswärmebedarf sind vorwiegend bei Sägereien anzutreffen. Die Geruchsbelästigung durch die Zuführung von Gülle oder Pferdemit kann daher nicht vernachlässigt werden. Die Beschickung und Lagerung bedingt einen schüttfähigen, physikalisch und biologisch stabilen Brennstoff.

Diese Eigenschaften werden jedoch weder von Gülle noch von Pferdemit erfüllt. Diese weisen einen TS-Gehalt von weniger als 30 % TS auf. Weder die physikalische noch eine biologische Stabilität sind gewährleistet. Durch Zumischung der oben beschriebenen Sortimente sind Mischungen von rund 50 % TS möglich. Die Lagerungsdauer ist weiterhin beschränkt. Die Stabilität für eine kurze Lagerungszeit (1-2 Tage) wird aber bereits erreicht und eine Förderung durch Schnecken oder andere Fördereinrichtungen ist möglich.

Die wichtigsten chemischen und physikalischen Eigenschaften sind in der Tabelle 7 aufgeführt.

5.2 Anforderungen an Biomassefeuerungen

In Kapitel 4 wurde gezeigt, dass Hofdüngerbrennstoff als Alleinbrennstoff und ohne Brennstoffaufbereitung auf einer Rostfeuerung nicht eingesetzt werden kann, ansonsten muss eine andere Feuerungstechnik gewählt werden.

Nachstehend werden für die beiden Varianten

- nasser Hofdüngerbrennstoff als Alleinbrennstoff, und
- Hofdüngerbrennstoff als Zusatzbrennstoff zu Rostfeuerung

die Anforderungen formuliert und die zu erwartenden Auswirkungen aufgezeigt.

5.2.1 BVA für nassen Hofdünger als Alleinbrennstoff

Soll Hofdünger als Alleinbrennstoff ohne Aufbereitung verbrannt werden mit einem TS-Gehalt um 30 %), so kann die bei Holz- und Rindenfeuerungen übliche Rostfeuerung nicht mehr eingesetzt werden. Eine mögliche Variante wäre die Verbrennung in einem Drehrohrofen, welcher mindestens für das Anfahren mit einem Öl-Stützbrenner ausgerüstet ist. In einer solchen Anlage könnte der nasse Hofdüngerbrennstoff emissionsarm und vollständig verbrannt werden. Diese Feuerungstechnik ist aber teurer als eine Rostfeuerung und kommt erst für Anlagen ab einer Leistung ca. 2 MW in Betracht. Um in dieser Leistungsgrösse die LRV mit diesem Brennstoff einhalten zu können, müssten aufgrund der Brennstoffzusammensetzung wahrscheinlich folgende Abgasreinigungen installiert werden:

- ein Wäscher zur Abscheidung der SO_x- und HCl-Emissionen
- ein Elektro- oder Gewebefilter für die Partikelabscheidung
- eine Entstickung (SCR oder SNCR).

Die hohen Investitionskosten bedingen einen ganzjährigen Betrieb mit einem konstanten Prozesswärmebedarf von mindestens 2 MW während mindestens 5'000 Vollbetriebsstunden pro Jahr. Da der Brennstoff zudem geruchsintensiv ist, kann die Anlage nur in einem Gebiet eingesetzt werden, in welchem Geruchsbelastung akzeptiert werden könnte. Eine Möglichkeit wäre, eine solche Anlage bei einem Schweinegrossmäster als Wärmeerzeuger für die Herstellung der Schweinenahrung einzusetzen. Ob und mit welchen Entsorgungskosten ein wirtschaftlicher Betrieb erreicht werden kann, müsste allenfalls untersucht werden.

5.2.2 Hofdünger als Zusatzbrennstoff für Rostfeuerungen

5.2.2.1 Anforderungen an den Brennstoff

Folgende Anforderungen können (+) bzw. müssen (++) erreicht werden, für den Einsatz in einer Rostfeuerung. Die 'Kann'-Anforderungen müssen, wenn sie nicht erreicht werden, durch technische Massnahmen (geschlossenes Beschickungssystem, Unterdruck, Wechselcontainer, geringere Lagerzeit, etc.) kompensiert werden:

- trocken (+)
- strukturiert (+)
- lagerfähig (+)

- förderbar bzw. schüttfähig (++)
- geruchsarm (+)
- unbelastet (++)

Die Lagerfähigkeit und biologische Stabilität von Biomasse hängt stark vom TS-Gehalt ab und ist bei erst über 85 %TS dauerhaft gewährleistet. Unter 80 %TS kann es zur Schimmelbildung bzw. zu Abbauprozessen kommen. Die Lagerzeit nimmt daher stark ab. Bei 50%TS bewirken die Abbauprozesse eine Erwärmung, welche Dämpfe und Gerüche verursachen. Dies bedingt eine kurze Lagerungszeit vor der thermischen Nutzung. Hier sind Beschickungssysteme mit geschlossenen Wechselcontainern denkbar.

Um einen gleichmässigen Ausbrand zu gewährleisten, sollte der Brennstoff strukturiert sein. Plastische und unstrukturierte Brennstoffe wie Güllekonzentrat neigen dazu, aussen eine trockene, harte Kruste zu bilden und innen nicht vollständig zu verbrennen. Durch die Zumischung strukturierter Materialien können die Eigenschaften verbessert werden.

Die Zumischung zu Rinde oder Hackschnitzel kann nur erfolgen, wenn das Material förderbar und schüttfähig ist. Ansonsten verkleben die Fördereinrichtungen und eine Dosierung wird problematisch. Alle Brennstoffe und Zuschlagstoffe sollen wegen der geplanten Aschenrückführung auf landwirtschaftliche Betriebe naturbelassen und frei von irgendwelchen Behandlungsmitteln (Imprägnierungsmittel, Farben, Leimen, etc.) sein.

5.2.2.2 Anforderungen an die Feuerung

Da die zu entsorgenden Biomassen mit Ausnahme des Wassergehaltes eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen wie Energiegras, können die Anforderungen an die Feuerung aus den umfangreichen Untersuchungen zur Verbrennung von Energiegras, aber auch aus den Verbrennungsversuchen auf den Anlagen Heitzmann, Müller und Enviro-Technik hergeleitet werden. Die zu erwartenden Hauptprobleme sind:

- ungenügender Ausbrand auf dem Rost
- Verschlackung der Asche auf dem Rost,
- Ascheanbackungen im Feuerraum,
- Ablagerung von Salzen im Kesselbereich,
- erhöhte Partikelemissionen,
- erhöhte Stickoxidemissionen,
- je nach Prozentanteil des Zusatzbrennstoffes: eher geringe Zunahme der SO_x- und HCl-Emissionen.

Massnahmen zur Lösung dieser Probleme sind möglich. Dadurch wird aber die Anlagentechnik im Vergleich zu einer Rindenfeuerung wesentlich verteuert.

Die Minimalgrösse einer BVA mit Güllefeststoff als Zusatzbrennstoff ist einerseits festgelegt durch die LRV (mindestens 350 kW) und andererseits durch die hohen spezifischen Kosten der Zusatzinvestitionen bei Kleinanlagen. Die Minimalgrösse liegt daher über 500 kW. Die maximale Grösse ist gegeben durch den spezifischen Anwendungsfall. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei kleinen Leistungen allenfalls Sekundärmassnahmen zur Entstickung vermieden werden können, da der Grenzwert für Stickoxide erst ab einem Massenstrom von 2.5 kg/h zur Anwendung kommt.

5.3 Brennstoffaufbereitung

Für die Brennstoffaufbereitung sind folgende Verfahren denkbar:

- **Trocknung und Pelletierung**
Mit hohem Kosten- und Energieaufwand bis auf 90 % TS getrocknet, kann so ein Brennstoff hergestellt werden, der sämtliche Anforderungen bezüglich Stabilität, Schütffähigkeit und Geruch erfüllt. Die Kosten sind jedoch sehr hoch.
- **Mischen und Verdichten**
Mischen der Ausgangsmaterialien mit trockenen, naturbelassenen Zuschlagsstoffen, bis die minimalen Anforderungen an den Brennstoff erreicht sind. Verdichten zu einem schütffähigen und förderfähigen Material.
- **Mischen ohne Verdichten**
Auf die Verdichtung kann verzichtet werden, wenn bereits durch die Mischung alleine die Schütt- und Förderfähigkeit erreicht wird.

5.3.1 Versuche zur Brennstoffaufbereitung

5.3.1.1 Beschrieb Rindenverwertung Erlenhof

Die Rindenverwertungsanlage der Firma Gmünder auf dem Erlenhof in Gossau (SG) produziert Rinden-Briketts für den Einsatz in Cheminnées oder Zimmeröfen. Die Briketts werden auf einer Kolbenpresse der Firma ATS, Diessenhofen hergestellt. Um eine möglichst lange Brenndauer zu gewährleisten, weisen sie einen hohen Verdichtungsgrad auf (1200kg/m³). Die Herstellung erfolgt aus Rinde, welche einen TS-Gehalt von rund 50 % aufweist. Für die Brikettierung erfolgt Trocknung in einem Drehrohtrockner, so dass das Endprodukt trocken (>85 %) und lagerfähig ist. Die Wärme für die

Trocknung wird von einer Vorschub-Rostfeuerung der Firma Enviro-Technik AG, Lachen geliefert. Die Anlage bot die Möglichkeit Verdichtungs-, Mischungs- und Verbrennungsversuche am gleichen Ort durchzuführen.

5.3.1.2 Brikettierung - Pelletierung

Durch die Brikettierung bzw. Pelletierung (mit vorangehender Trocknung) können sowohl eine hohe Brennstoffdichte, Lager- und Schütffähigkeit erreicht werden.

Die Kosten belaufen sich inklusive Trocknung auf rund Fr. 150.- bis 250.-/t TS. Ohne Trocknung sind mit Brikettpressen Minimalkosten von Fr. 60.-/t erreichbar. Da die Verbrennung der untersuchten Biomassensortimente schon zusätzliche Kosten verursacht (siehe Kapitel 6.2.1), blieben diese Verdichtungsvarianten unberücksichtigt. Dagegen wurden mögliche Alternativen geprüft:

5.3.1.3 Verdichtende Beschickung

Von der Annahme ausgehend, dass lose, unverdichtete Brennstoffmischungen eine schlechtere Verbrennung (Staubentwicklung, Abbrandverhalten) zur Folge haben bzw. auf herkömmlichen Schubstangen- oder Schneckenbeschickungen nicht förderbar sind, wurde vorausgesetzt, dass ein leicht verdichtendes Beschickungssystem notwendig wäre. Um ein solches zu simulieren, wurden auf der Anlage des Erlenhofs in einem ersten Schritt schwach verdichtete Briketts hergestellt. Aufgrund der hohen Feuchte (rund 45 % TS) der untersuchten Brennstoffmischungen und der schwach eingestellten Verdichtung (Ziel: rund 200 kg/m³), zerfielen die Briketts bereits am Austritt der Presse. Pferdemit, welcher Stroh aufweist, dehnt sich nach der Verdichtung sofort wieder stark aus. Bei einer stärkeren Verdichtung ist die Stabilität eher gewährleistet. Dabei steigt jedoch die elektrische Leistungsaufnahme entsprechend an. Nach dem Auskühlen der Briketts konnte eine gewisse Stabilität beibehalten werden.

Parallel durchgeführte Verbrennungs- und Beschickungsversuche zeigten jedoch, dass eine Vorverdichtung nicht notwendig ist. Durch das Mischen der klebrigen, pastösen Güllefeststoffe mit strukturaltigen Zuschlagstoffen wird bereits eine ausreichende Förder- und Schütffähigkeit erreicht. Es zeigte sich, dass die Zusammensetzung der Mischung entscheidender ist als die Verdichtung.

5.3.1.4 Brennstoffmischung

Die Mischung des Brennstoffes erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Rinde bleibt der Hauptbrennstoff
- Entsprechend der Feuerungskonstruktion wird maximal ein Drittel (bezogen auf TS) zur Rinde zugemischt
- Der Anteil Gülle oder Pferdemist soll möglichst hoch sein und stellt neben der Rinde den Hauptbestandteil der Mischung dar
- Der TS der gesamten Mischung soll 50 % nicht wesentlich unterschreiten
- Das Potential der trockenen Zuschlagsstoffe bestimmt deren maximalen Anteil
- Die Mischung muss soviel strukturhaltige Biomasse enthalten, dass die Förder- und Schütthfähigkeit gewährleistet wird.
- Möglichst günstige Mischung

Aufgrund der obigen Kriterien wurden folgende Mischungen für die Versuche zusammengestellt:

Tabelle 5: Mischung mit Güllekonzentrat/-feststoff (M11)

Brennstoff	Anteil bezogen auf TS	FS (kg)
Sägespäne	6.9 %	52
Heuhäcksel	1.6 %	13
Tabak	4.3 %	38
Gülle	15.5 %	416
Rinde	71.7 %	1000
Total	100.00 %	1519
TS-Mischung	45.9 %	

Tabelle 6: Mischung mit Pferdemist

Brennstoff	Anteil bezogen auf TS	FS (kg)
Sägespäne	5.8 %	43
Heuhäcksel	1.4 %	11
Tabak	6.7 %	58
Rossmist	12.8 %	350
Rinde	73.3 %	1000
Total	100.0 %	1462
TS-Mischung	46.7 %	

Die Mischungen aus Tabellen 5 bzw. 6 sind auf Abbildung 8 und 9 ersichtlich.

Die Mischungen wiesen jeweils einen tiefen TS-Gehalt auf der noch unter dem Zielwert von 50 % TS liegt. Aufgrund der hohen Feuchte war bereits

nach kurzer Zeit (1-2 Stunden) nach dem Mischen eine Erwärmung bzw. biologische Aktivität zu verzeichnen. Abbildung 10 zeigt die zusammengesetzten Haufen, die dampften.

5.3.1.5 Herstellung der Mischungen

Da die Güllefeststoffe aufgrund ihrer klebrigen, pastösen Konsistenz zur Bildung von Klumpen neigen, muss eine gute Durchmischen der einzelnen Komponenten erfolgen. Ein reines Zusammenschütten reicht nicht aus. Zur Erreichung einer möglichst homogenen Mischung wurde der Güllefeststoff bzw. Pferdemist mit Zuschlagstoffen (Sägespäne, Heuhäcksel, Tabakrippen) mittels eines Futtermischwagens (Abb. 11) durchmischt. Der Mischvorgang erfolgt durch gegenläufige Schnecken (Abb. 12). Die Durchmischung mit Rinde wurde mit dem Pneulader durchgeführt (Abb. 13).

5.3.1.6 Ausblick auf Beschickung

Aufgrund der positiven Resultate mit dem Lösungsansatz 'Mischen statt Verdichten', sollte das Beschickungssystem der Feuerung mit einen entsprechendem Mischer bzw. Dosierer versehen werden. Denkbar ist ein Silo (Wechselcontainersystem) mit Ausstrag- und Mischschnecken. Zur Vermeidung von Geruchsemissionen müsste eine geschlossene Bauweise gewählt werden (siehe auch Kap. 6.1)

5.3.2 Brennstoffanalytik

Die Darstellung der untersuchten Brennstoffe bezüglich chemischer, physikalischer und für die Verbrennung wichtiger Eigenschaften erfolgt in Tabelle 7.



Abbildung 8: Brennstoffmischung mit Gülle



Abbildung 9: Brennstoffmischung mit Pferdemist



Abbildung 10: Erwärmung (Dampfbildung) der Brennstoffmischungen



Abbildung 11: Futtermischwagen

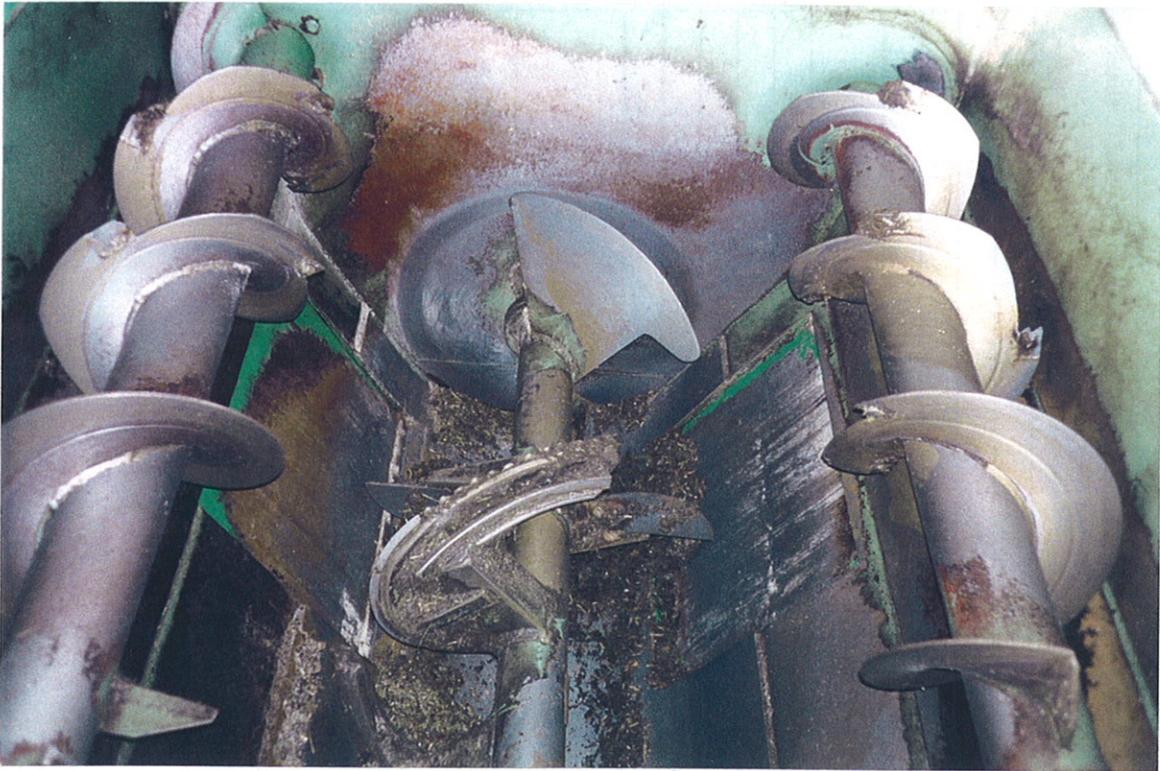


Abbildung 12: Innenansicht Futtermischwagen mit gegenläufigen Schnecken



Abbildung 13: Mischen des Zusatzbrennstoffes (Hofdünger und Zuschlagstoffe) mit dem Hauptbrennstoff Rinde

Tabelle 7: Chemische und physikalische Eigenschaften verschiedener Biomassebrennstoffe

	Einheit	Holz	Gras	Stroh	Güllefeststoff ¹⁾	Brst. Gmünder Feststoff Schweinegülle	Brst. Gmünder M-11 pur (Basis Schweinegülle)	Brst. Gmünder Pferdemist	Brst. Gmünder M-12 pur (Basis Pferdemist)
Aschegehalt	[Gew.-%]	0.1-1	6-12	4-8	15-18		10.4		9.0
Wassergehalt	[Gew.-%]	10-60	5-20	5-20	40-60	74	61	67	66
Heizwert, Hu	[MJ/kg/atro]	18.5	16.8	17.5	15.4		17.8		15.1
Ascheerweichung	[°C]	1470	970	940	1040		1010		1030
N	[Gew.-%]	0.08	1.9	0.54	2.2 (1.6 ²⁾)	3.34	2.80	1.31	1.73
S	[Gew.-%]	0.01	0.2	0.14	0.35	0.89	0.43	0.21	0.24
P	[Gew.-%]			0.07	1.7	1.59	0.87	0.19	0.27
Cl	[Gew.-%]	<0.001	0.44	0.37	1.4	0.39 ³⁾	0.47 ³⁾	0.49 ³⁾	0.84 ³⁾
K	[Gew.-%]	0.11	2.45	1.2	0.67	0.49	1.53	2.18	2.78
Summe K, Cl, S	[Gew.-%]	<1	ca. 3	1.7	ca. 2.5 - 3	1.77	2.43	2.88	3.86
Pb	ppm	0.97 AH: 40-700 Restholz 4-20	0.7	0.5	nb, <40 ²⁾				
Zn	ppm	11 AH: 150-1000 Restholz: 10-20	38	7	898	580	308	109	102
Cu	ppm				231	154	87	38	66
Cd	ppm	<0.1	0.1	0.09	nb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Hg	ppm	0.01	0.01	0.01-0.02					
Na	[Gew.-%]					4.31	2.09	1.26	1.02

¹⁾ Brennstoff und Verbrennungsversuch Heizmann, April 1997

²⁾ Getrockneter Hofdünger, ohne vorherige Trennung von Flüssiggülle und Feststoffen

³⁾ wasserlösliches Chlorid (sehr wahrscheinlich die Hauptmenge des vorhandenen Chlors)

nb: nicht bestimmbar (unterhalb Bestimmungsgrenze)

5.4 Verbrennungsversuche Erlenhof

5.4.1 Zielsetzung

Die Verbrennungsversuchen auf der Rindenfeuerung der Firma Gmünder sollten zeigen, mit welcher Brennstoffmischung ein problemloser Betrieb erreicht werden kann, was für Emissionen zu erwarten sind, und was für Probleme im Feuerraum und im Kessel allenfalls auftreten können.

5.4.2 Durchführung

Bei der Versuchsfeuerung Erlenhof der Firma Gmünder handelt es sich um eine 1 MW Rindenfeuerung von Enviro-Technik AG (siehe Abb. 14).

wurde je ein Versuch mit dem Feststoff aus Schweinegülle und mit Pferdemist durchgeführt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- der Zusatzbrennstoff wurde mit Basisbrennstoff Rinde mittels Pneulader vermischt und zusammen mittels Pneulader auf den Kratzkettenförderer aufgegeben
- Der Kessellieferant ermittelte durch Beobachtung von Feuerung und Glutbettes sowie mit Hilfe der gemessenen CO-Werte die optimale Einstellung der Feuerung. Nach Erreichen des optimalen, stationären Betriebszustandes wurden die Emissionen während einer ca. zwei Stunden dauernden Verbrennungsperiode gemessen.

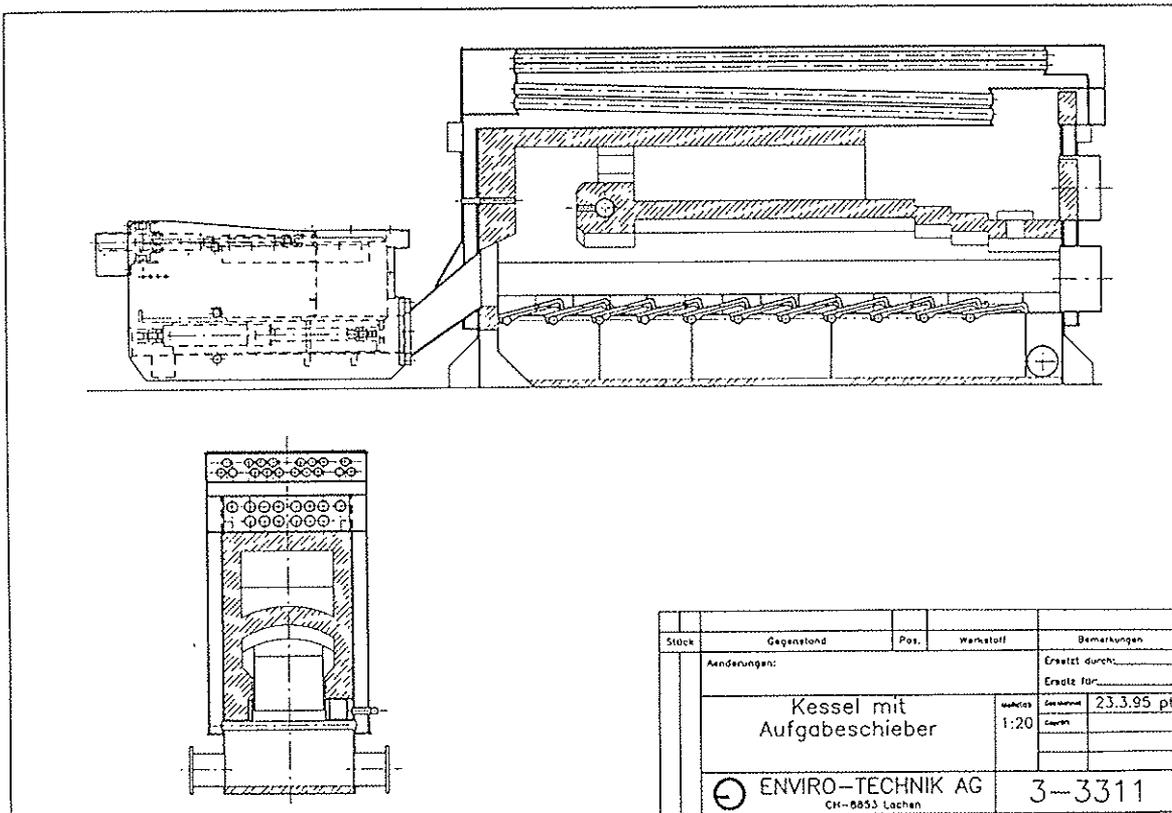


Abbildung 14: Schnittbild der Rostfeuerung Enviro-Technik AG

Der übliche Brennstoff ist eine Mischung von zerkleinerter Rinde und trockenem Restholz aus der Holzverarbeitung.

Die Verbrennungsversuche der Hofdünger-Brennstoffmischungen wurden am 30.6.1998 durchgeführt. Die Aufbereitung und Zusammensetzung dieser Brennstoffe ist in Kap. 5.3 beschrieben. Es

5.4.3 Ergebnisse

Für beide Zusatzbrennstoffe konnte ein stabiler Verbrennungsprozess mit sehr guter Verbrennungsqualität erreicht werden. Die Messergebnisse sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

Tabelle 8: Emissionen: Anforderungen der Luftreinhalteverordnung (LRV) und Ergebnisse aus Verbrennungsversuchen

Schadstoff	Einheit bez. auf 11 Vol.-% O ₂	Gras, Rohgas (Schlussbericht Energiegras), bzw. 1)	LRV, Anh. 2 Ziff. 71	LRV, Anh. 2, Ziff. 72	Güllefeststoff, Versuch Heizmann	Schweinegülle- mischung Versuch Grmünder	Pferdemist- mischung Versuch Grmünder
Feuerungswärmeleistung Kessel	kW				39	1117	892
CO	mg/Nm ³	<100 50-100 ³)	<50	<250	45	80	56
NOx	mg/Nm ³	250-800 250-290 ³)	<80	<250	770	380	310
NOx-Massenstrom	g/h		Grenzw. gültig für <2500	Grenzw. gültig für <2500	102	1030	665
Staub	mg/Nm ³	300-1200	<10	<50	396	565	567
SO ₂	mg/Nm ³	<250	<50	<250	540	37	19
SO ₂ -Massenstrom			Grenzw. gültig für <2500	Grenzw. gültig für <2500	71	100	37
HCl	mg/Nm ³	20-120	<20	<30	25	12	19
Pb+Zn	mg/Nm ³		je <1	<5	0.4		
Cd	mg/Nm ³		<0.1	<0.2			
HC	mg/Nm ³		<20	<50			
NH ₃ + Ammonium-Verbindungen	mg/Nm ³		<5	<30			

1) eigene Messungen, Versuch Dahinden

- Die Zugabe des Zusatzbrennstoffes verändert die Verbrennungsbedingungen massgeblich. Die Feuerung musste mit Handeinstellung dem Brennstoff angepasst werden (Rostbewegung, Primär- und Sekundärluftmenge). Mit diesen Anpassungen konnte ein stabiles Glutbett und eine sehr gute Verbrennungsqualität erreicht werden.
- Eine wesentliche Zunahme der Verschlackungen konnte in dieser kurzen Versuchsphase nicht festgestellt werden. Auch eine Beurteilung bezüglich Anbackungen war in dieser kurzen Versuchszeit nicht möglich.
- Der Luftüberschuss musste im Vergleich zur Rindenverbrennung massgeblich erhöht werden (von 7 - 8% auf 13 - 14%). Dies führt zu einem erhöhten Abgasvolumenstrom und zu einer Reduktion des Wirkungsgrades.
- Die Verbrennungsqualität mit CO-Werten unter 100 mg/Nm³ ist ausgezeichnet.
- Die Stickoxide steigen mit dem Zusatzbrennstoff von ca. 210 mg/Nm³ auf ca. 380 mg/Nm³ bei Schweinegülle und auf ca. 310 mg/Nm³ bei Pferdemist. Diese Zunahme von 80% bzw. 50% ist aufgrund der Unterschied im Stickstoffgehalt der Ausgangsmaterialien plausibel. Mit diesen Werten würde der zulässige Massenstrom erst ab einer Anlagengrösse von mehr als 2 MW überschritten. Bei einer Anlagengrösse bis 2

MW könnte daher die LRV (LRV-Anhang 2, Ziff. 72) ohne Entstickungsmassnahmen eingehalten werden.

- Der Staubgrenzwert von 50 mg/Nm³ wird um ca. einen Faktor 10 überschritten. Sekundär-massnahmen zur Staubabscheidung z.B. mittels Gewebe- oder Elektrofilter sind daher unumgänglich. Da die Schwermetallgehalte im Brennstoff tief sind, können durch eine Staubabscheidung auch die Schwermetallgrenzwerte eingehalten werden. Die HCl- und SO_x-Emissionen sind tief. Massnahmen zur Reduktion dieser Schadstoffe sind nicht nötig.

5.4.4 Folgerungen

Die Verbrennungsversuche mit dem Zusatzbrennstoff «Gülle-mischung» bzw. «Pferdemistmischung» zeigen, dass diese Variante der energetischen Nutzung

- zusätzlichen Massnahmen im Bereich der Brennstoffaufbereitung und -beschickung realisiert werden kann
- verbrennungstechnisch beherrscht werden kann,
- mit einer zusätzlichen Staubabscheidung die LRV einhalten kann.

6. Konzept BVA

6.1 Technisches Konzept

Das Konzept basiert auf der Annahme, dass der Hofdüngerbrennstoff (z.B. Güllefeststoff und/oder Pferdemist) als Zusatzbrennstoff in einer Rostfeuerung so eingesetzt wird, wie dies in den Verbrennungsversuchen der Anlage Erlenhof erfolgreich getestet wurde. Es werden trockene, naturbelassene Zuschlagstoffe soweit zugemischt, als dies für eine einwandfreie Verbrennung erforderlich ist. Als Anlagegrösse wird eine Anlage mit 2 MW Nennleistung angenommen.

Die Hauptmerkmale der BVA mit Hofdünger als Zusatzbrennstoff sind:

- Der Hofdüngerbrennstoff wird als Zusatzfeuerung in einer Rostfeuerung eingesetzt.
- Der Hofdüngerbrennstoff wird mit Zuschlagstoffen soweit getrocknet, dass er als Zusatzbrennstoff in einer Rostfeuerung verwendet werden kann.
- Eine konventionelle (z.B. bestehende) Rostfeuerung für Hackschnitzel und/oder Rinde wird mit einer zusätzlichen Beschickungssystem ergänzt, in welchem der Hofdüngerbrennstoff mit Zuschlagstoffen vermischt dem Hauptbrennstoff (Rinde und/oder Schnitzel) zugegeben wird. Vor der Beschickung der Feuerung wird der Zusatzbrennstoff mit dem Hauptbrennstoff vermischt (Abb. 15).
- Die Feuerung und der Kessel werden den erhöhten Anforderungen angepasst durch Vergrös-

serung des Rostes, sowie durch eine Abgasrückführung und eine automatischer Kesselreinigung mit Druckluft.

- Einbau eines Elektrofilters zur Einhaltung der Staubgrenzwerte. Es wird angenommen, dass auf eine Entstickung verzichtet werden kann.

Die Mehrinvestitionen für die Erweiterung einer 2 MW Rostfeuerung zu einer BVA mit obigen Hauptmerkmalen betragen ca. Fr. 300'000.--.

Da der Hofdüngerbrennstoff ganzjährig anfällt und nicht lagerfähig ist, kann er nur in einer Anlage verwendet werden, die ganzjährig zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt wird. Dies ist vorwiegend bei Holzverarbeitenden Betrieben (Sägereien mit Trockenkammern) der Fall. Diese verfügen allerdings meist schon über einen billigen Brennstoff, die Rinde. Wirtschaftlich interessanter wäre es, wenn der Hofdüngerbrennstoff relativ teure Hackschnitzel ersetzen könnte.

Unter der Annahme, dass die 2 MW BVA während 5000 Vollbetriebsstunden pro Jahr Prozesswärme produziert, werden unter obigen Annahmen pro Jahr ca. 500 t TS an Güllefeststoff und ca. 500 t Zuschlagstoffe (trockenes Sägemehl, Tabakrippen etc.) energetisch verwertet.

Es ist noch offen, ob bei einer neuen, dem Hofdüngerbrennstoff angepassten Feuerung ein grösserer Prozentsatz dieses Zusatzbrennstoffes beigemischt werden kann, als dies in den Versuchen auf der Anlage Erlenhof erfolgreich getestet wurde.

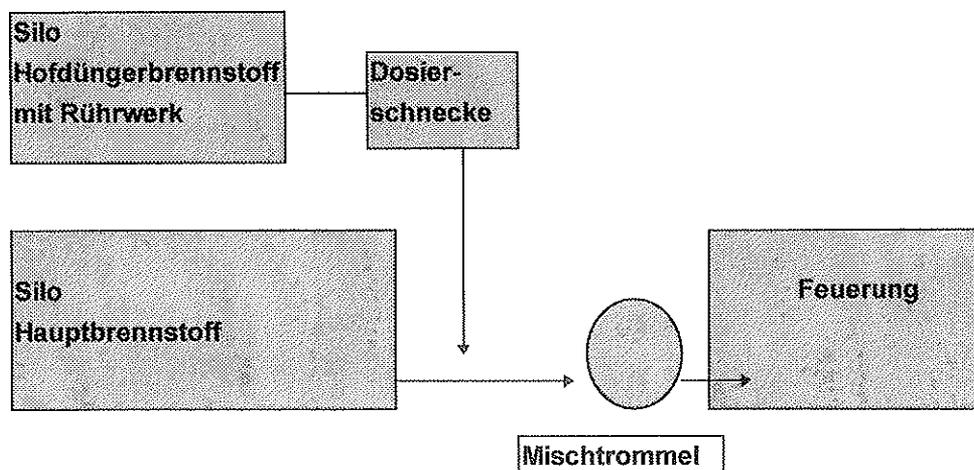


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Zumischung des Hofdüngerbrennstoffes

6.2 Wirtschaftlichkeit

6.2.1 Wirtschaftlichkeit der BVA

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung werden folgende Annahmen gemacht:

- Die Zusatzinvestitionen für die Erweiterung einer Rindenfeuerung zu einer BVA betragen ca. Fr. 300'000.--.
- Die Zusatzinvestitionen sind in 10 Jahren abzuschreiben. Mit einem angenommenen Zinssatz von 5 % ergibt dies eine Annuität von 13 %.
- Rinde als Hauptbrennstoff ist einerseits ein wertvoller Brennstoff, andererseits kann er je nach Situation auch Entsorgungskosten verursachen. Für die Grundvariante wird angenommen, dass Rinde ein Gratisbrennstoff ist. Im weiteren wird untersucht, wie sich ein Brennstoffpreis von z.B. Fr. 10.-/Sm³ auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt.

- In der Grundvariante wird angenommen, dass die gleiche Menge von Güllefeststoff bzw. Pferdemist zugegeben werden kann wie bei den Verbrennungsversuchen auf der Anlage Erlenhof: 500 t TS pro Jahr.
- Es wird angenommen, dass die verwendete Mischung von Zuschlagstoffen (trockene Sägespäne + Tabakrippen + Heuhäcksel etc.) pro kWh denselben Brennstoffpreis aufweisen wie Rinde, d.h. in der Grundvariante auch eine Gratisbrennstoff-Mischung sind.
- Durch den Einsatz des Zusatzbrennstoffes ergeben sich zusätzliche Aufwendungen des Betriebspersonal (inkl. Maschinen wie z.B. Pneu-lader) von 4 h/Woche. Stundensatz Fr. 80.-/h
- Pro Tonne TS des Güllebrennstoffes bzw. Pferdemistes will der Betreiber einen Gewinn von Fr. 10.-/t erwirtschaften.

Grundvariante

Abschreibung und Amortisation (13% von Fr. 300'000.--)	Fr.	39'000.--
Zusatzaufwand Betrieb (4 h/W à Fr. 80.-)	Fr.	16'000.--
Erlös durch Ersatz der Rinde (gratis)	Fr.	0.--
<u>Gewinn des Betreibers (500 t à Fr. 10.-)</u>	Fr.	5'000.--
Aufwand für Entsorgung von 500 t TS Güllefeststoff	Fr.	60'000.--
<u>Aufwand pro t TS</u>	Fr.	120.-/t TS

optimistische Variante

Abschreibung 10 Jahre; bestehende Infrastruktur (z.B. Abgasfilter wie bei Anlage Erlenhof) reduziert Zusatzinvestitionen auf Fr. 200'000.--; Rinde und Mischung der Zuschlagstoff hat einen Brennstoffwert: Rinde 10 Fr./Sm³ (1.25 Rp./MWh), Zuschlagstoffe 1.25 Rp./MWh; es können 800 t TS an Güllefeststoffen zugemischt werden.

Abschreibung und Amortisation (13% von Fr. 200'000.--)	Fr.	26'000.--
Zusatzaufwand Betrieb (4 h/W à Fr. 80.-)	Fr.	16'000.--
Erlös durch Ersatz der Rinde mit 800 t Güllefeststoff (3'200 MWh à 1.2 Rp./kWh)	Fr.	-38'000.--
<u>Gewinn des Betreibers (800 t à Fr. 10.-)</u>	Fr.	8'000.--
Aufwand für Entsorgung von 800 t TS Güllefeststoff	Fr.	12'000.--
<u>Aufwand pro t TS</u>	Fr.	15.-/t TS

pessimistische Variante

Abschreibung 6 Jahre; höhere Zusatzinvestitionen von Fr. 350'000.--; Rinde und Mischung der Zuschlagstoff gratis; es können 400 t TS an Güllefeststoffen zugemischt werden.

Abschreibung und Amortisation (20% von Fr. 200'000.--)	Fr.	70'000.--
Zusatzaufwand Betrieb (4 h/W à Fr. 80.-)	Fr.	16'000.--
Erlös durch Ersatz der Rinde (gratis)	Fr.	0.--
<u>Gewinn des Betreibers (400 t à Fr. 10.-)</u>	Fr.	4'000.--
Aufwand für Entsorgung von 400 t TS Güllefeststoff	Fr.	90'000.--
<u>Aufwand pro t TS</u>	Fr.	225.-/t TS

6.2.2 Zusammenfassende Kriterien für die Wahl des Entsorgungsweges

6.2.2.1 Wirtschaftliche Kriterien

Zur Umsetzung der betrachteten Trennverfahren in Kombination mit der thermischen Nutzung, sollen die Standpunkte der 'Betroffenen' kurz zusammengefasst werden:

Aus Sicht der **Feuerungsbetreiber** wird der Brennstoff Gülle oder Pferdemist nur angenommen, wenn ein Nutzen zu erwarten ist. Basierend auf den Überlegungen aus Kapitel 6.2.1 kann der Feuerungsbetreiber je nach Wirtschaftlichkeitsvariante mit einem Übernahmepreis von Fr. 15.- bis 225.-/t TS rechnen. Umgerechnet auf Gülle (1t TS \cong 33m³ Gülle) ergeben sich Werte zwischen **Fr. 0.50 bis 6.80 /m³ Rohgülle**.

Aus Sicht des **Bauern**, der über zu viele Nährstoffe verfügt, ergibt sich die Obergrenze der Entsorgungskosten von Gülle aus dem **Bussgeld von 500 bis 1000 Franken/DGVE**. Umgerechnet sind dies rund Fr. 25.-/m³ bzw. Fr. 50.-/m³ Gülle (siehe auch Kapitel 4.3.4). Pro Tonne TS entspricht dies rund Fr. 500.- bzw. 1000.- (bei 5 %TS in der Gülle) Die Entsorgung via Verbrennung wäre daher für ihn eine wirtschaftlich günstige Lösung.

Die Abtrennung der TS verursacht je nach Trennverfahren jedoch **zusätzliche Kosten zwischen Fr. 4.- bis Fr. 31.-/m³ Rohgülle** (Annahme Arbeit = Fr. 23.-/Std.). Dies entspricht pro t TS bei der Separierung rund Fr. 130.- bis 220.-/t TS und Fr. 630.- bis 880.-/t TS bei der Verdampfung mit Nährstoffrückgewinnung. Je nach Verfahren übersteigt er damit die Kosten von Fr. 25.-/m³ Rohgülle; d.h. es ist günstiger das Bussgeld zu bezahlen und nichts zu unternehmen (beim ersten Mal). Handelt es sich um einen Betrieb oder mehrere Betriebe zusammen, die einen hohen Nährstoffüberschuss aufweisen und Gefahr laufen Fr. 50.-/m³ Gülle Bussgeld bezahlen zu müssen, so lohnt sich auch eine Kombination mit dem teuersten Verfahren.

Die günstigste Variante 'Separierung und Verbrennung' liegt bei rund Fr. 150.-/t TS bzw. Fr. 4.50/m³ Rohgülle. Die günstigste Variante 'Separierung, UF und Verbrennen' liegt bei rund Fr. 10.-/m³ Rohgülle bzw. Fr. 330.-/t TS. Unter den günstigsten Annahmen liegt das 'Manura Verfahren plus Separierung und Verbrennung' bei rund Fr. 25.-/m³ Rohgülle bzw. Fr. 825.-/t TS.

6.2.2.2 Ökologische Kriterien

Sollen relativ kostengünstig Nährstoffe dem Kreislauf entzogen werden bzw. deren Einsatz günstig optimiert werden, können allein durch die Separierung in Kombination mit der Verbrennung rund 40% der Nährstoffe aus einer Region entfernt werden. Die Asche wird an geeigneter Stelle rückgeführt und die Dünggülle garantiert eine höhere Düngewirkung, d.h. wird von den Pflanzen besser aufgenommen. Soll für eine sehr Nährstoff belastete Region Abhilfe geschaffen werden, kann die Separierung mit einem Membrantrennverfahren kombiniert werden. Das Retentat und die Feststoffe werden thermisch genutzt. Sollen die Nährstoffe möglichst stark entzogen werden und anderweitig wieder als hochwertiger Dünger zur Verfügung stehen, weist die Kombination Separierung und Verdampfung (MANURA) am meisten Vorteile auf. Die Substitution von Kunstdünger weist je nach Bewertung des Stroms auch energetische Vorteile auf.

Da durch die Verbrennung mindestens 90 % des Stickstoffs aus dem Brennstoff zu N₂ (elementare Form) umgewandelt werden, kann dieser Teil von seiner Umweltwirkung her als neutral eingestuft werden. Der restliche Anteil (maximal 10 %) wird zu Stickoxiden, die in dieser Menge bezüglich Eutrophierung weniger kritisch einzustufen sind als z.B. Ammoniak, der bei der herkömmlichen Gülleausbringung entweicht.

6.2.2.3 Technische Kriterien

Die Verfahren Separierung, Ultrafiltration und Umkehrosmose sind in der Schweiz bereits verbreitet. Erste Erfahrungen mit der MANURA Anlage bestehen bisher in Dänemark. Die Verbrennung der Feststoffe ist aufgrund der durchgeführten Versuche grundsätzlich realisierbar. Langzeiterfahrungen können nur durch eine Pilotanlage gesammelt werden.

6.2.2.4 Energetische Kriterien

Ausgehend von den überschüssigen 10'000 DGVE im Kanton Luzern entstehen je nach Trennverfahren und Weiterbehandlung Feststoffmengen von rund 6600 bis 15000 t TS. Diese Masse entspricht einem Energieinhalt von 25000 bis 60000 MWh oder einer Heizölmenge von rund 2500 bis 6000 t. Würde der gesamte Güllebrennstoff thermisch genutzt, könnten zwischen 1-2 % des Heizöls substituiert werden. Dieser Anteil entspricht rund 20 % der heute genutzten Luzerner Holzenergie Die Pro-

blematik der Gülleüberschüsse besteht auch in anderen Kantonen. Da es sich immer um regionale bzw. lokale Nährstoffüberschüsse handelt, ist eine Hochrechnung für die gesamte Schweiz nur unter Berücksichtigung detaillierter Angaben aller Kantone möglich. Diese Berechnungen konnten jedoch im Rahmen der bearbeiteten Projektphase nicht berücksichtigt werden.

7. Schlussfolgerungen

Grundsätzlich bieten sich bei der thermischen Nutzung von Gülle und Pferdemit zwei energetische Verwertungsvarianten an:

- Anlage mit nassem Hofdünger als Alleinbrennstoff oder
- Hofdünger als Zusatzbrennstoff für Rostfeuerungen

Im vorliegenden Bericht wurde die Variante der Zumischung näher untersucht. Die ersten Verbrennungsversuche zeigen, dass die Zumischung eine realistische Variante darstellt. Die Beschickung der Brennstoffe müsste mit einem zusätzlichen Silo, Mischer sowie einer Dosiereinrichtung ausgestattet werden. Durch diese Modifikationen lassen sich die Nachteile des feuchten und nicht geruchsfreien Brennstoffs ausgleichen.

Die wirtschaftlichen Berechnungen zeigen, dass die Kombination der Separierung mit der Verbrennung auf Rostfeuerungen sowohl für den Feuerungsbetreiber wie auch für den Landwirt wirtschaftlich sein kann. Die Bandbreite der Berechnungen bezüglich Brennstoffpreis zwischen optimistisch und pessimistisch sind sehr hoch. Sie wirken sich auf den gesamten Entsorgungspreis aber weniger aus, als die Wahl des Trennverfahrens. Die zusätzlichen Kosten, die der Brennstoff verursacht, schlagen in der Verbrennungs-Grundvariante nicht stärker zu Buche als das günstigste Trennverfahren (rund Fr. 4.-/m³ Rohgülle). Die Wahl des Trennverfahrens hängt neben den Kosten stark von den landwirtschaftlichen Bedingungen d.h. vom lokalen Nährstoffüberschuss ab. Es ergeben sich drei grundsätzliche Varianten:

Variante 1:

Soll regional das Nährstoffproblem entschärft werden, reicht die Separierung in Kombination mit der Verbrennung aus. Mit dieser Kombination kann bereits eine Nährstoffreduktion von 40 % erreicht werden. Auf den gesamten Kanton Luzern wären dies theoretisch 60'000 DGVE weniger. Eine Feuerungsanlage von 2 MW Leistung, welche durch Zumischung 500-800 t TS Güllefeststoffe nutzt, entlastet die Region um rund 800-1300 DGVE (Trennverfahren: Separierung).

Variante 2:

Sollen auf Ebene Landwirtschaftsbetrieb Nährstoffüberschüsse von 40-60 % reduziert werden sind Kombinationen wie Separierung plus UF oder RO die nächste, kostengünstigste Art. Hiermit lassen

sich pro 2MW Feuerungsanlage zwischen 1000-1500 DGVE verarbeiten.

Variante 3:

Soll ein Teil der Nährstoffe wieder als hochwertiger Dünger in den Kreislauf rückgeführt werden, wird vorzugsweise das MANURA Verfahren gewählt oder eine Kombination 'Separierung, UF und RO'. Das Verfahren 'Manura' ermöglicht eine Verwendung des Nebenproduktes (12 %-iger Ammoniumnitrat) als Dünger. Das Konzentrat kann der Verbrennung zugeführt werden. Die Kosten überschreiten dabei die erste 'Bussgeldschwelle' (Fr. 25.-/m³). Das Verfahren wird damit nur noch von Betrieben gewählt, die auch über längere Zeit mit einem Nährstoffüberschuss zu rechnen haben.

Das beim UF&RO Verfahren anfallende Retentat der UF wird zusammen mit den Feststoffen verbrannt. Das Retentat der RO kann der Landwirtschaft als Düngerkonzentrat zurückgeführt werden, da es aufgrund der hohen Salz- und Nährstoffkonzentration für die Verbrennung ungeeignet wäre. Bei dieser Verfahrenskombination bleiben die Kosten mit rund Fr. 20.-/m³ unter der 'Bussgeldschwelle'. Beide Verfahren können hohe Nährstoffabscheidungsraten erzielen (>90 %).

Im Kanton Luzern soll für rund 10 000 DGVE eine Lösung gefunden werden. Die Anzahl möglicher zusätzlicher Feuerungsstandorte bzw. Ausbaumöglichkeiten bestehender Anlagen (Rostfeuerungen) ist beschränkt. Aufgrund der obigen Überlegungen müssten für die Zuführung nach Variante 1 zwischen 8 bis 13 Standorte gefunden werden, nach Variante 2 sind es 6 bis 10 und nach Variante 3 wären es weniger als 6.

Wie viele Standorte sind vorhanden? Wie viele werden benötigt?

Die Auswahl der Trennverfahren wird von den Käufern nach den Regeln des Marktes getroffen. Die Wahl fällt nur dann auf teurere Verfahren, wenn ein zusätzlicher Nutzen zu erwarten ist.

Um das weitere Vorgehen abzuschätzen, muss bekannt sein, wie viele Anlagen der beschriebenen Trennverfahren (Varianten 1-3) aufgrund des einzelbetrieblichen Nährstoffanfalls, eingesetzt werden. Hieraus ergibt sich die gesamte nutzbare Feststoffmenge. Dieser Anfall muss sich auf die möglichen Anlagenstandorte für Zuführungs-Rostfeuerungen verteilen lassen. Ist dies nicht möglich, muss ein Standort für eine 'Anlage mit nassem Hofdünger als Alleinbrennstoff' gefunden werden. Diese Anlage kann zwar den Anfall von 4000 bis 6000 DGVE energetisch nutzen, aufgrund der be-

schriebenen Kriterien sind jedoch die Standortmöglichkeiten sehr gering (daher soll dieses Verfahren weiterhin in zweiter Priorität weiterverfolgt werden).

Die Situation entschärft sich, wenn auf den in Frage kommenden Rostfeuerungen ein höherer Anteil an Hofdüngerbrennstoff gefahren werden kann. Diese Aussage wie auch die Verifizierung der ökonomischen Annahmen oder ökologischen Auswirkungen ist jedoch nur mit dem Betrieb einer **Pilotanlage (Rostfeuerung)** zu beantworten. Ohne diesen wichtigen Schritt ist daher die weitere Umsetzung nicht möglich.

Das Verfahren der 'Zuführung von Hofdüngerbrennstoffen' kann sowohl Gülle, andere nährstoffreiche Stoffe wie Pferde- oder Hühnermist als auch weitere naturbelassene Biomassebrennstoffe (Landschaftspflegematerial, Tabak, etc.) energetisch nutzen. Würde allein im Kanton Luzern die Feststoffmenge von maximal 15'000 t TS (entsprechend 10'000 DGVE) thermisch genutzt, liessen sich rund 1-2 % des aktuell verbrauchten Heizöls substituieren. Gleichzeitig kann der lokale Nährstoffeintrag gegenüber der heutigen Landwirtschaft um 40 % bis 90 % reduziert werden. Dies stellt für alle Regionen, die einen Nährstoffüberschuss aufweisen, eine mögliche Lösung dar. Es ist daher sinnvoll, wenn sich weitere Kantone und Bundesstellen an der Umsetzung beteiligen.

8. Offene Fragen, weiteres Vorgehen

8.1 weiteres Vorgehen bezüglich Technik

Das weitere Vorgehen soll zusammen mit den Teilnehmern der Sitzung von 16.10.98 ausführlich besprochen werden.

Im Sinne einer baldigen Umsetzung in die Praxis sind sämtliche Punkte, die zur Umsetzung d.h. den Betrieb einer Pilot-BVA, führen vorrangig zu bearbeiten:

- Suche von bestehenden Anlagen, bei denen Hofdünger als Zusatzbrennstoff in Frage kommen könnte
- Für die 2-3 aussichtsreichsten Varianten: Ausarbeiten eines technischen Konzeptes mit Wirtschaftlichkeitsrechnung für Hofdünger als Zusatzbrennstoff. Abklären der rechtlichen Rahmenbedingungen (UVP, Emissionen, etc.) für die Realisierung.
- Wenn ein Bauherr einen erfolversprechenden, positiven Vorentscheid bezüglich Realisierung trifft, ausarbeiten eines Vorprojektes, u.a. mit:
 - allfälligem Gesuch für baurechtlichen Vorentscheid, detaillierter Wirtschaftlichkeitsrechnung für mögliche Szenarien, allfälligem Vorentscheid für UVP
 - Konzept und Plänen für geeignete Zumischung und Beschickung des Hofdüngerbrennstoffes
 - Logistikkonzept
- Evaluation eines möglichen Standortes und der Kosten einer Verwertungsanlage mit nassen Hofdünger als Alleinbrennstoff (Drehrohrofen)
- Ermittlung weiterer geeigneter, trockener, naturbelassener Biomasse-Zuschlagsstoffe
- Standortevaluation für den Einsatz unterschiedlicher Trennverfahren, Erarbeiten von Initialprojekten zur Umsetzung (Information der Landwirte, Kommunikationsplattformen schaffen für die Verbreitung zusätzlicher Gülleaufbereitungsverfahren, etc.)

8.2 Organisation

Um das Projekt breiter abzustützen und weiteren Kantonen die Mitarbeit und Mitbestimmung zu ermöglichen, soll ein Projektausschuss gegründet werden. Diesem Projektausschuss gehören die Vertreter der aktiv beteiligten Bundesstellen oder Kantone an. Als Projektoberleitung treten sie als Auftraggeber auf und sind für die Umsetzung der Resultate in die Praxis mitverantwortlich. Die Ausführung bleibt bei der 'ARGE Biomasse'.

9. Literaturverzeichnis

- Baccini, P. et al.:** Regionale Bewirtschaftung von Biomasse, vdf, 1995
- Grabski, C., Bühler, H.:** Vorstudie 'Energetische Nutzung von Biomasse', Vergleich der Verfahren Vergärung, Verbrennung und Vergasung von Hofdünger, Teile Wirtschaftlichkeit, Energiebilanz und Stoffbilanz, interne Berichte AfU Luzern, 1996
- Hersener, J.-L. et al.:** Pflichtenheft Energiegrasfeuerung, Schriftenreihe Bundesamt für Energie, 1998
- Hersener, J.-L. et al.:** Schlussbericht Projekt 'Energiegras/Feldholz', FAT Tänikon, 1997
- Hodel, R., Bühler, H.:** Grobkonzept des Initialisierungsprojektes 'Energetische Nutzung von Biomasse', interner Bericht AfU Luzern, 1995
- Keel, T., Grossenbacher, U.:** Ökobilanz der Landwirtschaft im Kanton Luzern, Semesterarbeit Nachdiplomstudium Energietechnik, 1994
- Koller, P.:** Persönliche Mitteilung, 1998
- Kölliker, S.:** Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft, interner Bericht, AfU Luzern, 1995
- Kovalewsky, H.-H.:** Fünf Thesen zur Gülleausbringung, Top-Agrar 5/1989
- Kronauer, A.:** Stickstoffwirkung von Gülle und den Separaten. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenbau der TU-Münster-Weihenstephan, 1987
- Meier, U.:** Gülleseparierung, Eine Technik zur Verbesserung der Gülleneigenschaften, FAT Bericht 445, Tänikon, 1994
- Meier, U.:** Energetische und stoffliche Nutzung von Hofdünger, Möglichkeiten der Güllaufbereitung, FAT Tänikon, 1996
- Meier, U.:** Persönliche Mitteilung, 1998
- Scherrer, T.:** Teilprojektbericht 'Trocknung', verfasst von künzler&partner im Auftrag des AfU Luzern, Projekt 'Energetische Nutzung von Biomasse', 1996